

T.C
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KÜTÜPHANE

İŞ PARÇALARI VE KESİCİ TAKIMLARIN EİS İÇERİSİNDE
EŞZAMANLI AKIŞLARININ TASARIMI ve ANALİZİ

DOKTORA TEZİ


End. Yük. Müh. Ahmet Kürşad TÜRKER

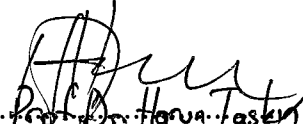
78686

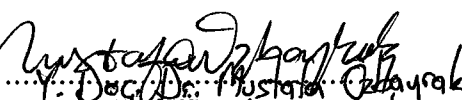
Enstitü Anabilim Dalı: ENDÜSTRİ MÜH.

Enstitü Bilim Dalı: ENDÜSTRİ

Bu tez 20/2 / 1998 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Feriçan Öztemel
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Havva Taşkın
Jüri Üyesi


Doç. Dr. Mustafa Özalp
Jüri Üyesi

TEŐEKKÜR

Çalıőmalarım esnasında beni yönlendiren, cesaretlendiren, yardım ve hoşgörülerıyla yanımda olan değerli hocalarım Doç.Dr. Ercan ÖZTEMEL ve Doç.Dr. Mustafa ÖZBAYRAK'a, yardımları nedeniyle Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümündeki çalışma arkadaşlarım ve hocalarıma, çalıőmamın çeşitli aőamalarında yardımda bulunan Okut. Cengiz ARIDURU'ya, bugüne gelmemi sağlayan değerli hocalarıma ve her tür sıkıntıda yanımda olan değerli aileme teőekkürü bir borç bilirim.

Üniversite hayatımın başlarında kaybettiğim anneme, babama ve kardeőime ithaf ederim.

End. Yük. Müh.

Ahmet Kürşad TÜRKER

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR TARAMASI	4
2.1 Giriş	4
2.2 Esnek İmalat-Temel Kavramlar	4
2.3 Esnek İmalat Sistemlerinin Tasarımı	9
2.4 Esnek İmalat Sistemlerinin Kontrolü	13
2.5 Esnek İmalat Sistemlerinde İş Çizelgeleme ve Yükleme	17
2.6 EİS'de Çizelgeleme Yaklaşımları Algoritmaları	22
2.7 EİS'lerde Kesici Takımların Yönetimi	25
2.7.1 Takım yönetiminin tasarımı, yapısı ve stratejileri	26
2.7.2 Takım tahsis, dağıtım ve taşıma stratejileri	28
2.7.3 Takım akış / çizelgeleme ve ihtiyaç planlama	30
2.7.4 Takım depolama/ kapasite ve değişim problemi	35
2.8 Otomatize Sistemlerin Modellenmesi ve Analizi	36
2.8.1 Analitik modelleme	37
2.8.2 Simülasyonla modelleme	39
2.8.3 Algoritmik modelleme	42
2.8.4 Yapay zeka teknikleri ile modelleme	43

BÖLÜM 3.	
OTOMATİZE İMALAT SİSTEMLERİ, TEMEL KAVRAMLAR ve TEKNOLOJİDEKİ YENİ GELİŞMELER	46
3.1. Giriş	46
3.2. Temel Kavramlar	46
3.3. İnsansız Otomatik İmalat İstasyonu	47
3.4 Esnek İmalat Hücresi (EİH)	51
3.5 Esnek İmalat Sistemleri (EİS)	55
3.6 Çok hücreli EİS	60
3.7 EİS’de Takım Akış Konfigrasyonu	62
3.7.1. Merkezi Takım Deposu (CTS)	64
3.7.2. İkincil Takım Deposu (STS)	64
3.7.3. Birincil Takım Deposu (PTS)	65
3.8 Çok Hücreli EİS’de Takım Yönetimi	66
BÖLÜM 4.	
EİS’DE PARÇA VE TAKIM AKIŞI	67
4.1. Giriş	67
4.2. Çizelgeleme Kavramı ve EİS’de Çizelgeleme	67
4.3. EİS’de Çizelgeleme Algoritmaları	69
4.4 Esnek İmalatta Takım Yönetimi	71
4.5. Yeniden Dönüşüm (Recycle)	78
4.5.1. Yeniden dönüşüm operasyonu	80
4.6. Takım Kısıtı Altında Çizelgeleme	80
BÖLÜM 5.	
MODEL TANIMI VE ARAŞTIRMANIN AMAÇLARI	81
5.1. Giriş	81
5.2. Araştırmanın Amacı	81
5.3. Model Tanımı	82
5.4 Modelleme Özellikleri	84
5.4.1 Üretim süresi ve sistemin çalışma prensipleri	85
5.5. Simülasyon Paketi, Özellikleri ve Kısıtları	86

BÖLÜM 6.	
SİMÜLASYON UYGULAMALARI	89
6.1. Giriş	89
6.2. Sınırlar ve Amaçlar	89
6.2.1. EİS'nin performansı ve performans etkileşimi	90
6.3. Sistemde Kullanılan Veriler ve Sistemin Çalışması	92
6.3.1. Parça çizelgeleme	96
6.3.2. Palet sayısının belirlenmesi	97
6.3.3. Takım yönetimi	97
6.3.4. Takım depolama	97
6.3.5. Takım akış trafiği	98
6.3.6. Yeniden dönüşüm (recycle)	100
6.4. Tezgah Politikası	100
6.4.1 Tezgah gruplama	101
6.5 Malzeme ve Takım İletimi	101
6.6. Otomatik Depolama ve Geri Alma Sistemi (AS/RS).....	102
6.7 Tezgah Konfigrasyonunun Belirlenmesi	102
6.8 Senaryolar	104
6.8.1. Senaryo 1 (OTA etkisi).....	104
6.8.2. Senaryo 2 (başka bir sistem konfigrasyonu).....	115
6.8.3. Senaryo 3 (magazın kapasitesinin etkisi).....	124
6.8.4. Senaryo 4 (parti büyüklüğü ve palet kapasitesinin etkisi).....	133
6.8.5. Senaryo 5 (palet sayısının etkisi).....	143
6.8.6. Senaryo 6 (gelişler arası sürenin etkisi).....	153
6.8.7. Senaryo 7 (yeniden dönüşüm yaklaşımının etkisi).....	161
SONUÇLAR	172
TARTIŞMA ve ÖNERİLER	179
KAYNAKLAR	182
ÖZGEÇMİŞ	200

KISALTMALAR LİSTESİ

EİH	: Esnek imalat hücresi
EİS	: Esnek imalat sistemi
US	: Uzman Sistem
YSA	: Yapay sinir ağı
OTA	: Otomatik taşıma aracı
TTG	: Tam takım grubu
TGP	: Takım grubu paylaşımı
TTA	: Tek takım atama
YTG	: Yerleşik takım grubu
TKA	: Takım kullanım adedi
TKO	: Takım kullanım oranı
TKTA	: Tamamen kullanılmış takım adedi
TTA	: Temel takım adedi
TOT	: Temel olmayan takım adedi
SPT	: Shortest proses time (En kısa işlem zamanı)
LPT	: Longest proses time (En uzun işlem zamanı)
EDD	: Earliest due date (En yakın teslim tarihi)
FIFO	: First input first output (İlk giren ilk çıkar)
CTS	: Central tool storage (Merkezi takım deposu)
STS	: Secondary tool storage (İkincil takım deposu)
PTS	: Primary tool storage (Birincil takım deposu)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1 Esnek imalatın donanım parçaları	7
Şekil 2. 2 Hacim - değişkenlik ve imalat sistemlerim	8
Şekil 2. 3 Bir EİS edinme karar akış diyagramı	10
Şekil 2. 4 EİS tasarlama prosedürü	11
Şekil 2. 5 EİS tasarım problemleri	12
Şekil 2. 6 EİS için kontrol hiyerarşisi	14
Şekil 2. 7 Uzman sistemlerin temel yapısı [203]	44
Şekil 3. 1 Verimliliğe karşı esneklik	47
Şekil 3. 2 İmalat sistemleri için inşa blokları	48
Şekil 3. 3 İnsansız istasyon yapısı	49
Şekil 3. 4 Silindirik parçalar için bir insansız istasyon	49
Şekil 3. 5 CPC Taşımalı (taşıyıcılı) bir insansız istasyon	50
Şekil 3. 6 Silindirik parçalar için bir EİH	52
Şekil 3. 7 Prizmatik parçalar için bir EİH	52
Şekil 3. 8 Prizmatik parçalar için bir EİH	53
Şekil 3. 9 Flanşlar ve şaftlar için bir EİH	53
Şekil 3. 10 Prizmatik parçalar için bir EİH	54
Şekil 3. 11 Çift istasyonlu bir EİH	55
Şekil 3. 12 EİS'in yapısı	56
Şekil 3. 13 Pompa gövdeleri için bir EİS	57
Şekil 3. 14 İkincil takım magazinli bir EİS	57
Şekil 3. 15 Pompa gövdesi için bir EİS	58
Şekil 3. 16 Büyük parçalar için bir EİS	59
Şekil 3. 17 Prototip otomobil parçaları için bir EİS	59
Şekil 3. 18 Çok hücreli EİS'in yapısı	60
Şekil 3. 19 Çok hücreli sistemin kontrol hiyerarşisi	61

Şekil 3. 20 Çok hücreli bir taşlama sistemi	62
Şekil 3. 21 Hücre seviyesinde takım ve parça akışı	63
Şekil 3. 22 Fabrika seviyesinde takım ve parça akışı	63
Şekil 3. 23 Merkezi Takım Deposu (CTS)	65
Şekil 4. 1 Tam takım grubu stratejisinin çalışma prosedürü	73
Şekil 4. 2 Takım grubu paylaşımlı stratejisinin çalışma prosedürü	74
Şekil 4. 3 Tek takım atama stratejisinin çalışma prosedürü	75
Şekil 4. 4 Yerleşik takım grubu stratejisinin çalışma prosedürü	77
Şekil 5. 1 Sistemin yerleşim planı	83
Şekil 5. 2 SIMAN simülasyon dilinin organizasyonu [231]	88
Şekil 6. 1 a Takımların sisteme girişi	99
Şekil 6. 1 b Takımların sistemden çıkarılması	99
Şekil 6. 2 Tezgah konfigrasyonunun belirlenmesi prosedürü	103
Şekil 6. 3 OTA kullanımında ortalama akış zamanı	106
Şekil 6. 4 OTA kullanımında sistemin verimi	107
Şekil 6. 5 OTA kullanım oranı	107
Şekil 6. 6 OTA kullanımında ortalama palet kullanımı	108
Şekil 6. 7 OTA kullanımında sistem önünde bekleyen parti adedi	108
Şekil 6. 8 OTA kullanımında geciken parti adedi	109
Şekil 6. 9 OTA kullanımında ortalama gecikme zamanı	109
Şekil 6. 10 OTA kullanımında bitmiş parti adedi	110
Şekil 6. 11 OTA kullanımında işlemi bitmiş parti adedi	110
Şekil 6. 12 OTA kullanımına göre toplam takım kullanım adedi	112
Şekil 6. 13 OTA kullanımına göre takım kullanım oranı	113
Şekil 6. 14 OTA kullanımına göre tamamen kullanılmış takım adedi	113
Şekil 6. 15 OTA kullanımına göre temel takım adedi	114
Şekil 6. 16 OTA kullanımına göre temel olmayan takım adedi	114
Şekil 6. 17 Senaryo 2'de ortalama akış zamanı	115
Şekil 6. 18 Senaryo 2'de sistemin verimi	117
Şekil 6. 19 Senaryo 2'de OTA kullanım oranı	117
Şekil 6. 20 Senaryo 2'de ortalama palet kullanımı	118
Şekil 6. 21 Senaryo 2'de sistem önünde bekleyen parti adedi	118

Şekil 6. 22 Senaryo 2'de ortalama gecikme zamanı	119
Şekil 6. 23 Senaryo 2'de geciken parti adedi	119
Şekil 6. 24 Senaryo 2'de bitmiş parti adedi	120
Şekil 6. 25 Senaryo 2'de işlemi bitmiş parça adedi	120
Şekil 6. 26a Optimal konfigrasyonda sistem önünde bekleyen partilerin sayısı	120
Şekil 6. 26b Optimal olmayan konfigrasyonda sistem önünde bekleyen partilerin sayısı ..	121
Şekil 6. 27 Senaryo 2'de takım kullanım adedi	121
Şekil 6. 28 Senaryo 2'de takım kullanım oranı	122
Şekil 6. 29 Senaryo 2'de tamamen kullanılmış takım adedi	123
Şekil 6. 30 Senaryo 2'de temel takım adedi	123
Şekil 6. 31 Senaryo 2'de temel olmayan takım adedi	124
Şekil 6. 32 Senaryo 3'de ortalama akış zamanı	125
Şekil 6. 33 Senaryo 3'de sistem verimi	126
Şekil 6. 34 Senaryo 3'de OTA kullanım oranı	126
Şekil 6. 35 Senaryo 3'de ortalama palet kullanımı	127
Şekil 6. 36 Senaryo 3'de sistem önünde bekleyen iş sayısı	127
Şekil 6. 37 Senaryo 3'de ortalama gecikme zamanı	128
Şekil 6. 38 Senaryo 3'de ortalama gecikme adedi	128
Şekil 6. 39 Senaryo 3'de bitmiş parti adedi	129
Şekil 6. 40 Senaryo 3'de işlemi bitmiş parça adedi	129
Şekil 6. 41 Senaryo 3'de toplam takım kullanım adedi	130
Şekil 6. 42 Senaryo 3'de takım kullanım oranı	131
Şekil 6. 43 Senaryo 3'de tamamen kullanılmış takım adedi	131
Şekil 6. 44 Senaryo 3'de temel takım adedi	132
Şekil 6. 45 Senaryo 3'de temel olmayan takım adedi	132
Şekil 6. 46 Senaryo 4'de ortalama akış zamanı	135
Şekil 6. 47 Senaryo 4' sistemin verimi	136
Şekil 6. 48 Senaryo 4'de OTA kullanım oranı	136
Şekil 6. 49 Senaryo 4'de ortalama palet kullanımı	137
Şekil 6. 50 Senaryo 4'de sistem önünde bekleyen parti adedi	137
Şekil 6. 51 a Birinci yaklaşımda sistem önünde bekleyen partilerin durumu ..	138
Şekil 6. 51 b İkinci yaklaşımda sistem önünde bekleyen partilerin durumu ...	138

Şekil 6. 52 Senaryo 4'de ortalama gecikme zamanı	139
Şekil 6. 53 Senaryo 4'de ortalama geciken parti adedi	139
Şekil 6. 54 Senaryo 4'de işlemi bitmiş parti adedi	140
Şekil 6. 55 Senaryo 4'de işlemi bitmiş parça adedi	140
Şekil 6. 56 Senaryo 4'de kullanılan toplam takım adedi	141
Şekil 6. 57 Senaryo 4'de takım kullanım oranı	142
Şekil 6. 58 Senaryo 4'de tamamen kullanılmış takım adetleri	142
Şekil 6. 59 Senaryo 4'de temel takım adedi	143
Şekil 6. 60 Senaryo 4'de temel olmayan takım adedi	143
Şekil 6. 61 Senaryo 5'de ortalama akış zamanı	145
Şekil 6. 62 Senaryo 5'de sistem verimi	146
Şekil 6. 63 Senaryo 5'de OTA kullanım oranı	147
Şekil 6. 64 Senaryo 5'de ortalama palet kullanımı	147
Şekil 6. 65 Sistem önünde bekleyen parti adedi	148
Şekil 6. 66 Senaryo 5'de ortalama gecikme zamanı	148
Şekil 6. 67 Senaryo 5'de geciken parti adedi	149
Şekil 6. 68 Senaryo 5'de bitmiş parti adedi	149
Şekil 6. 69 Senaryo 5'de İşlemi bitmiş parça adedi	150
Şekil 6. 70 Senaryo 5'de kullanılan toplam takım adedi	151
Şekil 6. 71 Senaryo 5'de takım kullanım oranı	151
Şekil 6. 72 Senaryo 5'de tamamen kullanılmış takım adedi	152
Şekil 6. 73 Senaryo 5'de temel takım adedi	152
Şekil 6. 74 Senaryo 5'de temel olmayan takım adedi	152
Şekil 6. 75 Senaryo 6'da ortalama akış zamanı	153
Şekil 6. 76 Senaryo 6'da sistem verimi	154
Şekil 6. 77 Senaryo 6'da OTA kullanım oranı	155
Şekil 6. 78 Senaryo 6'da ortalama palet kullanımı	155
Şekil 6. 79 Senaryo 6'da sistem önünde bekleyen parti adedi	156
Şekil 6. 80 Senaryo 6'da sistem önünde bekleyen partilerin durumu	156
Şekil 6. 81 Senaryo 6'da ortalama gecikme zamanı	157
Şekil 6. 82 Senaryo 6'da geciken parti adedi	157
Şekil 6. 83 Senaryo 6'da bitmiş parti adedi	158

Şekil 6. 84 Senaryo 6'da işlemi bitmiş parça adedi	158
Şekil 6. 85 Senaryo 6'da toplam takım kullanım adedi	159
Şekil 6. 86 Senaryo 6'da takım kullanım oranı	159
Şekil 6. 87 Senaryo 6'da tamamen kullanılmış takım adedi	160
Şekil 6. 88 Senaryo 6'da temel takım adedi	160
Şekil 6. 89 Senaryo 6'da temel olmayan takım adedi	161
Şekil 6. 90 Senaryo 7'de ortalama akış zamanı	162
Şekil 6. 91 Senaryo 7'de sistem verimi	163
Şekil 6. 92 Senaryo 7'de OTAkullanım oranı	164
Şekil 6. 93 Senaryo 7'de ortalama palet kullanımı	164
Şekil 6. 94 Senaryo 7'de sistem önünde bekleyen parti adedi	165
Şekil 6. 95 Senaryo 7'de ortalama gecikme zamanı	165
Şekil 6. 96 Senaryo 7'de geciken parti adedi	166
Şekil 6. 97 Senaryo 7'de bitmiş parti adedi	166
Şekil 6. 98 Senaryo 7'de işlemi bitmiş parça adedi	167
Şekil 6. 99 Bileme adedi	168
Şekil 6. 100 Toplam takım hareketi	168
Şekil 6. 101 CTS'den takım hareketi	168
Şekil 6. 102 STS'den takım hareketi	169
Şekil 6. 103 Senaryo 7'de toplam takım hareketi	169
Şekil 6. 104 Senaryo 7'de tamamen kullanılmış takım adedi	170
Şekil 6. 105 Senaryo 7'de temel takım adedi	170
Şekil 6. 106 Senaryo 7'de temel olmayan takım adedi	171

TABLolar LİSTESİ

Tablo 6. 1 Parçalarla ilgili veriler	93
Tablo 6. 2 Parçaların Kullandığı Takımlar ve İşlem Süreleri	93
Tablo 6. 3 Takımlarla ilgili veri seti	94
Tablo 6. 4 Hücreler arası mesafe	95
Tablo 6. 5 Bir OTA'lı sistemde sistem performans değerleri	95
Tablo 6. 6 İki OTA'lı sistemde sistem performans değerleri	105
Tablo 6. 7 Bir OTA'lı sistemde takım yönetimi performans değerleri	111
Tablo 6. 8 İki OTA'lı sistemde takım yönetimi performans değerleri	111
Tablo 6.9 1. konfigürasyondan elde edilen sistem performans değerleri	116
Tablo 6.10 1.konfigürasyonun takım performans değerleri	122
Tablo 6.11 20 takım kapasiteli magazine göre elde edilen sistem performans degerleri ...	125
Tablo 6.12 Takım performans değerleri	130
Tablo 6.13 Senaryo 4'deki yaklaşımlarda kullanılan değerler	133
Tablo 6.14 1. yaklaşımdan elde edilen performans değerleri	134
Tablo 6.15 2. yaklaşımdan elde edilen performans değerleri	134
Tablo 6.16 1. yaklaşımdaki takım yönetimi performans değerleri	141
Tablo 6.17 2. yaklaşımdaki takım yönetimi performans değerleri	141
Tablo 6.18 10'ar adet palet kullanıldığında elde edilen performans değerleri.	144
Tablo 6.19 20'şer adet palet kullanıldığında elde edilen performans değerleri	145
Tablo 6.20 10'ar paletli sistemde takım yönetimi performans değerleri	150
Tablo 6.21 20'ar paletli sistemde takım yönetimi performans değerleri	150
Tablo 6.22 Sistemde gelişler arası süre 75 dk. olduğunda elde edilen performans değerleri ..	154
Tablo 6.23 Gelişler arası süre 75dk olduğunda elde edilen takım yönetimi performans değerleri	159
Tablo 6.24 Yeniden dönüşüme izin verilen sistemden elde edilen performans değerleri	162
Tablo 6.25 Yeniden dönüşüme izin verilen sistemden elde edilen takım yönetimi Performans değerleri	167

ÖZET

Anahtar kelimeler: Esnek İmalat Sistemi, Yapay sinir ağı, Takım yönetimi, Simülasyon

İş parçaları ve kesici takımların esnek imalat sistemi içerisinde eşzamanlı akışının tasarımı ve analizi için yapılan bu çalışma; planlama, tasarım ve analiz olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

Planlama aşamasında, imalatı yapılacak parça tipleri, bu parçaların işlemlerinin gerçekleştirileceği tezgah tipleri, parti büyüklükleri ve üretim oranları, işlem planları ve gerekli takımlar ve bu takımlarla ilgili veriler daha önceki çalışmalarda kullanılan gerçek endüstriyel verilerden belirlenmiştir.

Tasarım aşamasında, planlama aşamasında belirlenen verilere göre çok hücreli EİS'de hücrelerde bulunacak tezgah sayıları, malzeme taşımada kullanılacak OTA sayısı ve yarı mamul stok sayısının izin verilebilecek miktarını belirlemek için, sistem modelleme ve analizinde etkili bir yöntem olan simülasyon kullanılmıştır. Simülasyon, optimuma ulaşamama veya çok uzun zaman gerektirme gibi bazı dezavantajlarını önlemek amacıyla bir yapay zeka tekniği olan yapay sinir ağı ile birlikte kullanılarak optimum sistem konfigürasyonu belirlenmiştir.

Analiz aşamasında ise, ana simülasyon programına, takım yönetimi bir alt program olarak ilave edilmiş ve bu şekilde takımlar ile parçaların eşzamanlı çalışması sonucu oluşan değerler elde edilmiştir. Sistemin bu iki dinamik elamanı aynı anda ele alınmış, çeşitli iş çizelgeleme ve takım yönetimi stratejileriyle alternatif tasarım konfigürasyonlarında çalıştırılarak; sistem performansı ve takım yönetimi performans kriterlerinin değerleri elde edilmiştir. Her bir alternatif tasarım konfigürasyonu ayrı ayrı ele alınarak, her bir kriter için ayrı ayrı analiz edilmiş ve bulunan sonuçlar tablo ve grafiklerin yardımıyla sunulmuştur.

Çalışmanın sonucunda öne çıkan sistem davranışları ve elde edilen sonuçlar bir liste halinde verilmiştir.

SUMMARY

Key Words: Flexible Manufacturing System (FMS), Simulation, Artificial Neural Networks, Tool Management

This study was carried out to design and analyse the dual flow of parts and cutting tools in a flexible manufacturing system, and comprised three main phases: planning, design and analysis.

In the planning phase, parts types to be produced and machines to be used, batch sizes and production rates, operations plans, required tools and their specifications were determined using data obtained from previous industrial implementations.

In the design phase; simulation was used as a tool for analysing the number of machines and maximum level of work in process in each cell of the multi-cell flexible manufacturing system and the number of AVG's required for efficient materials handling. Here, neural networks were used along with simulation to obtain the optimal system configuration that prevents disadvantages of pure simulation techniques such as not reaching a global optima or time-consuming experimentation.

In the analysis phase; a sub-program for tool management was integrated to the main program and the results of the dual flow of parts and tools were obtained. These two dynamic elements of the system were explored together, and their performance criteria was determined by using various scheduling and tool management strategies for alternative design configurations. For each alternative design, these criteria were analysed by using tables and graphics.

Based upon the results of this study, a dominant system behaviour for a particular multicell-FMS was determined and conclusions were drawn.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Otomatize imalat sistemleri pek çok imalat endüstrisi alanı için giderek daha önemli bir özellik haline gelmektedir. Esnek imalat kavramı özellikle metal endüstrisinde verimliliği artırmak amacıyla yaygın olarak uygulama alanı bulmuştur.

Yüksek tezgah kullanım oranı, düşük birim maliyet, daha kısa üretim süresi, yüksek kalite, pazar değişimlerine karşı daha kolay karşılık verebilme gibi temel ve çok önemli faydalarına rağmen, esnek imalat kavramı yüksek maliyet nedeniyle belli bir risk anlamına da gelmektedir. Ayrıca, sistemin son derece karmaşık ve entegre çalışıyor olması ve sistemi oluşturan esnek imalat teknolojisinin son derece yeni ve yüksek otomasyona sahip olması bu sistemlerin belli bir ölçüde bilinmeyene doğru bir macerada olabileceği riskini de taşımaktadır.

Sonuç olarak, sistemin potansiyel faydalarına uygun ve gerçekçi olarak gözönüne alınarak, sistematik ve yapısal bir tasarım ve analiz sistemi kullanılmalıdır. Dolayısıyla, sistemin performansını uygun ve gerçekçi olarak ölçebilecek, sistemin tüm detay davranışlarını doğru olarak yansıtabilecek bir model çok önemli bir ihtiyaçtır. Fakat belli bir metodoloji olmaksızın bir model geliştirme hemen hemen imkansızdır ve bu nedenle sistemin davranışlarını gözlemlemede o ölçüde imkansızdır.

Esnek imalat sistemlerinin başarısını büyük ölçüde etkileyen hatta sistemi tümüyle başarısız kılacak ya da sistemin başarıyla çalışmasını sağlayacak iki temel dinamik unsur iş parçaları ve bu parçaların operasyonunda kullanılan kesici takımlardır. Pek çok çalışmada bu iki temel eleman ya ayrı ayrı ele alınmış, veya birisi ihmal edilerek sistem performansı ölçülmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ise iki temel eleman aynı anda ele alınarak çeşitli iş ve takım çizelgeleme stratejileri ve

alternatif tasarım konfigürasyonları (senaryolar) altında sistem performansını nasıl etkilediği incelenmiştir.

Sistemin modellenmesinde kullanılan temel veriler, daha önceki çalışmalarda kullanılan gerçek endüstriyel verilerdir. Ayrıca sistem dünyada çok yaygın olarak görülen çok hücreli ve her hücrenin belli bir teknolojiye sahip olduğu bir sistem olarak ele alınmıştır.

Simülasyon modelleme özellikle bilgisayar teknolojisinin gelişmesine paralel olarak, sistem modellenme ve analizinde başarısını ispatlamış bir tekniktir. Bu nedenle bu çalışmada ele alınan modelleme metodolojisi olarak simülasyon kullanılmıştır.

Bu çalışmada yapılan simülasyon modelleme, dünyada yaygın olarak kullanılan SIMAN simülasyon dilinde kodlanmış ve tüm analizler bu programın sağlamış olduğu çıktılar üzerine kurulmuştur.

Bu girişi takiben ikinci bölümde, esnek imalat tasarım ve analizi yanında modelleme konusunda da yapılan çalışmalar ve bu çalışmayla ilgili görülenler taranarak çalışmaya alt yapı oluşturacak aynı zamanda bu çalışma ile benzer çalışmaların farklılıklarını da ortaya koyacak geniş bir literatür çalışması verilmiştir.

Üçüncü bölümde otomatize imalatın temel kavramları, sistem tipleri, bu tür sistemlerde kullanılan donanım biçimleri ve bu teknolojiye en son gelişmeler verilmiştir.

Bu çalışmanın da temel konusunu oluşturan esnek imalat sisteminde parça ve takım akışları, literatürdeki bazı çalışmalardan örneklerle anlatılmış ve sistem üzerindeki etkisi dördüncü bölümde tartışılmıştır.

Beşinci bölümde; bu çalışmanın amaçları, kurulan sistemin model tanımı ve modelleme özellikleri verilmiştir.

Altıncı bölümde, çalışmada kullanılan veriler, sistemde bulunan ekipmanlar, sistemin çalıştırılması sonucu elde edilen performans değerleri ve tezgah konfigrasyonunun belirlenmesinde uygulanan yaklaşım verilmiştir. Ayrıca, alternatif sistem konfigrasyonları, sistem parametrelerinde yapılan değişiklikler ve yeni bir takım yönetimi yaklaşımı ile farklı 7 senaryo tasarlanmıştır. Herbir senaryo temel sistem ve operasyon kriterleri altında incelenmiş ve sistemlerin davranışları belirlenmiştir. Sistem davranışları herbir kriter için ayrı ayrı analiz edilmiş ve bulunan sonuçlar grafik ve tablolar yardımıyla aktarılmıştır.

Sonuçlar bölümünde; tüm sistem gözönüne alınarak bu çalışma sonucunda öne çıkan sistem davranışları ve bulunan sonuçlar analiz edilmiş ve sonuçlar listelenmiştir.

Tartışma ve öneriler bölümünde ise; çalışmanın yapılmış benzer çalışmalardan farklı yönleri ve çeşitli nedenlerle yapılamayan ancak bu çalışmanın devamı olarak yapılabilecek bazı noktalara dikkat çekilerek liste halinde verilmiştir.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Giriş

Bu literatür taramasının amacı; otomatize imalat sistemlerinin temel kavramlarını, sistemin temel elemanlarını, literatürden örneklerle tanıtmak ve özellikle sistemin iki dinamik elemanı olan takım ve parçaların yönetimi ile ilgili genel bir değerlendirme yapmaktır. Bu değerlendirme, bu alanda yapılmış olan araştırma sonuçları ile sisteme etki eden temel faktörleri de kapsamaktadır.

Önce, temel imalat kavramı, otomatize sistemler ve sistem uygulamaları çeşitli gerçek örneklerle verilmiştir. Otomatize sistemlerin önemli bir örneği olan esnek imalat sistemleri (EİS), sistem tasarımı ve operasyonu tanıtılmıştır.

Sistemin başarısını önemli derecede etkileyen parça çizelgeleme ve iş yükleme kavramı, yapısı ve çizelgeleme kuralları çeşitli örneklerle sunulmuştur.

Diğer bir dinamik eleman olan takımların yönetimi kavramı, tasarımı, işletimi, uygulanan stratejiler ve kontrol kuralları genel bir değerlendirme, literatürdeki en son örneklerle verilmiştir.

Son olarak, sistemin bilgisayar ile modellenmesinde kullanılan temel modelleme teknikleri, avantajları ve dezavantajları, karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

2.2 Esnek İmalat-Temel Kavramlar

Seksenli yılların başlarına kadar çoğunlukla düşük veya yüksek hacimli üretimlerden söz etmek mümkündür; ancak otomasyonun üretime girmesiyle, esnek

imalat kavramı yukarıda bahsedilen düşük veya yüksek hacimli üretim arasında bir yerde yer alarak, yüksek otomasyonla, kütle üretim sisteminde yüksek verimliliği sağlamıştır [1]. Ekonomik ve teknolojik gelişmeler, özellikle esnek imalatta kendisini daha iyi hissettirmektedir. Bu tür yüksek teknoloji esnek imalata daha çok, düşük yarı mamül oranı, yüksek ekipman kullanımı, kısa üretim süresi, yüksek kalite ve gelişmiş bir esneklik olarak yansımaktadır [2]. Fakat bu avantajlar ancak çok dikkatli bir sistem tasarımı ve bu tasarımın doğru olarak uygulanması ile gerçekleşebilir [3].

Esnek imalat ve diğer üretim metodları arasında bir karşılaştırma birkaç boyutta ele alınabilir [4] [5]. Esnek imalat teknolojisi, klasik imalat sistemleri ile karşılaştırıldığında, daha avantajlı olduğuna dair diğer etkili faktörler aşağıda verilmiştir [6].

- İmalat maliyetleri; imalat operasyonları maliyetlerini, imalat operasyonlarını destekleyen faaliyet ve ekipmanların maliyeti, imalat demirbaş maliyeti (imalat ekipmanları, inşaat ve makina parkı vb), malzeme ve iş gücü gibi direkt maliyetler ve extra maliyetler (danışma ve bakım gibi) içerir.
- Dağıtım performansı; sistemin hem normal operasyon şartlarını, hem de talep ve iç detaylardan kaynaklanan yeni durumlara dönüşümler sırasındaki imalat programlarını karşılama kabiliyeti.
- Makina bozulmalarına karşı üretim sisteminin esnekliği; sistemin minimum üretim kayıpları ile bozulmalara uyarlanma kabiliyeti.
- Üst yönetimin ilgisi; olumlu veya olumsuz ilgilenme derecesi, işe sarılma, üretim sistemine yönetimin katkı ve desteği veya sistemi destekleyen zümreye olan katılım ve destek.
- Grup morali; imalat sistemin fonksiyonelliği için bireylerin koordineli olarak paylaşımında iş sarılma derecesi, bağlılık ve karar vermedir.

Esnek imalat, ilk kez otuz yıl önce Williamson [7] tarafından gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. “Sistem 24” adı verilen bu sistem, klasik sistem konfigürasyonuna, tezgah tasarımına, iş parçası, takım akışı ve bilgisayar kontrolü kavramına karşı

önemli bir meydan okuma idi ve özellikle, esnek imalat teknolojisinin uygulanmaya başlamasından sonra bilgisayar teknolojisindeki büyük gelişmeler, gerçek zamanlı kontrol, mekanik araçların kontrolündeki gelişmeler ve tüm sistemi birbirine entegre edebilen ve kontrolü sağlayabilen yazılımların geliştirilmesi bu teknolojinin yerleşmesinde büyük katkılar sağladı [8].

Sayısal bilgisayar kontrollü (BSK-CNC) tezgahların, otomatik malzeme taşıyıcıları, palet transfer araçları ve endüstriyel robotlarla desteklenmesi sistemin donanımına büyük katkılarda bulunmuştur [9]. Bu tür donanım ve bilgisayar teknolojisi ile sistemi oluşturan tüm birimler arasında iletişimin sağlanması esnek imalat teknolojisinin en önemli kısmını oluşturmaktadır.

Modern esnek imalattaki gelişmeler, sistem tasarımını bloklar halinde yapmayı daha kolay hale getirmiştir (Şekil 2.1).

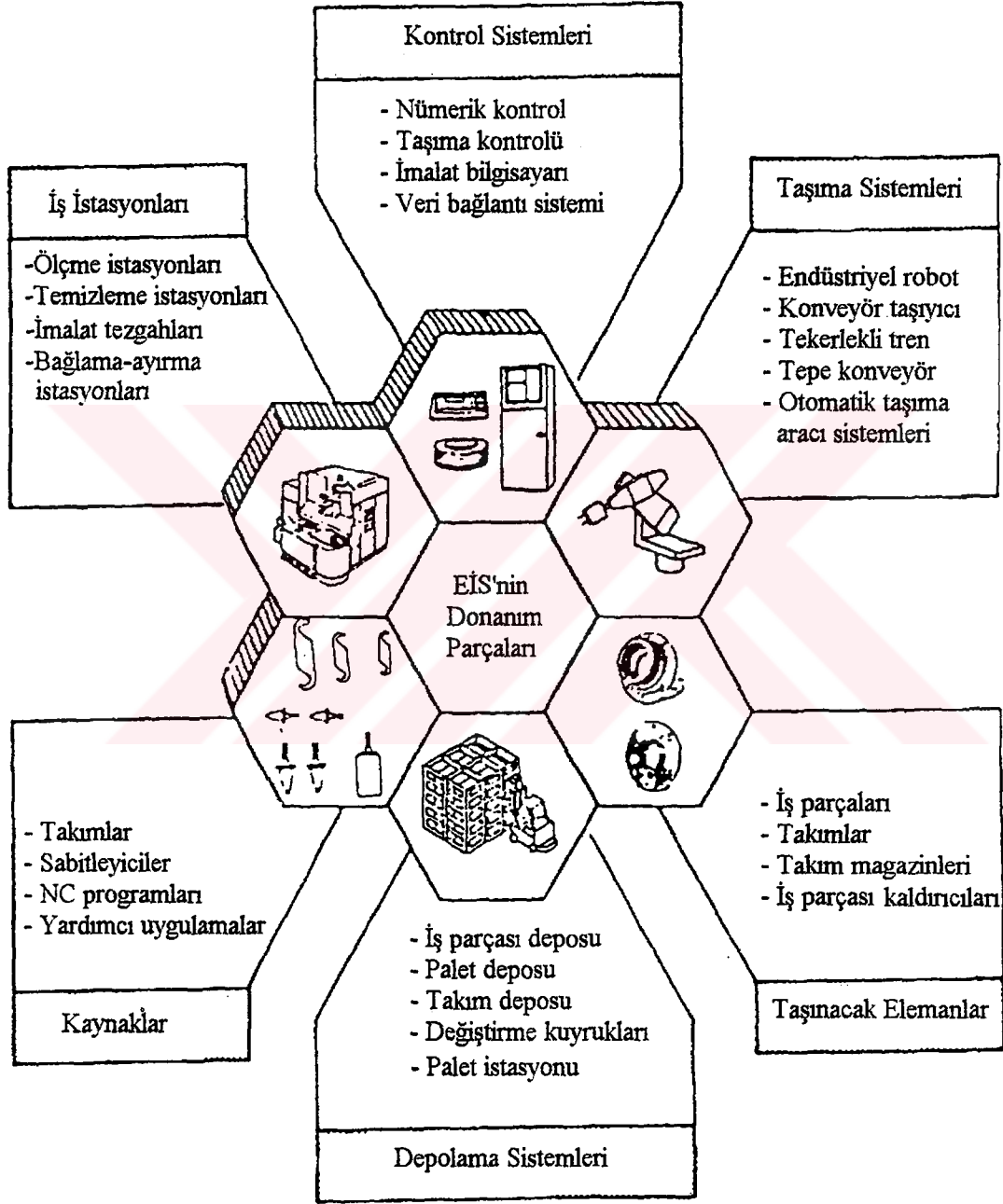
Bell [8]; hacim, çeşit ve imalat sistemi konfigürasyon ilişkisini grafik olarak göstermiştir (Şekil 2.2).

Kütle üretiminde üç temel kategori mümkündür. Bunlar; insansız tek bir istasyon, esnek imalat hücresi ve esnek imalat sistemi. Ayrıca çok hücreli esnek imalat sistemi ve büyük boyutlu dağıtılmış sistemlerde doksanlı yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [10] [11].

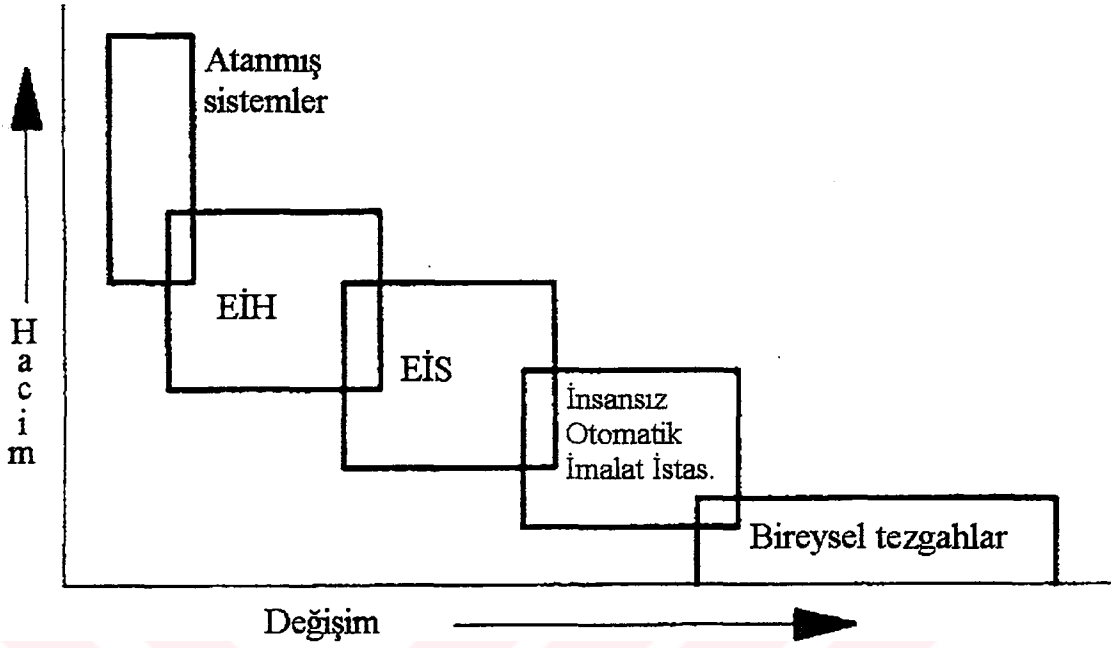
İnsansız tek istasyon, bir sayısal bilgisayar kontrollü tezgah, bir robot ya da otomatik palet değiştirici ve kontrol yazılımından oluşmaktadır ve herhangi bir insan müdahalesi olmadan çalışabilmektedir [9] [12] [13] [14] [15].

Bir imalat hücresi ise en genel anlamda, herhangi bir iş parçasını, hücreyi terketmeden istenilen forma sokmak için gerekli tüm operasyonların yapılabildiği bir imalat merkezi olarak tanımlanabilir [9] [16] [17] [18]. Sınırlı sayıda rota ve operasyon sözkonusudur ve genellikle iki bilgisayar kontrollü tezgah, bir robot ve bir koordinat ölçüm makinasından oluşmaktadır [19] [20] [21] [22] [23].

Esnek imalat hücreleri ile ilgili detaylı bir literatür taraması Reisman ve diğerlerinde [24] bulunabilir.



Şekil 2. 1 Esnek imalatın donanım parçaları



Şekil 2. 2 Hacim - değişkenlik ve imalat sistemleri [8]

Esnek imalat sistemi ise; kısa dönem imalat ihtiyaçlarına karşılık verebilen yüksek otomasyona sahip daha yetenekli sistemlerdir. Otomatik iş akışının yanısıra, kesme operasyonlarının gerçekleştirilmesinde ve sistemin kontrolünde kapsamlı bilgisayar kontrolü, sayısal kontrollü veri yönetimi, iş parçası ve takım çizelgeleme gerektirmektedir [25] [26]. Bir EİS çeşitli derecelerde parça çeşidi, iş parçasının parti büyüklüğü ve iş çizelgeleme esnekliklerine sahip olabilir [27] [28] [29] [30] [31] [32] [33].

Çok hücreli bir sistem ise farklı teknolojilere sahip hücrelerin bilgisayar kontrolü altındaki malzeme iletim sistemi ile birbirine bağlanan çok daha büyük otomatize imalat sistemleridir. Tipik olarak çok hücreli bir sistem hem metal kesme, hem şekil verme hem de montaj hücrelerine sahip olabilir [25] [26]. Dolayısıyla bu tür sistemler farklı geometride, farklı büyüklükte ve farklı çeşitlilikteki iş parçalarını otomatik olarak işleyebilme yeteneğine sahiptirler [10] [17] [34] [35] [36].

Günümüze kadar çeşitli ülkelerde bu sistemlerden yüzlercesi kurulmuş ve çalıştırılmaktadır [37]. Bu sistemlere ait geniş bilgiler yıllık EİS konferanslarında, EİS magazinlerinde ve imalat sistemleri üretim teknolojisi araştırma dergilerinde

çeşitli boyutlarıyla bulunabilir. Bir EİS'in tasarımı ve işletilmesine ait ilk EİS kitabını Ranky [38] yayınlamıştır. EİS teknolojisine ait geniş bir tarama ise Hardley [9] tarafından yapılmıştır. Günümüzde EİS kitaplarının pek çoğunda (Rankly [38], Luggen [39], Parris [40] vb.) EİS kavramları, tasarım ve işletimine ait bilgiler bulunabilir.

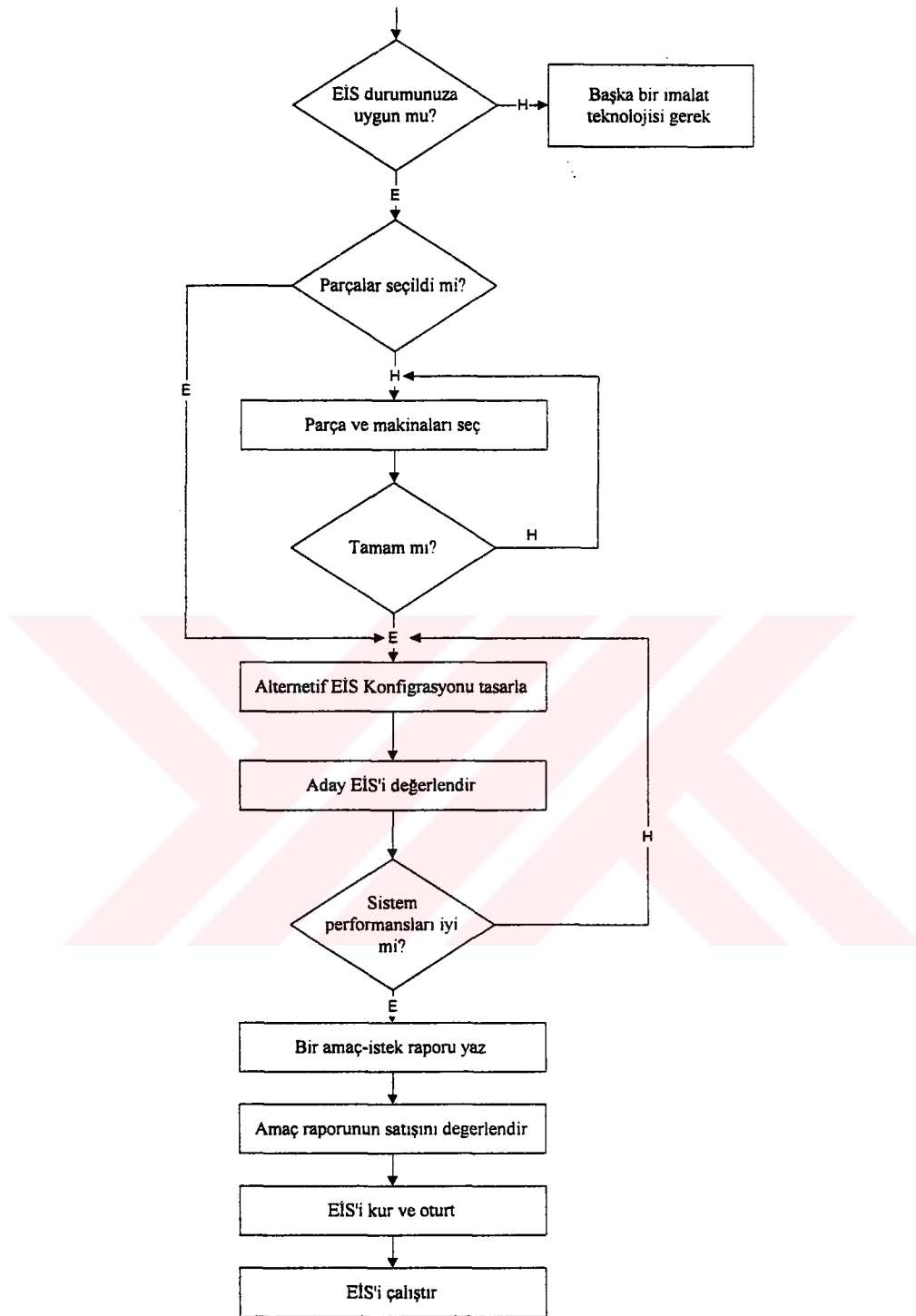
2.3 Esnek İmalat Sistemlerinin Tasarımı

EİS'in tasarımına ilk katkılardan birisi Charles Droper Laboratory Inc. [41]'in geliştirdiği tasarım sistemidir (Şekil 2.3).

Barash ve diğerleri [42] bilgisayarlı imalat sistemlerinin planlanmasını tanımlamıştır. Tüm işlem altı adıma bölünmüştür. İlk olarak, aynı aileye mensup parçalar imalat ihtiyaçlarına göre seçilmektedir; ikinci adımda, her parça grubu için gerekli tezgah ve parça parti büyüklüklerine karar verilmektedir; üçüncü adımda, tezgah tipi ve sayılarını da kapsayan sistemin fonksiyonel elemanlarına karar verilmektedir; dördüncü adımda, malzeme iletim sisteminin de dahil edildiği çeşitli sistem konfigürasyonları belirlenmektedir; beşinci adımda, dördüncü adımda belirlenen alternatif sistem konfigürasyonları simüle edilmekte, sistemlerin performansları ölçülmekte ve en iyi sistem seçilmektedir ve son adımda ise sistemin işletim kuralları belirlenip test edilmektedir.

Warnecke ve Scharf [1] bu konuda ki ilk yayınlardan biri olan makalelerinde, bütünleşik imalat sistemlerinin tasarımında göz önüne alınan önemli kriterleri tartışmışlardır. EİS'lerin tasarımında göz önüne alınacak kriterler Bilalis [43], Parris [44], Newman [45] ve Wei [46] de bulunabilir.

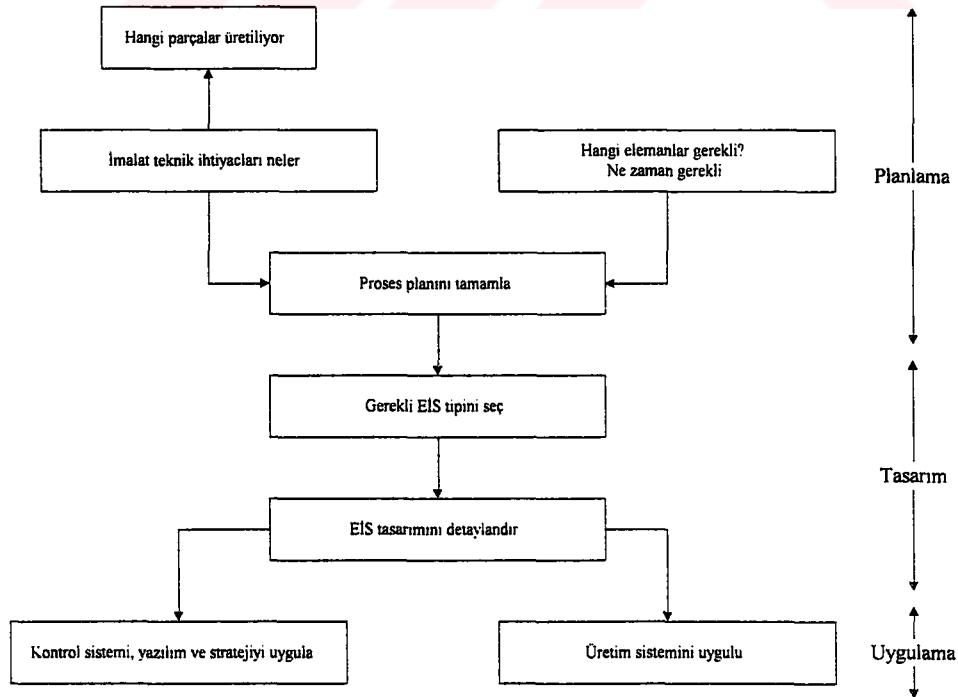
Warnecke ve Vettin [47], yarı mamül değişiklikleri problemini çözebilmek için esnek tampon stoklarının da kullanıldığı ve sistem yapısına göre değişik malzeme iletim sistemlerinin teklif edildiği EİS konfigürasyonlarını sınıflandıran bir formülasyon geliştirmişlerdir.



Şekil 2. 3 Bir EİS edinme karar akış diyagramı [41]

Afentakis [48] ve Afentakis ve diğerleri [49], EİS'lerin optimal fiziksel yerleşimlerinin belirlenmesi için bir modelleme çerçevesi tanımlamışlardır.

Chan ve Rathmill [50], EİS tasarımı için entegre bir sistematik yaklaşım tanımlamışlardır. Tüm yaklaşım üç aşamada gerçekleştirilmektedir; planlama, tasarım ve sistemin kurulması (Şekil 2.4). Planlama aşamasında imalatı yapılacak parçalar, bunların işlem planları ve parti büyüklükleri belirlenmektedir. Tasarım aşaması, planlama aşamasında tanımlanan istenilenleri karşılamak için EİS'in detaylı bir tasarımını öngörmektedir. Bu işlem, en uygun EİS'i seçerek başlamaktadır. İkinci adımda; tezgah sayısı, malzeme iletim sistemi tipi, yarı mamül stok yerleri ve izin verilecek yarı mamül miktarının belirlenmesi sözkonusudur. Daha sonra bilgisayar kontrol sistemi ve parça çizelgeleme sistemi oluşturulmaktadır. Üçüncü aşamada ise; sistem yazılımı ve gerçek sistem tasarlanıp, kurulmaktadır. Sistem yazılımı, doğrudan sayısal kontrolü (Direct Numerical Control DNC), çizelgeleme yazılımını, yarı mamül kontrolünü, işlemin takibini ve mamül kalite kontrolünü kapsamaktadır. Gerçek üretim sisteminin kurulması ise; tezgahların özelliklerinin belirlenmesini, robotların ve otomatik palet değiştiricilerin yerleştirilmesini, özel amaçlı sabitleyicilerin ve paletlerin tasarımı ve yapımını, malzeme iletim sisteminin tasarımı ve kurulmasını, muayene istasyonunun, takım yönetimi sisteminin tasarım ve bakım stratejisinin yerleştirilmesini kapsamaktadır.



Şekil 2. 4 EİS tasarlama prosedürü

Sarin ve Chen [51] çeşitli işletim şartlarında en az maliyetle üretim taleplerine bağlı olarak en iyi imalat sistemi konfigürasyonunun tasarlanması için sistematik bir prosedür formüle etmişlerdir. Dört sistem konfigürasyonu göz önüne alınmıştır; atelye tipi üretim, sayısal kontrollü tezgahların bulunduğu atelye tipi üretim, EİS ve transfer hatları. Seçim kararı tamsayı programlama modeline dayanılarak verilmektedir. Sonuçlar, istenilen üretim ihtiyaçlarının tek bir tip üretim sistemi yerine iki veya üç üretim sistemi tipinin karışımının daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Kumar ve Vannelli [52] geleneksel üretim sistemlerinin, grup teknolojisi prensiplerine göre yeniden hücrenel olarak tasarlanması konusunu tartışmışlardır. Çalışmada, üretilecek bazı parçaların fason olarak yaptırılması ve hücrelerinin kapasitelerinin dengelenmesi gibi kritik stratejik kararlar da tartışılmıştır.

Azadivar ve Lee [53] herbir iş istasyonu için optimum stok sayısının belirlenmesi için bir prosedür teklif etmişlerdir; böylece yarı mamül miktarının en aza indirilmesi ve tezgah kullanım oranlarının artırılması hedeflenmiştir.

Stecke [54] EİS tasarımı problemlerini iki aşamalı karar süreci olarak tanımlamıştır: başlangıç şartlarının belirlenmesi ve sistemin kurulmasıdır. Şekil 2.5 bu iki aşamada alınan kararları göstermektedir.

Başlangıç aşaması karar süreci
1- Parça tipinin çeşitliliği
2- Proses planı, tezgahlar ve robotların sayısı ve tipleri
3- Esnekliğin tipi ve miktarı
4- İmalat sisteminin tipi
5- Malzeme taşıma sisteminin tipi ve kapasitesi
6- Kuyrukların büyüklüğü ve tipi
7- Bilgisayar kontrol hiyerarşisi
Tamamlanma aşaması karar süreci
1- Sistemin yerleşimi
2- Paletlerin sayısı
3- Sabitleyicilerin tipi, sayısı ve dizaynı
4- Genel kontrol stratejileri
5- Sistem kontrol yazılımları

Şekil 2. 5 EİS tasarım problemleri

Wang ve Bell [55] EİS tasarımı için bilgi tabanlı bir modelleme yaklaşımı geliştirmişlerdir ve bu amaçla bir dizi esnek kural geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemin temel avantajı, sistemin çalışma stratejileri seçilmesi ile sadece menü sistemi ve sembollerle tüm yapısal parametreler değiştirilebilmesi yeni dengeler oluşturabilmesi ve yeni sistem tasarımları kolaylıkla yapılabilmesidir.

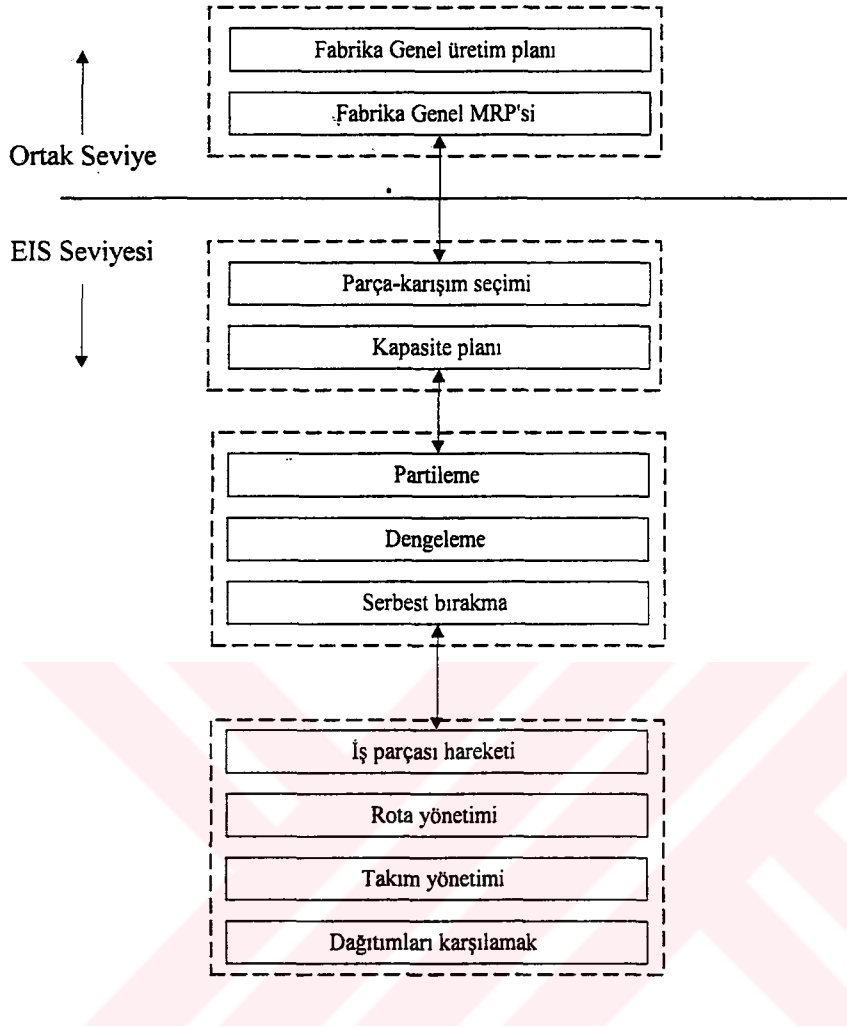
Fry ve Smith [56], EİS'in kurulması için sekiz adım teklif etmişlerdir. Bunlar:

- Üretimi yapılacak parçaların imalat miktarlarının belirlenmesi,
- Alternatif teknolojilerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi,
- Uygun teknolojinin seçimi,
- Teklifin verilmesi,
- Teklifi veren EİS firmalarının değerlendirilmesi ve seçimi,
- EİS'in kurulması,
- Sistemin çalışma prosedürlerinin hazırlanması,
- Sürekli gelişmeyi sağlayacak bir anlayışın kurulması.

Eversheim ve Westkamper [57] ise EİS tasarımını yedi adıma ayırarak incelemiştir. Bunlar; tezgah ve diğer makina ihtiyacının analizi, sistem yapısının seçimi, tezgah ihtiyacının belirlenmesi, otomasyon derecesinin belirlenmesi, işletim sisteminin tasarımı, kontrol organizasyonu kavramının belirlenmesi ve sistemin ekonomik olarak çalıştırılması için gerekli düzenlemelerin yapılmasıdır.

2.4 Esnek İmalat Sistemlerinin Kontrolü

EİS'lerin kontrol problemleri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Warnecke ve Scharf [1], Eversheim ve Westkamper [57], EİS'lerin kontrolü için hiyerarşik bir yapıya ihtiyaç olduğunu ilk olarak ifade eden araştırmacılardan bazılarıdır. Bunları takiben Buzacott ve Shanthikumar [58] EİS'lerin analiziyle ilgili makalelerinde, kontrol probleminin zorluğuna dikkat çekerek aşağıda verilen üç seviyede sistem analizinin gerekliliğine dikkat çekmişlerdir (Şekil 2.6).



Şekil 2. 6 EİS için kontrol hiyerarşisi [58]

- Tüm sistem kaynaklarıyla uyumlu orta vadeli bir dönem için uygun parçaların seçimi ile ön planlamanın yapılması.
- İşlerin sisteme gönderilmesi sıralarının ve zamanlarının belirlenmesi için bir giriş kontrolünün oluşturulması.
- Kaynak akışının aksamaları, hata yönetimi ve parçaların makineler arasında hareketini düzenleyen sistemin işleyişinin kontrolü.

Tüm sistemin kontrolünü öngören bu hiyerarşik yaklaşım daha sonra Bell ve Bilalis [59], Canuto ve diğerleri [60], Kimeno ve Gershwin [61], Solberg [62], Stecke [63], Suri ve Whitney [64] gibi araştırmacılar tarafından da desteklenmiştir.

İlk seviyedeki ön planlama ile ilgili problem Menon ve O'Grady [65], [66] tarafından ele alınmıştır; takım ihtiyacı, makina kapasitesi, takım bulundurma ve hangi işlerin yüklenmesi ve o işlerin teslim süreleri ile ilgili bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Modelin amaç fonksiyonu, bu parametrelerin istenen seviyeden sapmalarının ağırlıklı toplamıdır.

Girdi kontrol seviyesinde, siparişlerin sisteme gönderilmesindeki sıra en iyi öncelik kurallarının uygulanmasıyla gerçekleştirilmektedir [43] [59] [67] [68]. Bu kurallar, ya statik ya da dinamik kurallar olarak sınıflandırılabilir; daha önce, karar anında sistemin durumuna bakarak fakat sistemde ne tür bir etki oluşturacağı göz önüne alınmaksızın karar verilir; daha sonra ise sistemin sadece şu andaki durumu değil bu karardan nasıl etkileneceği de göz önüne alınarak karar verilmektedir. Kurallar, ya sistemde sipariş durumuna göre uygulanacak şekilde ya da sistemin durumu göz önüne alınarak gerektiğinde uygulanacak şekilde geliştirilebilir. Siparişler üzerine oluşturulan kurallar genellikle örneğin teslim süreleri ya da operasyon süreleri gibi sipariş vermenin temel kriterleri göz önüne alınarak hazırlanmıştır [69]; fakat sistem durumu göz önüne alınarak hazırlanan kurallar çoğunlukla her istasyonun iş yükü durumuna göre gerektiğinde hazırlanmaktadır. İş yükü; şu anda işlenmekte olan ya da iş istasyonunda işlenecek olan iş parçalarının toplam operasyon süreleri ile, o iş istasyonunu ziyaret edecek olan ve tampon stoklarda beklemekte olan iş parçalarının toplam sürelerinden oluşmaktadır [43].

Girdi seviyesinde kontrol yeni siparişlerin sisteme gönderilmesinin zamanlamasını, insanlı ya da insansız durumlara karşılık gelen hazırlık stratejilerinin durumuna ve ölçümüne bağlıdır. Bu aşamada üç strateji teklif edilmiştir [43]:

- Bir önceki parti sisteme girdikten sonra ve yeni bir palet hazırlama fonksiyonu başladıktan sonra yeni bir parti sisteme yollanır.
- Siparişler her vardiyanın başlangıcında her iş istasyonunun kapasitesi doluncaya kadar gönderilmeye devam edilir.
- Siparişler her iş istasyonundaki iş yükü belli bir sınırın altına düştüğü an gönderilir.

Esnek imalatın operasyonu seviyesindeki kontrolü için bir dizi yükleme ve çizelgeleme kuralları çeşitli araştırmacılar tarafından ele alınmıştır. Bunların arasında en önemlisi Stecke ve Solberg'in araştırmalarıdır [70]. Endüstriyel duruma bağlı olarak, bir EİS için işletim stratejilerinin deneysel bir araştırması yapılmış, iş yükleme politikaları ve gerçek zamanlı akış kontrolü belirlenmiş ve test edilmiştir. Sonuçlar, sistem performansını büyük ölçüde seçilen iş yükleme ve kontrol stratejilerine bağlı olduğunu göstermiştir. Toplam beş yükleme kontrolü ile onaltı çizelgeleme kuralı test edilmiş ve yükleme ve kontrol metodlarının sistemin üretimini önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir.

Bell ve Bilalis'in silindirik parçaların işlendiği bir EİS'de yapmış olduğu çalışmada [59] farklı performans ölçümlerinin tamamen farklı kurallar gerektirdiği ve tamamen farklı sonuçların beklenilebileceğini göstermiştir.

Hutchinson [71] EİS'lerin kontrolü ve verimli çalışmasıyla ilgili problemleri ve konuları ele almıştır. Kontrol mekanizması, kısıtlı kaynakların atanması çerçevesinde ele alınmış, böylece birbirleriyle çelişen birçok amaç aynı anda ele alınarak çok amaçlı bir problem olarak çözülmüştür. Tüm sistem kontrolü hem otomatik, hem de uyarlamalı olarak ve beş seviyeli hiyerarşik bir kontrol mekanizması olarak ele alınmıştır.

Whitney ve Suri [72] esnek imalatta kontrol kavramları ve prensipleri üzerinde durmuştur.

Edghill ve Cresswell [73] EİS'lerin kontrolünü özellikle üretim çizelgeleme ve takım yönetimi çerçevesinde ele almışlardır. Yazarların bulduğu sonuç; EİS'lerin çok farklı yapıda olmalarından ve kullanılan performans kriterlerine göre sistem performansının çok farklı sonuç vermesinden dolayı genelleştirilmiş kontrol seviyelerinden bahsetmenin çok geçerli olmayacağı şeklindedir.

Huang ve Chang [74] EİS kontrolü için dört seviyeli bir kontrol hiyerarşisi teklif etmişlerdir. Bunlar:

1. Atelye seviyesinde; atelye kontrolü, üretim çizelgeleme, bilgi yönetimi ve imalat mühendisliği,
2. Fabrika seviyesinde; iş analizlerinin kontrolü, kaynak tahsisi, iş gönderme ve sistem gözleme,
3. Hücre seviyesinde; iş istasyonlarının hazırlanması, stok, imalat, taşıma, paketleme, muayene ve sevk kontrolü,
4. İş istasyonu seviyesinde; malzeme iletim sisteminin kontrolü, tampon stok, robot, CNC iş istasyonlarının kontrolü.

Stecke [75], kontrol problemlerini sistemin sürekli gözlenmesi olayının bir parçası olarak tanımlamaktadır ve bu çerçevede üretim ihtiyacının ve teslim süresinin üretim çizelgeleme prosesi içinde karşılanmasını öngörmüştür. Stecke aşağıdaki dört noktanın belirlenmesi gerektiğini belirtmiştir:

1. Tezgah ve diğer aksamardaki problemlerin sistemi tıkamaması için bir politika belirlenmesinin gerekliliği.
2. Programlanmış periyodik ve önleyici bakım politikalarının belirlenmesi.
3. Yarı mamül ve mamül muayene politikalarının belirlenmesi.
4. Takım ömrü, işlem takip ve veri toplama prosedürlerinin belirlenmesini ve takım ömürlerinin sürekli güncelleştirilmesi gerektiği.

2.5 Esnek İmalat Sistemlerinde İş Çizelgeleme ve Yükleme

İş parçaları esnek imalatta en temel elemanlardan biridir ve mamül hale gelinceye kadar çeşitli operasyonlardan geçmektedirler. Bunlar; yığın oluşturma, sıralama, kesme, muayene, paletleme, taşıma ve yıkamadır. Tüm bu operasyonlar sırasında, operasyonun yerine getirilmesi için çok sayıya diğer elemanlara ihtiyaç vardır. Diğer elemanlarla olan her ilişki parça akışını daha da karmaşık hale getirmekte ve bu oranda kontrolü zorlaşmaktadır [76]. İş parçaları entegre sistemin önemli elemanlarından birisi olarak tüm bu ilişkilerde, diğer elemanlarla eş zamanlı olarak ve aynı anda bir işleme tabi tutulmalıdır.

Bell ve Bilalis [59] parça kontrolünü üç seviyeye ayırmışlardır; birincisi gönderme öncesi planlama, ikincisi gönderme ve girdi kontrolü ve üçüncüsü de operasyon kontrolüdür. Gönderme öncesi planlama aşamasında sistem tarafından işlenecek parçalar belirlenmekte ve öncelik verilecek iş partileri belirlenmektedir. İkinci aşamada ise, sisteme gönderilecek olan işlerin sıralaması ve zamanlamasının belirlenmesi için gerekli veriler belirlenmektedir. İş gönderme sıralaması dinamik ya da statik öncelik kuralları tarafından kontrol edilmektedir. Her defasında tek bir iş yığını yollanmaktadır ve birden fazla iş yığını yollanması durumunda iş sıralama prensipleri takip edilmektedir. Girdi kontrolü için beş kural takip edilmiştir; bunlar:

- En uzun işlem süreli iş partisini en az işin atandığı tezgaha gönder.
- En fazla ve en az iş yükü atanmış tezgahlar arasında, minimum iş yükü farkı oluşturacak iş partilerini gönder.
- Toplam operasyon süresi en fazla olan iş partisini gönder.
- Toplam operasyon süresi en az olan iş partisini gönder.
- Rasgele gönder.

Operasyon kontrolü seviyesinde, parçaların tezgahlar arasında hareketi ve merkezi parça stoku göz önüne alınmıştır. Üç basit kural göz önüne alınmıştır; bunlar:

- İlk gelen ilk servise girer.
- En az operasyon süresi olan iş parçasını seç.
- En fazla operasyon süresi olan iş parçasını seç.

Üretim çizelgeleme, bir grup iş parçasının belli kısıtlar altında belli sayıda operasyon için belli iş istasyonlarına tahsis edilmesini öngörür [76]. EİS'ler çok pahalı yatırımlar olduğu için yüksek verimle çalışmak zorundadır, bu nedenle EİS'de iş çizelgeleme çok önemli bir yer işgal eder. Sistemdeki tezgah, palet, tampon, takım ve diğer yardımcı ekipman sayısı sınırlı olduğu için iş çizelgeleme çok kritik bir öneme sahiptir. EİS'de çizelgelemenin temel amacı talepdeki değişimlere, yüksek oranda yarı mamül ya da mamül stokuna yol açmadan çabucak ayak uydurabilmektir [76]. Bu tür değişimlerde ana rol çizelgeleme tarafından oynanmaktadır ve sistemin etkili olarak çalışması tamamen çizelgeleme sistemine bağlıdır.

Daha önceki çizelgeleme sistemleri atelye tipi üretim sistemleri için tasarlanmıştır. Conway ve diğerleri [77], Jones [78], Baker [79], French [80] çizelgeleme problemlerinin etkin örneklerini sergilemişlerdir. Özellikle son onbeş yılda çok sayıda matematiksel, algoritmik ve simülasyon gibi değişik yaklaşımlarla ele alınan çizelgeleme problemleri araştırmacılar tarafından sunulmuştur.

Gershwin [81] kesikli üretim için hiyerarşik bir akış kontrolü teklif etmiştir. Gupta [82] ise çizelgeleme problemlerinin çözümü için dal sınır algoritması kullanmıştır. Çizelgeleme problemlerinin çözümü için matematiksel programlama yaklaşımlarının kullanılması yoğun olarak Johnson ve Montgomery [83], Ryzin ve diğerleri [84], Gupta ve Tunç [85], Pourbabai [86], Daoud ve Purcheck [87] ve pekçok diğer araştırmacının eserlerinde bulunabilir.

Otomatize imalat sistemlerinde ve özellikle EİS'de çizelgeleme, kısıtlı kaynaklar kullanılarak bir grup iş parçasının çeşitli operasyonlara tabi tutulması açısından klasik atelye tipi üretim çizelgelemesine benzer. Ancak EİS'deki bazı farklılıklar, bu tür üretim sistemlerinde çizelgeleme probleminin çözümü için bazı farklı metodlarının kullanılmasını zorunlu kılmaktadır [76].

Nof ve diğerleri [88] otomatize imalat sistemlerinde çizelgeleme problemlerinin çözümü için ağ teorisi yaklaşımını teklif etmişlerdir. E-net adı verdikleri bu yaklaşım, ağ tipi bilgi gösterimini kademeli planlama ile birlikte kullanmışlardır. Bu makale esnek imalat sistemi planlama ve çizelgeleme problemlerini genel kavramlar olarak tartışmış ve karar vermede düzeltilmiş Petri ağları yaklaşımını teklif etmişlerdir.

EİS çizelgeleme problemleri geniş olarak Stecke [63] tarafından tartışılmış ve genel bir değerlendirilmesi yapılmış ve parça çizelgeleme problemi doğrusallaştırılmış tamsayılı programlama metodu ile çözülmüştür. Stecke, gruplama, tahsis problemlerini de ele almıştır. Mukpopadhiyay ve diğerleri [89], EİS'lerde takım tahsisi, parça çizelgeleme, palet çizelgeleme, tezgah çizelgeleme ve taşıyıcı sistem

çizelgeleme problemlerini aynı anda çözen sezgisel bir yaklaşım teklif etmişlerdir. Minimum ve maksimum üretim oranı cinsinden tanımlanmış olan optimum üretim oranı elde edilmeye çalışılmıştır.

Chan ve Bedworth [90], n iş/m makina problemini statik ve dinamik ortamlarda, EİS'de ortalama akış süresini minimize etmek için tartışmışlardır.

Tüm sistemler sınırlı kapasite ve kaynağa sahip olduğu için dikkatli ve zeki bir çizelgeleme EİS için hayati önem taşımaktadır. Herhangibir darboğaza neden olmamak için çizelgeleme kararlarında göz önüne alınmasında şu sorular sorulabilir;[91]

- Bir sonraki yüklenecek parça hangisidir?
- Ne zaman yüklenmelidir?
- Sisteme yüklendiğinde hangi rotayı takip etmelidir?

Aynı makalede parça yükleme, parça gönderme ve sıralama olmak üzere üç kademeli çizelgeleme yaklaşımı kullanılmıştır. Benzer yaklaşımlar Chan ve Pak [92], Aanem ve Gaalman [93] ve Toczyłowsky [94] tarafından da kullanılmıştır.

Bir EİS'in başarılı bir şekilde çalıştırılabilmesi için çeşitli problemlerin çözülmüş olması gerekmektedir. Stecke [63] bir EİS'in çalıştırılabilmesi için beş karar problemini tanımlamıştır. Bunlar:

- Aynı anda üretilecek parça tiplerinin,
- Seçilmiş parça tipleri için üretim oranlarının belirlenmesi,
- Sınırlı sayıdaki palet ve sabitleyicilerin parça tiplerine atanması,
- Benzer takımlarla yüklenmiş olan tezgahların gruplar halinde ayrıştırılması,
- Operasyon ve ilgili takımların atanmasıyla tezgah gruplarının yüklenmesi.

Yükleme problemi, belli bir grup iş parçasına ait operasyonların ve bu operasyonlarda kullanılacak olan takımların, imalat sisteminin kapasite ve teknolojik kısıtı da göz önüne alınarak çeşitli tezgahlara atanmasıyla ilgilenmektedir [76].

Stecke [63] yükleme problemini formüle edebilmek için altı hedef teklif etmiştir.

1. Atanan operasyonların sürelerinin tezgahlar arasında dengelenmesi,
2. Tezgahlar arasında parça transferinin minimize edilmesi,
3. Eşit sayıdaki gruplanmış tezgahlar için her makinadaki iş yükünü dengelenmesi,
4. Eşit olmayan sayıdaki tezgahdan oluşan gruplanmış tezgahlar için ise her tezgahdaki iş yükünün eşit sayıda olmasını yani sayı/iş yükü dengesinin kurulması,
5. Takım magazininin mümkün olduğunca yüklenmesi,
6. Atanan operasyon sayısını maksimize edilmesi.

Sarin ve Chen [95] makina kullanımı ve kesici takım maliyetlerini minimize etmek için 0-1 tamsayılı programlama yaklaşımı ile tezgah yükleme ve optimum takım tahsis problemini tartışmışlardır. Mukhopadhyay ve diğerleri [96] benzer bir problemin en az süre içinde en fazla üretim oranını sağlamak veya maksimum üretim oranını elde etmek için ele almışlardır. Aynı makalede tezgah yükleme, palet yükleme esnekliği ve malzeme iletim sisteminin durumunu da ele almışlardır. Chen ve Askin [97] aşağıdaki hedefleri göz önüne almışlardır:

- Tezgah kullanımındaki farklılık
- Tezgahlar arası iş parçası hareketi
- Rota esnekliği
- Kesici takıma yapılan yatırım
- Tezgah kullanım oranları

EİS'de yükleme problemlerinin modellenmesi ve çözümünde çeşitli yaklaşımlar kullanılmış ve bunlardan en yaygın olarak kullanılan simülasyon ve çoğunlukla 0-1 tamsayılı programlama ile beraber kullanılan kuyruk ağları analizi yaklaşımıdır. Bunların yanısıra kombinatoriyal işlemler ve sezgisel yaklaşımlar da kullanılmıştır [63] [98].

2.6 EİS'de Çizelgeleme Yaklaşımları Algoritmaları

İş çizelgeleme, bir üretim sisteminde üretim planlama ve kontrol fonksiyonunun bir parçası olarak ele alınmaktadır. İş çizelgeleme üretimde iş gücü, ekipman, takımlar ve tezgah kapasitesi açısından imalat kaynak ihtiyacının karşılanması için kullanılır. İş çizelgeleme yolu ile kontrol edilen çok sayıdaki fonksiyon dolayısıyla bir imalat sisteminin etkinliği iş çizelgeleme sisteminin başarısına bağlıdır [76].

Bir imalat sisteminde iş çizelgeleme detay ve kısa dönemli çizelgelemeden daha genel ve uzun dönemli çizelgelemeye kadar değişebilir. Kısa dönem çizelgelemenin amacı teslim sürelerini karşılamak, yarı mamül stok seviyesini en aza indirmek, imalat süresini en aza indirmek, makina ve diğer ekipman kullanımını maksimize etmektir.

Çizelgeleme sisteminin karmaşıklığı, kendisi de zaten entegre ve karmaşık bir sistem olan EİS'e uygulandığında daha da artar ve çoğunlukla çizelgelemeden amaçlanan hedefler birbiriyle çelişir [99].

Smith ve diğerleri [100] ABD'deki EİS kullanıcıları arasında yapmış olduğu ankette, en önemli çizelgeleme hedeflerini aşağıdaki gibi belirlemiştir.

- Teslim sürelerinin karşılanması,
- Sistem ve tezgah kullanım oranlarının maksimize edilmesi,
- Yarı mamül seviyesinin en aza indirilmesi,
- Üretim oranının maksimize edilmesi,
- Hazırlık ve takım değişim hazırlık sürelerinin en aza indirilmesi,
- Ortalama akış süresinin en aza indirilmesi,
- Çizelgeleme teslim sürelerine göre yapılabilmesi,
- Paralel iş istasyonlarındaki işleri yürütebilmesi,
- Önceden belirlenmiş kapasiteye göre çalışabilmesi,
- Sistemin hem kullanıcılar hem de yönetimce anlaşılır ve kullanılabilir olması gerekir.

Çizelgeleme problemlerinde en yaygın olarak kullanılan yaklaşım, doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama, dinamik programlama ve tamsayılı programlama gibi matematiksel programlama yaklaşımlarıdır.

Dağlı [101] elektronik parçalarının montaj operasyonlarının çizelgenmesinde üretim alternatifleri oluşturmak için hat dengeleme tekniği kullanmıştır. Dağlı, talebin karşılanması, mevcut kapasite sınırları ve ürünün gerektirdiği saatlik makina kapasitesi sınırları altında hücrenin çalışma maliyetini en aza indirmeyi araştırmıştır.

Shanker ve Tzen [102] bir EİS'de iki kriterli çizelgeleme problemi ele almışlardır.

1. Tek kriterli problem, yani iş yükünün dengelenmesi,
2. İki kriterli problem, iş istasyonları arasındaki yük dengesini sağlamak ve işlerin teslim sürelerini karşılamak.

Yazarlar her tezgahın takım magazin kapasitesinin bilindiği n tezgahlı bir EİS'i göz önüne almışlardır. Formülasyon takım yeri, iş rotası, işlerin ayrılarak yollanması, tezgah kapasitesi ve karar değişikliklerinin entegrasyonu kısıtları altında yapılmıştır. Doğrusal olmayan fonksiyonların da içerildiği karışık-tamsayılı modeller teklif edilmiştir.

Escudero [103], EİS'lerde işlem rotaları ve parça yükleme sıralaması ele alınmıştır. Aşağıdaki hedeflerin amaçlandığı matematiksel programlama fonksiyonu gerçekleştirilmiştir.

- Bir EİS'de bir parti işin yükleme sırası
- Her parça operasyonunun yerine getirilme sırası
- EİS boyunca her parça için işlenme rotası

Yöneylem araştırması güçlü matematiksel teknikler önermesine rağmen pratik çizelgeleme problemlerinde genellikle hiç kullanılmazlar. Çizelgeleme problemlerinin kombinatoryal yapısı çözüm hesaplamalarının makul bir sürede çözümünü zorlaştırmaktadır. Bu hesaplama güclüğü yanısıra, atelyede olan olayların tümünü yansıtamaması ve yapılan kabullerin problemi çok fazla basitleştirdiği için

matematiksel programlama yaklaşımı genelde çok gerçekçi değildir ve bu tür problemlerin modellenmesinde daha az faydalıdır [76].

İmalat sistemindeki karmaşıklık ve belirsizlik araştırmacı ve bilim adamlarını kolay uygulanabilen gerçekçi ve daha az bilgisayar zamanı gerektiren daha küçük boyutlu modellerin kurulmasına itmiştir. Mevcut bilgisayarlı çizelgeleme sistemleri, dinamik durumları tümüyle yansıtmayacak çizelgeleme problemlerinde etkili kararlar alınmasında fazla yardımcı olamamıştır [104]. Bu nedenle yapay zeka teknikleri üretim çizelgeleme problemlerinin çözümü için kullanılmaya başlanmıştır.

Bilgi tabanlı sistemlerde, herbir bilgi ve nedenini göstermek için bir dizi formalite kullanılmıştır. Bunlar; üretim kuralları, şematik ağlar ve çerçeveler olarak sıralanabilir. Bunların arasında üretim kuralları ve çerçeveler, bilgi tabanlı sistemlerin çizelgeleme sistemine uygulanmasında yoğun olarak kullanılmıştır [105].

Bilgi tabanlı sistemlerin temel avantajı sezgisel algoritmaların veya "kurallar seti" kullanılarak matematiksel olarak son derece karmaşık olan problemlere girmeden uzman insanın davranış kabiliyetini göstermektedir.

Shaw ve Whinston [106] çizelgeleme probleminde kullanılan bir bilgi tabanlı sistemin sahip olması gereken özellikleri sıralamışlardır.

- Dinamik karar destek sistemi sağlayabilmeli
- Operasyonları dinamik olarak çizelgeleyebilmeli
- İmalat kaynaklarını koordine edebilmeli
- Farklı işlerin operasyonlarını eş zamanlı yürütebilmeli
- Planın gerçekleştirilmesini takip edebilmeli

Shaw ve Whinston n adet parçayı üretim süresini minimize etmek için aynı anda çizelgeleyebilen ve aynı zamanda meşgul makinalara atanan parçalar arasında olabilecek herhangi bir karmaşayı da önleyebilecek, bilgi tabanlı bir çizelgeleme sistemi geliştirmişlerdir.

Fox ve Smith [107], ISIS adını verdikleri bilgi tabanlı bir üretim çizelgeleme sistemi geliştirmişlerdir. Sistem özellikle büyük ölçekli sistemlerin çizelgelemesini yapabilmektedir. Bu sistem bilgi tabanlı sistemlerin ilk örneklerindedir ve büyük boyutlu sistemleri çizelgeleyebilmektedir.

Kusiak ve Ahn [108], otomatize sistemler için zeki bir çizelgeleme sistemi geliştirmişlerdir. Yazarlar en az benzeşen kaynaklar adını verdikleri iş parçası gönderme kuralını kullanmışlardır. Bu kural imalat kaynaklarının kullanım oranlarının maksimizasyonunun amaçlandığı etkili bir çizelgeleme sistemi oluşturmak için geliştirilmiştir. Sistem yöneylem araştırması ve yapay zeka tekniklerinin bir karışımından oluşmaktadır.

Chandra ve Talavage [109], parçaların dinamik olarak çizelgelendiği bir ortamda gerçek zamanlı tezgah yükleme ve iş gönderme problemini tartışmışlardır. Asıl amacı fırsatçı yaklaşımın adapte edildiği zeki bir iş gönderme sisteminin geliştirilmesidir.

2.7 EİS'lerde Kesici Takımların Yönetimi

Esnek İmalat Sistemlerinde dinamik varlıklardan birisi olarak kesici takımlar, sistemin performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Takım yönetimi ile ilgili karar kurallarının büyük çoğunluğu sistemin tasarım aşamasında formüle edilmesine rağmen, tasarım kuralları kadar önemli olan takım akışlarına ait karar kuralları özellikle sistemin çalışması sırasında formüle edilmektedir. Takım akışı, EİS içinde sistemin, parça yükleme/çizelgeleme, tezgah gruplama/yükleme, takım/parça transferi, iş yığınları oluşturma v.s. gibi birçok elemanı ile çok yakın ve önemli ilişki içindedir. Bu nedenle temel EİS konusu ve elemanı olarak ele alınmalıdır. EİS'lerle ilgili pekçok araştırma daha çok sistem tasarımı, parça çizelgeleme, makine yükleme/gruplama, malzeme iletim sistemi ile ilgilidir ve takım yönetimi bu konular içinde genellikle ikinci derecede bir problem olarak ele alınır.

Venture ve Chen [110] EİS'de parça ve takımların gruplaması ile ilgilenmişler ve 0-1 tamsayılı bir model geliştirmişlerdir. Amaç sistem verimliliğini maksimize etmektir. Parça ve takımlar, takım magazini kısıtı altında aynı anda gruplanmışlardır. Ancak problemin formülasyonu ve çözümü için önemli oranda matematiksel gayret gerekmektedir. Bu makalede, karşılaştırılan diğer makalelere göre bağıl olarak daha iyi sonuç verdiği belirtilmesine rağmen modelin pratikte uygulanma şansı, matematiksel model olma nedeniyle oldukça azdır.

Sarin ve Chen [95] benzer bir problemi yine 0-1 tamsayılı programlama ile tezgah yüklemeyi ve takım atanmasını gözönüne alarak formüle etmişlerdir. Tezgah operasyon maliyetini minimize etmek için bir operasyonun, operasyonun yerine getirilmesini sağlayan takım ve tezgah çiftine bağlı olduğu düşünülmüştür. Bu formülasyonda magazin kapasitesi ve takım ömrü kısıt olarak alınmıştır.

Chung [111] matematiksel bir model kullanarak bir başka takım ihtiyaç planlama modeli geliştirmiştir. İlk aşamadaki daha yüksek seviyelidir, genel bir takım planlama modeli geliştirilmiştir. İkinci kademedeki daha düşük seviyeli ve detaylıdır, takım ihtiyaç planlama modeli geliştirilmiştir. İki model, bir imalat planlama ve kontrol sistemi aracılığıyla entegre edilmiştir.

2.7.1 Takım yönetiminin tasarımı, yapısı ve stratejileri

Otomatik fabrikaların çalıştırılmasında sistemden kaynaklanan pek çok engel vardır. Bunların en önemlilerinden bir tanesi takım yönetimidir. Bu durum pek çok esnek imalat sisteminde sadece zayıf bir takım yönetim sisteminin tasarımı nedeniyle mali yönden felaketle karşılaşmıştır [112]. Sorunsuz çalışacak bir imalat için takım yönetimi EİS'in tasarım aşamasının önemli bir parçası olarak göz önüne alınması gerekmektedir. Takım yönetimi gerekli takımların gerekli yerlere gerektiği zamanda bulundurma işlemi olarak tanımlanabilir. EİS'ler için , örneğin depolama ve taşımada dahil tüm bir takım yönetimi sistem tasarımından [113] [114] [115], tam otomatize tek makinalı bir sistem [116] veya bir hücreye kadar [76] farklı şekillerde tasarlanabilir.

Takım yönetimi sistem tasarımı genellikle 5 ana konuda odaklanmıştır, takım deposu, takım tahsisi, takım dağıtımı, hata tespiti ve takım veri akışıdır [117]. Takım yönetimi tasarım işleminin her bir parçası çeşitli açılardan özel ve önemli problemlerdir. Örneğin, 1) Ne çeşit bir depolama sistemi kurulacak, merkezi veya merkezi olmayan? [118] [119] [120]; 2) Sistemdeki donanımına uygun ne tür bir takım yönetimi stratejisi veya takım yönetim stratejileri uygulanacak [121] [122] [123] [124] [125]; 3) Hangi takım dağıtım stratejisi veya stratejileri kullanılacak [126] [127]; 4) Kısmen kullanılmış ömrü bitmiş ve kırılan takımlar nasıl kontrol edilecek, ve 5) ilgili datalar nasıl alınacak ve değerlendirilecektir [128]. İlk takım yönetimi tasarımı makalelerinden birisi Ber ve Falkenburg [129] tarafından yayınlanmış ve bu makalede bir EİS için takımların nasıl kontrol edileceği ve atanacağı tartışılmıştır. Teklif edilen sistemde takımların nereden tedarik edileceği, takım tutucularının yönetimi ve tezgahta kırılan ve ömrü biten takımların algılayıcılar vasıtasıyla tespit edilmesi konuları tartışılmıştır. Bir başka ilk tasarım makalesi Rhodes [115]'e aittir. Rhodes EİS için çeşitli sistem tasarımları teklif etmiştir ve metal endüstrisinde bunların nasıl uygulanacağını örneklerini göstermiştir. Aynı zamanda bir takım yönetiminin temel parametrelerini ve bu parametrelerin bir EİS'de nasıl bir fonksiyon içra etmesi gerektiğini tanımlamıştır.

Kurimoto ve diğerleri [130] ve Kurimoto [114], tam otomatize bir EİS için entegre bir takım yönetimi sisteminin tasarımının, yerleştirilmesinin ve bu sistemin çalıştırılmasının nasıl olması gerektiğini imalatçı gözüyle tanımlamıştır.

Bell ve De Souza [113] bir başka takım yönetimi tasarım sistemini otomatize sistemler için gerçekleştirmişlerdir. Özellikle takım akış sistemi, takım transferi, takım depolama, takım değişimi, takım yenileme ve kontrolü gibi teknolojiler üzerinde durmuşlardır.

Özbayrak [76] algoritmik ve bilgi tabanlı modellemelerin bir karışımını kullanarak, iki makinalı hücrelerden 8 makinalı çok hücreli sistemlere kadar farklı EİS'lerde takım yönetimi sistemlerini tasarlamıştır. Model, takım ihtiyaç planlama ve takım

stok seviyesinin belirlenmesinin yanı sıra farklı EİS konfigrasyonları için temel performans kriterlerini takım yönetimi açısından belirlemektedir.

Zhou ve Whsk[131] tüm bir takım yönetimi yazılım sistematiğini BDÜ (bilgisayar destekli üretim) sistemi çerçevesinde tanımlamışlardır. İlk olarak takım yönetimi ile ilgili kavramları fonksiyonel bir sınıflama ile tanımlamışlar daha sonra yapısal analiz ve tasarım tekniği olan SADT ile modellemişlerdir.

Bu tezde takım yönetim sistemi bir dereceye kadar farklı sınıflandırılmış ve aşağıdaki başlıklar altında tartışılmıştır. Bunlar;

1. Takım tahsis, dağıtım ve taşıma stratejileri
2. Takım akışı ve çizelgelemesi
3. Takım depolama ve kapasite problemi
4. Takım değişimi problemi
5. Takım tanıma teşhis, montaj ve hazırlama problemi

Takım yönetimine ilişkin literatür taraması yukarıda ki sırada verilecektir.

2.7.2 Takım tahsis, dağıtım ve taşıma stratejileri

Takım yönetim stratejileri, ihtiyaç duyulan takımların doğru makinaya zamanında atanması için kullanılırlar. Pratikte iki temel takım tahsis stratejisi uygulanmaktadır.

Bunlar;

1. İş parçası yönlendirmeli stratejiler
2. Takım yönlendirmeli stratejilerdir [126] [127].

İş parçası yönlendirmeli yaklaşım, işlerin gönderiliş sırasına göre takımların ilgili makinalara atanmasını öngörmektedir. Yani sistem talep yönlendirmeli bir sistemdir. Buna karşılık takım yönlendirmeli stratejiler, önce takımların tahsisini sonrada ilgili takımları kullanan işlerin ilgili tezgahlara atanmasını öngörür. Literatürde takım yönetim stratejileri takım gönderme kuralları, takım gönderme

stratejileri, takım gönderme kuralları ve takım dağıtım kuralları gibi terimler çoğunlukla aynı anlamda kullanılmaktadır [118][132].

Takım yönetim stratejileri ve takım gönderme stratejilerini birbirinden ayırmayı denemiştir. Önce takım yönetim stratejileri iş parçası yönlendirmeli stratejiler ve takım yönlendirmeli stratejiler olarak 2 seviyede ele alınmıştır. Sonrada iş parçası yönlendirmeli stratejiler: Tüm kopyalama stratejisi, kısmi kopyalama stratejisi ve sürekli yenileme stratejisi olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca De Souza [118] takım gönderme stratejilerini takım yönetim stratejilerinden ayırmak için ayrıca sınıflandırmıştır. Bunlar; toplam takım değişimi, tam takım grubu, takım grubu paylaşımlı, tek takım atama, yerleşik takım grupları, fonksiyonel takım numarası stratejisi ve takım gruplama setleridir.

Özbayrak [76] benzer stratejileri iki temel takım yönetimi stratejisi altında sınıflamıştır:

İş yönlendirmeli stratejiler:

- 1) Tam takım grubu
- 2) Takım grubu paylaşımlı
- 3) Tek takım atama
- 4) Yerleşik takım grubu

Takım Yönlendirmeli Stratejiler:

- 1) Statik gruplama
- 2) Dinamik gruplama
- 3) Tam gruplama
- 4) Paylaşımlı gruplama
- 5) Yerleşik gruplama

Hankins ve Rovito [117] farklı EİS'ler için çeşitli takım stratejileri üzerinde durmuşlardır. Bunlar;

1. Tüm takımların her iş bitiminde ömrüne bakılmaksızın değişimini öngören yığın değişim stratejisi,

2. Ortak takımların paylaşımını öngören takım paylaşım stratejisi,
3. İlk iki stratejinin karışımı olan bu strateji üretim periyodunun başlangıcında magazinlerin yüklenmesinin ve ortak takımların mümkün olduğu kadar çok paylaşımını ve sadece ömrü bittiğinde değişimini öngörür,
4. Resident tooling: Bu stratejide önce takımların atanmasını sonrada grup teknoloji prensibine göre parçaların atanmasını öngörür. Ortak operasyonları olan parçaları aynı tezgahlara gönderir.

Tomek [121] 3 temel takım yönetimi stratejisini tanımlamıştır. Bunlar;

1. Her bir parça yığını (batch) için bir takım grubu oluşturulmakta ve her yeni parça grubu geldiğinde, eski takım grubu da yeni grupla yer değiştirmektedir. Takım paylaşımına izin verilmemektedir.
2. Çeşitli parça grupları - Bir takım grubu: Bu strateji grup teknoloji prensipleri üzerine oturtulmuştur ve birbirini takip eden işlerin ömrü olan ortak takımların paylaşımını öngörür.
3. Takım stoğunun bir grup tezgah tarafından paylaşımı: Bu strateji herhangi bir beklenilmeyen duruma karşı hazırlıklı olma yeteneğine sahiptir. Takımların makinalar arasında taşınmasını minimize etmek için önceden yüklenirler ve en sık kullanılan takımlar magazinde sürekli kalırlar. Makinalar arası takım paylaşımına izin verilmiştir.

Tetzlaff [133] EİS için takım yönetimi sistemlerinin analizini kuyruk ağları algoritması yardımı ile yapmıştır. Algoritma statik ve dinamik çalışma şartlarını gözönüne alarak, takım taşıma süresi, taşınan takım sayısı ve takım taşıma araç sayısı gibi bazı EİS performans kriterlerini gözönüne alarak farklı sistemleri test etmiştir. Model sayısal bir örneklede desteklenmiştir.

2.7.3 Takım akış / çizelgeleme ve ihtiyaç planlama

Esnek İmalat Sistemlerinde dinamik varlıklardan birisi olan kesici takımlar, sistemin performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Takım yönetimi ile ilgili karar kurallarının büyük çoğunluğu sistemin tasarım aşamasında formüle edilmesine

rağmen, takımların akışlarına ait karar kurallarının özellikle sistemin çalışması sırasında formüle edilmesi, tasarımı kuralları kadar önemlidir. Takım akışı, EİS içinde sistemin, parça yükleme/çizelgeleme, tezgah gruplama/yükleme, takım/parça transferi, iş yığınları oluşturma v.s. gibi birçok elemanı ile çok yakın ve önemli ilişki içindedir. Bu nedenle temel EİS konusu ve elemanı olarak muamele edilmek durumundadır. EİS'lerle ilgili pekçok araştırma daha çok sistem tasarımı, parça çizelgeleme, makine yükleme/gruplama, malzeme iletim sistemi ile ilgilidir ve takım yönetimi bu konular içinde genellikle ikinci derecede bir problem olarak ele alınır.

Chandra ve diğerleri [134], 0-1 tam sayı programlama tekniğiyle, magazinde takımların ve iş listesinin sırasını belirlemek için bir modelleme yapmışlardır. Problem bir dereceye kadar Tang ve Denardo [135][136]'nın problemine benzemektedir. Araştırmacılar buna ilave olarak sabitleyiciler ve iş teslim sürelerini de kısıt olarak tanımlamışlardır. Formülasyon toplam hazırlık ve proses süresini minimize etmeye çalışır. Özellikle takım taşınması ve yerleştirilmesi ve sabitleyici değişiminden oluşan hazırlık sürelerini minimize etmeyi hedeflemiştir. Ayrıca iki çözüm prosedürü geliştirilmiş ve problemi optimal olarak çözmüşlerdir. Sayısal bir örnekte destek olarak verilmiştir.

Leung ve diğerleri [124], malzeme iletim sistemini de göz önüne alarak parçaların ve takımların aynı anda atanmasına çalışmışlardır. Makina çalışma maliyetini minimize eden bir amaç fonksiyonu ile doğrusal tam sayılı bir model kurmuşlardır. Alternatif olarak aynı kısıtları kullanmak suretiyle zaman ve makina yükü minimizasyonu modelide kurmuşlardır. Magazin kapasitesi, herhangi bir makinadaki takım tipi tezgah operasyon süresi, malzeme iletim sistemi kullanımı hem ana modelde hemde alternatif modelde temel kısıtlardır. Tüm modeller önemli derecede hesaplamayı gerektiren karmaşık modellerdir. Özellikle malzeme iletim sisteminin sistem performansı üzerindeki etkisi 4 OTA'na kadar olan araç sayısının, takım ve parça taşımayla olan etkileşimini ölçmeye çalışmışlardır. Ayrıca bu analitik modeller simüle edilerek çeşitli performans kriterleri, malzeme iletim sistemi performansına dayanarak ölçülmüştür.

Coleman ve diğeri [126] iş yönlendirmeli strateji olarak tanımlanan talebe göre şekillenen iş atama kuralları ve takım akış stratejilerini araştırmaktadır. Bir grup genel amaçlı takım akış stratejisi tanımlanmış ve bu stratejileri uygulamak için takım akışı ile ilgili şartlar ve iki parça akış kuralı beraberce bir imalat hücresinde uygulanmıştır. Takım ihtiyaç planlama, takım ömür kullanımı, iş yapım süresi gibi temel takım yönetimi performans kriterleri beraber ölçülmüşler ve adepte edilen her akış stratejisi için ölçülmüş değerler birbirleri ile kıyaslanmıştır.

Coleman ve diğeri [127], işlerin makinalara tahsisi ve beraberindeki takım gruplarının etkili değişimi için çok kademeli bir algoritmanın kullanımı yoluyla EİS hücrelerindeki ekonomik takım yönetimini göstermektedir. Takım yönlendirmeli imalat algoritması olarak bilinen bu algoritma parça ve takımların benzerliklerinden hareketle ve dolayısıyla takım ihtiyacını belirleyen kümeleme tekniği kombinasyonunu kullanır. Bu kümelmiş gruplar makinalar arasındaki iş yükünü dengeleyerek ve sınırlı kapasiteli takım magazinindeki takım değişimini daha etkili bir şekilde yöneterek parça ve takımların atanmasını sağlar. İş yönlendirmeli makaledeki [126] performans kriterleri bu makalede de kullanılmış ve elde edilen çeşitli sonuçlar birbirleri ile kıyaslanmıştır.

Venture ve Chen [110], EİS'de parça ve takımların gruplaması ile ilgilenmişler ve 0-1 tamsayılı bir model geliştirmişlerdir. Amaç sistem verimliliğini maksimize etmektir. Parça ve takımlar, takım magazinini kısıtı altında aynı anda gruplanmışlardır. Ancak problemin formülasyonu ve çözümü için önemli oranda matematiksel gayret gerekmektedir. Bu makalede, karşılaştırılan diğer makalelere göre bağlı olarak daha iyi sonuç verdiği belirtilmesine rağmen modelin pratikte uygulanma şansı, matematiksel model olma nedeniyle oldukça azdır.

Chung [137], matematiksel bir model kullanarak, bir takım ihtiyaç planlama modeli geliştirmiştir. İlk aşamada ki daha yüksek seviyelidir, genel bir takım planlama modeli geliştirilmiştir. İkinci kadamedeki daha düşük seviyeli ve detaylıdır, takım

ihtiyaç planlama modeli geliştirilmiştir. İki model bir imalat planlama ve kontrol sistemi aracılığıyla entegre edilmiştir.

Graver ve McGinnis [122], takım ihtiyacını, takım gönderme makalesinde hesaplamışlardır. Daha çok takım stokunu oluşturma üzerinde durmuşlar ve takım gönderme problemini, üretim periyodunun ve parça listesinin sabit olduğu statik atama ve takımların bilenmesine ve makinalar arasında transferine izin veren dinamik atama olarak izin veren dinamik atama olarak ikiye ayırmıştır.

Amoaka-Gyampah ve diğerleri [123], takım yönetimi stratejileri ve parça seçim kurallarını kıyaslamışlardır. Bu makalede 4 takım yönetimi stratejisi ve 3 parça seçim kuralı tartışılmıştır. Bir simülasyon modeli geliştirmişler ve 5 farklı performans ölçütü kullanmışlardır. Makale temel olarak EİS'de takım yönetimi ile ilgili olmasına rağmen tüm performans ölçüleri parça ve genel sistem kuralları ile ilgilidir ve takım ihtiyaç planlama, takım stok seviyesi gibi temel takım yönetimi performans kriterleri ihmal edilmiştir.

Zavenella ve Buguni [138], takım ihtiyaç planlama problemini çözmek için analitik bir yaklaşım gerçekleştirmişlerdir. Takım problemi, sabitleyici stokuyla birlikte ele alınmış ve çeşitli büyüklüklerdeki partiler için denenmiştir. Önce kuyruk teorisi kullanılarak analitik bir model geliştirilmiş daha sonra bu model detay olarak simüle edilmiştir.

Reddy ve diğerleri [139], takım yönetimi stratejilerini geliştirmek için maksimum üretim oranına yol açacak olan yüksek tezgah kullanımını göz önüne alarak Petri-Net yaklaşımını uygulamışlardır. Bunların yaklaşımı önce makinaları gruplamak daha sonrada takım yönetimi için makinalar arasında takım paylaşımını ve takım paylaşılmaması durumunu çalışmışlardır.

Lin ve Wang [140], bu makale temel olarak proses planlama konuları ile ilgilidir ve ayrıca takım yönetimi problemlerini de kapsamaktadır. Proses planlama problemi iki safhaya ayrılmış ve ikinci safhada operasyonlar için gerekli olan takımların

seçimi göz önüne alınmıştır. Toplam takım maliyeti minimize edilmeye çalışılmakta ve aynı zamanda takım maliyeti 0-1 tamsayılı programlama formülasyonunda kısıt olarak alınmıştır. İlk safhada geçerli olan takım değişim sırası belirlenmiştir. Teklif edilen formülasyonun etkinliğini göstermek için sayısal bir örnekte verilmiştir.

Sodhi ve diğerleri [141], bu çalışmada takım yükleme ve parça ataması eş zamanlı olarak göz önüne alınmış ve büyük boyutlu tam sayılı programlama olarak formüle edilmiştir. Makinayı durdurmaksızın takım değişimini öngören dinamik takım değişimi ve makinayı durdurarak takım değişimini öngören statik takım değişimi göz önüne alınmıştır. Model parça eksikliğini ve parçanın elde bulundurma maliyetini minimize etmeyi amaçlamaktadır. Geliştirilen model çeşitli şartlar altında çözülmüştür.

Grieco ve diğerleri [142], bu çalışma bir EİS'de, simülasyon yaklaşımı kullanarak parça ve takım akışını sunmaktadır. Makinalar arasında takım paylaşımına izin verilmemiş, birden maksimum takım gurubu sayısına kadar takım taşıyabilen hızlı bir takım taşıyıcı düşünülmüş ve tezgahların gereken en az sayıda takımla operasyona başlayabildiği varsayılmıştır. Ayrıca sabitleyici elemanlar da dikkate alınmıştır. Çalışmanın genel hedefi, takım azalmasının bir EİS'in performansına etkisini ölçmektir.

Co ve diğerleri [143], EİS'de gruplama, partileme, yükleme ve takım konfigrasyonu problemleri ile ilgilenmiş ve takımlama ile ilgili problemleri aşmak için bir matematiksel modelleme hazırlamıştır. Bunların modelleri, partideki iki istasyon iş yükü farklılıklarını azaltmak üzerine kurulmuştur.

Arizono ve diğerleri [144], Bu makale stokastik sinir ağı için yeni bir algoritma sunmaktadır. Bununla beraber Venture ve diğerleri [110]'nın takım-parça gruplama problemini deneme seti olarak kullanmış ve etkili bir çözüm metodu önerir.

Agnetis ve diğeri [145], Agnetis ve diğeri [146] iki makinalı sistemde takım taşıma ve çizelgeleme ile magazin kısıtını gözönüne almışlar ve alternatif kombinasyonları analiz etmişlerdir.

2.7.4 Takım depolama/ kapasite ve değışim problemi

Uygun takım depolama imkanlarının seçimi, takım değıştirme mekanizmaları ve bunların yerleştirilmesi EİS'de takım yönetimi sisteminin tasarımındaki en önemli problemlerdir. Çok hücreli bir donanımı ve her hücrenin kendi yerel takım deposu için takım hazırlamak, önyerleştirmek, yenileme ve düzenleme için yer hazırlama gerekli olur. Bu hiyerarşik sistem, takım akışının daha organize olmasını sağlayarak sistem esnekliğini artırıp yerel takım depolarının kalabalıklaşmasını önler. Değışik tiplerde takım birikimi oluşturmak için mantıklı büyüklükte bir magazin gerekir. Aşınan takımların yenilenmesi ve farklı kesme operasyonları için, takım değışimine duyulan ihtiyaçtan dolayı, hızlı bir takım değıştirme sistemi, takım tezgahının verimliliğı için hayati rol oynar.

Acaccia ve diğeri [147], uzun dönem üretim gereklerini karşılamak için uzman bir planlama sistemi sağlamaya yönelik bir uzman sistem yaklaşımı sunmuşlardır. Takım stok ihtiyacını mümkün olduğu kadar düşük tutarak üretim ihtiyaçlarını sağlayacak bir uzman simülasyon sistem algoritması geliştirmişlerdir.

Bard [148], esnek bir makinadaki takım düğmelerinin toplam sayısını azaltmak için geliştirilen model parça çeşitliliğı üzerine kurulmuştur. 0-1 doğrusal olmayan tamsayılı programlama şeklinde geliştirilen modelin amacı takım düğmelerinin sayısını minimize etmektir. Sayısal bir örnek verilmiş ve lagrange ve dal-sınır yaklaşımlarını kullanan kompleks bir çözüm tekniğı geliştirmiştir.

Tang ve Denardo [135], takım değışim sayısını minimize etmek amacıyla sezgisel matematiksel model geliştirmişlerdir. Problemi çözmek için karışık tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Model ve çözüm prosedürünün etkinliğini göstermek için sayısal bir örnek de sunulmuştur.

Tang ve Denardo [136], bu çalışmada bir önceki çalışmaya ek olarak takım değiştirme toplam sayısı kriterinin performansı incelenmiştir. İş çizelgeleme problemini çözmek için bir dal-sınır prosedürü geliştirilmiştir.

Levitin ve Rubinovitz [149], bir mağazindeki takımların yerleştirilmesi için bir algoritma geliştirmişler. Bu algoritmanın amacı, takım değiştirme süresinin azaltılması sağlayacak bir yerleşim sağlamaktır. Gezgin satıcı problemi modeli kullanılarak problem formüle edilmiş ve en yakın komşuluk prosedürü kullanılarak çözülmüştür.

Giardini ve diğerleri [150], ilk etapta takımın tahmini kullanım süresini sonraki etapta ise kendilerini sürekli yenileyen veri istasyonlarından alınan bilgileri kullanarak verimli takım ömrünü tahmin eden bir uzman sistem geliştirdiler. Sistem, iletişim prosedürünü işletebilmesini ve parçaların iş çevrimlerinin güncellenmesini simüle edebilmektedir.

Nee, Shan ve Poo [151], bu makale takımların seçimi için yapay zeka tabanlı bir yaklaşım sunmaktadır. Önce gerekli operasyonun gerçekleştirilebilmesi için gerekli, takım listesini üreten bir uzman sistem geliştirilmiştir. Sonra uzman bilgi ve yapay sinir ağı oluşturulan listeden her operasyon için en uygun takımı seçmek için modellenir. Sinir ağı daha sonra simüle edilir. Modelin geçerliliğini göstermek için sayısal bir örnek verilmiştir. Yapay zeka tabanlı sistem tarafından sağlanan çözümün optimum olup olmadığı gruplama algoritması kullanılarak kontrol edilmiştir.

2.8 Otomatize Sistemlerin Modellenmesi ve Analizi

Bu noktaya kadar otomatize sistemler için olduğu kadar klasik imalat sistemleri için de geçerli olabilecek genel bir analiz verilmiş bulunmaktadır. Fakat esnek imalat sistemlerinin donanım ve işletimine ait tasarım problemleri geleneksel klasik imalat sistemlerinden oldukça farklıdır ve klasik sistemlerde kullanılan yöntemler büyük ölçüde bu problemin çözümünde etkisizdir. Dolayısıyla, EİS'in tasarımında kullanılan modelleme yaklaşımlarına önemli bir talep mevcuttur. Bu kısımda

otomatize imalat sistemlerinin modellenmesinde yaygın olarak kullanılan modelleme metodolojilerinin genel bir tanımı yanısıra yöntemin temel avantaj ve dezavantajları verilecektir.

EİS'in modellenmesi ve analizinde pekçok farklı karar alınmak ve uygulanmak zorundadır. Dolayısıyla bu kararların yerine getirilmesi aşamasında, istenen temel özelliğe bağlı olarak sistemin modellenmesinde çok farklı yöntem mevcuttur. Modelleme sınıflaması çeşitli özellikler ön plana çıkarılarak bir kaç şekilde yapılabilir [152].

Solberg [62] modellemeyi, sistemin amacına, zaman kavramına değişkenliğe ve sistemin yapısına göre sınıflamıştır. Wilhelm ve Sarin [153] ve Looveren ve diğerleri [154] modelde alınacak kararların yapısına göre bir sınıflama yapmışlardır.

Bu tezin amacı çerçevesinde modelleme sınıflaması daha genel bir çerçevede yapılmış, modelleme kapsamı, detaylandırma yeteneği ve mantıksal bakış açısından ele alınmış ve dört ana yaklaşıma ayrılmıştır. Bunlar, analitik, simülasyon, algoritmik ve bilgi tabanlı modelleme sistemleridir.

2.8.1 Analitik modelleme

Analitik modeller, sistemin davranış biçimini tahmin edebilmek için modelleme aşamasının başlangıcında kurulurlar. Analitik modeller sistemin detay davranışlarını göstermezler, ancak sistemin genel davranışı hakkında çabucak bilgi sahibi olmak için uygundur. Başlangıçta alınan kabuller nedeniyle detaylar ihmal edildiği için çoğu zaman basitlikleri ve gerçekçi olmadıkları konusunda eleştirilmişlerdir [155] [76].

Analitik modeller, matematik programlama, sezgisel algoritmalar yarı markov prosesleri, petri ağları, kuyruk ağları gibi teknikler yardımıyla kurulurlar.

Matematik programlama, otomatize imalat sistemlerinin modellenmesinde, hem çabuk model kurulduğu hem de hesaplanmasının daha kolay ve çabuk olduğu için ve aynı zamanda modelleme çabalarına kısa sürede cevap verdiği için, sıklıkla kullanılırlar.

Matematik programlama çerçevesinde en sık kullanılan teknikler, doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama, tamsayılı programlama ve dinamik programlamadır [63]. Matematik modellemenin temel dezavantajları, çok sınırlı miktarda çıktı sağlaması, orijinal sistemin çok basitleştirilmesi ve imalat sisteminde bazı elemanların modele yansıtılmaması dolayısıyla modelin güvenilirliğinin tartışılır olmasıdır. Fakat, herşeye rağmen sistemin ilk reaksiyonlarını görmek açısından matematik programlama hala oldukça değerli bir modelleme aracıdır [76].

Kuyruk ağları ile modelleme konusunda ilk teori Jackson [156] tarafından geliştirilmiştir. Bu tür modelleme belli bir doğruluk derecesi ile belli oranda bir detayla yaklaşık çözümler sağlayabilmektedir. Solberg [157] [158] [159] kapalı kuyruk ağlarıyla EİS tasarısı için ilk model geliştirenlerdendir. CAN-Q (Computer Analysis of Queueing of Networks) adı verilen bu modelleme programı ile, üretim oranı, tezgah kullanım oranı, kuyruk uzunlukları ve kuyruktaki iş dağılımları, akış süresi ve çıktı duyarlılıkları gibi temel performans kriterleri hesaplanabilmektedir.

MVA (Mean Value Analysis) ortalama değer analizi kuyruk ağları kullanılarak geliştirilen diğer bir modelleme aracıdır [156] [160]. CAN-Q'ya göre bazı detay sonuçlar almak mümkündür ancak parça girişleri ve operasyon sürelerinin olasılık dağılımlarıyla veriliyor olması modelin gerçekçiliğini gölgelemektedir.

Suri ve Hildebrant [161] ise EİS modellenmesi için kuyruk ağlarına dayalı MVAQ'ı geliştirmişlerdir. MVAQ özellikle, tezgah gruplarındaki makine sayılarını, palet/tutucu sayısını ve diğer eleman sayılarını daha doğru olarak hesaplayabilmektedir.

SCAN (Static Capacity Analysis) ise Newman [162] tarafından geliştirilmiştir. SCAN esnek imalat hücreleri için toplam ekipman ihtiyacını hesaplamaktadır.

Model:

- tezgah ihtiyacını
- taşıyıcı ihtiyacını
- yarı mamul ihtiyacını
- iş parçası ihtiyacını
- takım ihtiyacını

hesaplayabilmektedir.

Gerçek sistemlerin karmaşıklığı nedeniyle kuyruk ağları çoğu zaman gerçekçi sonuçlar vermekten uzak kalmaktadırlar.

Bir başka analitik modellere yaklaşımı Petri ağlarıdır. Bu yaklaşım paralel dinamik sistemlerin davranışlarını modelleyebilmektedir [163]. İmalat sistemi grafik olarak tanımlanıp, sistemin parçaları arasındaki ilişkiler ve iletişim hem grafiksel hem de matematiksel olarak ifade edilebilir. Grafiksel olarak gösterilen modelden simülasyon kodlaması kolaylıkla yapılabildiği için ayrıca bir bilgisayar kodlamasına gidilmeksizin sistem çıktısı elde edilebilmektedir [76].

2.8.2 Simülasyonla modelleme

İmalat sistemlerinin modellenmesi çerçevesinde “simülasyon” teriminden özellikle bilgisayarlı kesikli simülasyon kastedilmektedir. Bu tür modellere sistemin tüm hareketlerini bir bilgisayar programı aracılığıyla taklit etmekte, sistemin performansına ait hem sayısal hem de sayısal olmayan bilgi alınmasını sağlamaktadır [76].

Geçtiğimiz yıllarda, imalat sistemlerinin modellenmesi ve analizinde simülasyon kullanımı çok önemli bir artış göstermiştir. EİS'in tasarım ve modellenmesinde hem çok sayıda eleman yer aldığı hem de sistemin elemanları arasındaki ilişkiler çok karmaşık olduğu için simülasyonla modelleme oldukça elverişlidir. Pekçok

modelleme metodları olmasına rağmen, sistemin dinamik davranışını kolaylıkla yansıtılabildiği ve çok detay çıktı sağladığı için simülasyon daha çok tercih edilmektedir. Simülasyonla imalat sistemlerinin modellenmesi Carrie ve Bititci [164], Law [165] Schorer ve Tseng [166], Newman [162], Wang [167] yanısıra pekçok diğer araştırmacı tarafından da kullanılmıştır.

Parça ve takım akışı, tezgah bozulmaları, taşıma faaliyetleri, işçi ve robot gibi diğer işgücü elemanlarının faaliyetleri otomatize imalat sisteminde çok önemlidir ve bunların modele yansıtılabilmeleri çok önemlidir [168].

Simülasyon, emulasyon ve animasyon, imalat sistemlerinin modellenmesinde oldukça faydalı birer araç olmalarına rağmen temel olarak birer optimizasyon tekniği değildirler ve bir imalat sisteminin tasarımında kontrol edilmesi gerekli olan parametre sayısı genellikle çok fazla çıktı nedeniyle kabadır ve analizci bazen optimal veya optimale yakın sonuçları test etmeden bırakabilir ve simülasyonla modelleme önemli derecede uzmanlık ve tecrübe gerektirmektedir.

Bir simülasyon modeli geliştirebilmek için dört temel yaklaşım mevcuttur:

- Olay temelli yaklaşım: Bu yaklaşımla, modeldeki her olayı tanımlamak için bir program parçası yazılması gerekmektedir. Bu durumların tanımlanmasını ve olayın meydana gelmesini sağlayan elemanın gözönüne alınmasını gerektirir. Bir olay esnasında zaman ilerletilmez ve sistemin davranışı, herhangi bir olayın oluşumuyla meydana gelen durum değişimiyle simüle edilir.
- Faaliyet temelli yaklaşım: Modeldeki elemanların yapmış olduğu her faaliyet, iki ilgili olayla tanımlanmaktadır. Bu faaliyetin zamanın herhangi bir noktasında başlayıp başlamıyacağını belirlemek için bir test'i ve faaliyet tamamlandıktan sonra her elemanın durumunun belirlenmesidir.
- İşlem temelli yaklaşım: Bu yaklaşım, model içinde her geçici eleman için bir işlemin oluşumuyla ilgilidir. Bu işlem herhangi bir eleman sistem içinde iken oluşturduğu olaylar ve faaliyetlerin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşım her olay hem de olay temelli yaklaşımların bir karışımı olarak görülebilir.

- Üç faz (safha) yaklaşımı [169] [170]: Bu metod, her zaman diliminin değişiminde üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak saat en son durumuna getirilmektedir, sonra biten faaliyetler sonuçlandırılmaktadır. Son olarak tanımlanmış bir sırada, başlayabilecek tüm faaliyetler test edilmekte, eğer uygunsa başlatılmaktadır.

Esnek imalat sisteminin modellenmesinde uygulanan bu yaklaşımlarla geliştirilmiş simülasyon araçları, genel amaçla simülasyon dilleri, geliştirilmiş imalat sistem simülatörleri ve özel simülasyon modelleri olarak sınıflandırılabilir. Bunlar:

1. Kesikli sistem, üç faz yöntemi. Bunlar zaman artışı yaklaşımlardır ve faaliyetlerin oluşumuyla başlamakta, bitişle sona ermektedir.
2. Kesikli-olay ve iki safhalı sistem. Bir önceki modellerin biraz karışımıdır.
3. Sürekli sistemler ve sürekli olayların faaliyetlerine göre davranır.

GPSS (General Purpose Simulation System) [171], SIMAN, [172] ve SLAM [173] PROMODEL [174], AutoSim [175] gibi genel amaçlı simülasyon dilleri büyük ve karmaşık sistemlerin simüle edilmesini çok kolaylaştırmıştır. Bu simülasyon dillerindeki ortak yönler ve özellikler bunların çabuk öğrenilmesini sağlamakta ancak bu diller daha az esnek çoğunlukla veri yönlendirmelidir. Hemen hepsi rapor, grafik, ve animasyon özelliklerine sahiptir.

Onlarca yeni ticari simülasyon paketleri hem simülasyonla modelleme yapan araştırmacıların, hem de analiz amaçlı kullanıcıların, hem imalat sistemlerinin hem de servis sistemlerinin modellenmesi ve analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları TESS [176], Map/i [177], Simple-1 [178], MAST [179], XCELL [180], PROMODEL [174], WITNESS [181], GCMS [182], SIM-FACTORY [183], SAME [184] dır[185].

SIMAN simülasyon dili Pedgen [172] tarafından geliştirilmiştir. FORTRAN'la yazılmış olan bu program micro bilgisayarlardan mainframe'lere kadar her bir bilgisayar ortamında kullanılabilir. SIMAN iki ana program haline getirilir. Birincisi model programı diğeri ise deneysel programdır. Model, kesikli, sürekli ve

hem kesikli hem de sürekli olarak kullanılabilir. Dil, genel amaçlı simülasyon dili olarak kullanıldığı gibi, imalat sistemlerinin simülasyonunda kullanılan OTA, Konveyör, İstasyon, Tampon stok gibi özel bloklarla da donatılmıştır. Dil CINEMA adı verilen güçlü bir animasyon paketi ile de desteklenmiştir. CINEMA iki gruptan oluşmaktadır. Birincisi animasyonun kullandığı grafiksel gösterimi sağlayan CINEMA, diğeri animasyonu çalıştıran CSIMAN dır.

Simülasyon çalışmalarındaki son gelişmelerden birisi de simülasyonla yapay zeka tekniklerinin karışımıyla daha zeki simülasyon modelleri ve çıktısı elde edebilmektir [186].

Simülasyon tarafından üretilen çok fazla miktardaki çıktının yorumlanabilmesi ve yukarıda bahsedilen sistemin zayıflıklarının ortadan kaldırılabilmesi için uzman sistemler ve diğ er yapay zeka teknikleri simülasyonla beraber kullanılmaya başlanmıştır. Bu birliktelik simülasyonu daha esnek, daha güçlü ve daha çok kullanıl ır hale getirmiştir [76]. Bu tür bir çalışma Norrie ve diğ erleri tarafından yayınlanmıştır [187]. FLEXES projesi çerçevesinde yapılan bu çalışmada uzman sistem ve simülasyon başarıyla kullanılmıştır. Benzer diğ er çalışmalar referans [188] [189] [190] [191]'de bulunabilir.

2.8.3 Algoritmik modelleme

İmalat sistemlerinin detaylı ve etkili şekilde modellenmesi için bir başka yaklaşım algoritmik modellemedir [192] Algoritmalar olaylar zincirinin çizelgelenmesi ile ilgilenir ve bu çizelgelemeyi sistemlerin modellenmesi için temel olarak kullanır. Algoritmik yaklaşımın kullanımı imalat sistemlerinin pratik anlamda güçlü tasarımı, kontrolü ve işletimi için etkili bir yaklaşım sunar. Bu yaklaşım simülasyondan farklı olarak imalat sistemlerinin tasarım ve kontrolü için kullanıcıya ait önemli miktarda verilerin kullanımını sağlar ve diğ er model çıktularına göre daha gerçekçidir[99].

Stecke ve Kim [192] çeşitli sezgisel algoritmalar kullanarak esnek imalat sistemleri (EIS'leri) için parça tipi seçimi, tezgah gruplama, üretim oranı, kaynak tahsisi ve

yükleme problemlerini çalışmışlardır. Rajgopal ve Bidanda [193] EIS'lerinde parça gruplama ve takım yükleme problemlerinin fomulasyonu ve çözümü için algoritmik bir yaklaşım kullanmıştır. Aynı yaklaşım, parti büyüklüğü, tezgah yükü dengeleme, çizelgeleme, iş gönderme parça taşıma ve takım yönetimi de dahil olmak üzere çeşitli EIS'leri problemlerinin çözümü için Suri ve Whitney [64] tarafından uygulanmıştır. Co ve Diğerleri [143] EIS'leri için parti büyüklüğü ve takım yönetimi kısıtı problemini yine algoritmik bir yaklaşımla hem formüle edip hem de çözmeye çalışmışlardır.

Montazeri ve Wassenhause [194] çeşitli sezgisel çizelgeleme kurallarını algoritmik bir yaklaşımla EİS'in performansını ölçmek için kullanmışlardır. Benzer bir problem de yine algoritmik bir yaklaşımla Mukhopadhiyay ve diğerleri [89] tarafından çözülmeye çalışılmıştır. Çok sayıda araştırmacı EİS'de çizelgeleme probleminin modellenmesi ve çözümü için algoritmik yaklaşımı benimsemişlerdir, Hutchison ve diğerleri [195], Kusiak ve Ahn [108], Sycara ve diğerleri [196] Chan ve Bedworth [90], Gupta ve Tunc [85]. Algoritmalar daha çok tezgah yükleme, tampon stoklama, parça ve takım taşıma ve çizelgeleme ile ilgilidir. Parça çizelgeleme takım tahsisi palet çizelgeleme tezgah gruplama ve çizelgeleme hemen hemen tüm araştırmalarda çözülmesi gereken ortak problem olarak sunulmaktadır.

De Souza [118], Zhang [99] algoritmik yaklaşımları otomatize imalat sistemlerinde prizmatik ve silindirik parçalar için takım akış yönetiminin modellenmesi ve araştırılması için kullanmışlardır.

2.8.4 Yapay zeka teknikleri ile modelleme

Yapay zeka (YZ) bilgisayar mühendisliğinin bir dalıdır ve genellikle insan zekasının davranış biçimini, bilgisayarları kullanarak taklit etmeye çalışır. Temel amaç çok geniş alandaki pratikte ortaya çıkan problemlerin çözümünde etkili bir yol ve anlayış geliştirmek için çalışır. YZ araştırmalarında, ele alınan problemlerin çeşitliliğine rağmen hemen hemen tüm alanlarda ortak olan önemli özellikler [197]:

bilgi tabanlı bir sistemle tanımlanmış ve 4 adımlı doğrusal olmayan bir planlama şeması geliştirilmiştir. Fox ve Smith [107] ISIS adını verdikleri bir fabrika çizelgeleme sistemini bilgi tabanlı bir yaklaşım kullanarak geliştirmişlerdir. Rana ve diğerleri depo çizelgeleme problemini YZ'nin diğer bir dalı olan Genetic algoritma yaklaşımıyla ele almışlardır. Rana ve diğerleri [200], Pan ve diğerleri [201] bilgi tabanlı sistemleri kullanarak tesis, ekipman ve işletim kurallarının modellenmesi de dahil CIM ortamı için genel bir çerçeve çizmişlerdir.

Mellichamp ve Wahab [202] EİS'in tasarımı için bir US geliştirmişlerdir. US, EİS simülasyonunda elde edilen çıktıların tasarım amaçlarını karşılayıp karşılamadığını belirlemek için analiz amaçlı olarak geliştirilmiştir.

Bilgisayar teknolojisindeki yeni gelişmeler sistem modelleme ve analizindeki özel durumlarda yeni yeni yaklaşımların kullanımına yol açmıştır. Bunlardan son zamanlarda en yaygın olarak kullanılan YZ teknikleri yapay sinir ağı, genetik algoritmalar ve bulanık sistemlerdir.

Çakar ve diğerleri [203] [204] imalat sistemlerinin tasarımında yapay sinir ağını, simülasyon yöntemi ile birlikte kullanarak çok sayıda simülasyon yapmadan istenilen performans değerlerine göre tezgah konfigürasyonunu veren bir yaklaşım uygulamışlardır.

Bu yeni YZ teknikleri ile klasik modelleme ve analiz tekniklerinin entegrasyonu YZ temelli sistemlerin daha güçlü çözümler üretmesine yol açmıştır. Çok sayıdaki araştırma sonuçları [205] [206] [207], bu tekniklerin özellikle imalat sistemi problemlerinin modellenmesi ve çözümünde başarıyla uygulandığının göstergesidir. Tüm bu çalışmaların burada tek tek ele alınması bu tezin amaçları dışında olduğu için buraya dahil edilmemiştir.

BÖLÜM 3. OTOMATİZE İMALAT SİSTEMLERİ, TEMEL KAVRAMLAR VE TEKNOLOJİDEKİ YENİ GELİŞMELER

3.1. Giriş

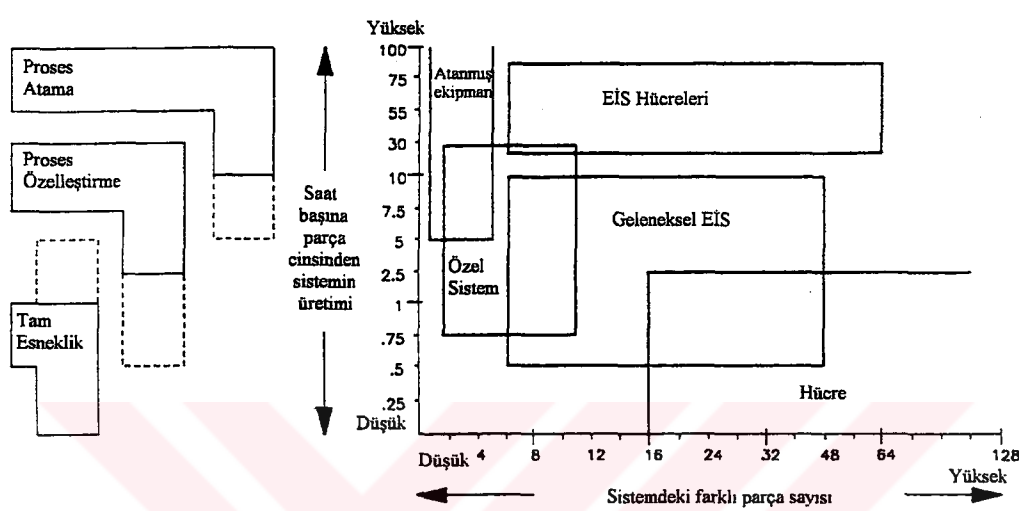
Bu bölüm otomatize imalat sistemlerindeki temel kavramlar ile bu sistemlerdeki en son gelişmeleri sunmaktadır. Her bir teknoloji en son kurulu sistem örnekleri referans alınarak incelenmiştir. Özellikle bu bölüm otomatize imalat sistemlerinin temel kavramlarını, modern teknoloji ile açıklamayı ve bu teknolojilerin performansını vermeyi amaçlamaktadır.

3.2. Temel Kavramlar

Günümüzün değişen imalat ihtiyaçları ve bunun sonucu olarak üretim ve üretim kapasitesindeki esneklik, bir imalat sisteminin tasarımındaki en temel kavramlardan bir tanesidir [8]. Tezgah tasarımı, malzeme iletim sistemleri tasarımı ve kontrolü de dahil olmak üzere yeni teknolojilerdeki gelişmeler, günümüz imalat ihtiyaçlarını karşılayacak güçlü bir teknolojik alt yapı teşkil etmiştir. Prensip olarak sistem tasarımının temel seçimleri, parça sayısı, parça çeşitliliği ve üretim hacmi tarafından yönlendirilmektedir (Şekil 3.1) [46].

Bunun yanı sıra tezgah, malzeme iletim sistemi ve kontrolü ve imalat sisteminin tümünün kontrolü gibi ekipmanların düzenlenmesi tasarım işlemindeki en önemli safhalardan birisidir. Sürekli değişmekte olan üretim ihtiyaçlarını karşılayabilmek için çok esnek bir imalat sistemini oluşturmada sistemin teknolojik bloklarının modüler adaptasyonu önemli bir yere sahiptir. İmalat ekipmanı modülü, iş parçası yönetimi

modülü, takım yönetimi modülü, yardımcı ekipman modülleri ve sistem kontrolü için yazılım modülleri çeşitli teknolojik seviyelerde ayrı ayrı seçilebilmeli ve adapte edilebilmelidir. Bunun yanı sıra her bir modül birbirleri ile entegre edilebilmeli ve tek bir sistem olarak çalışabilmelidir (Şekil 3.2) [208].



Şekil 3.1 Verimliliğe karşı esneklik

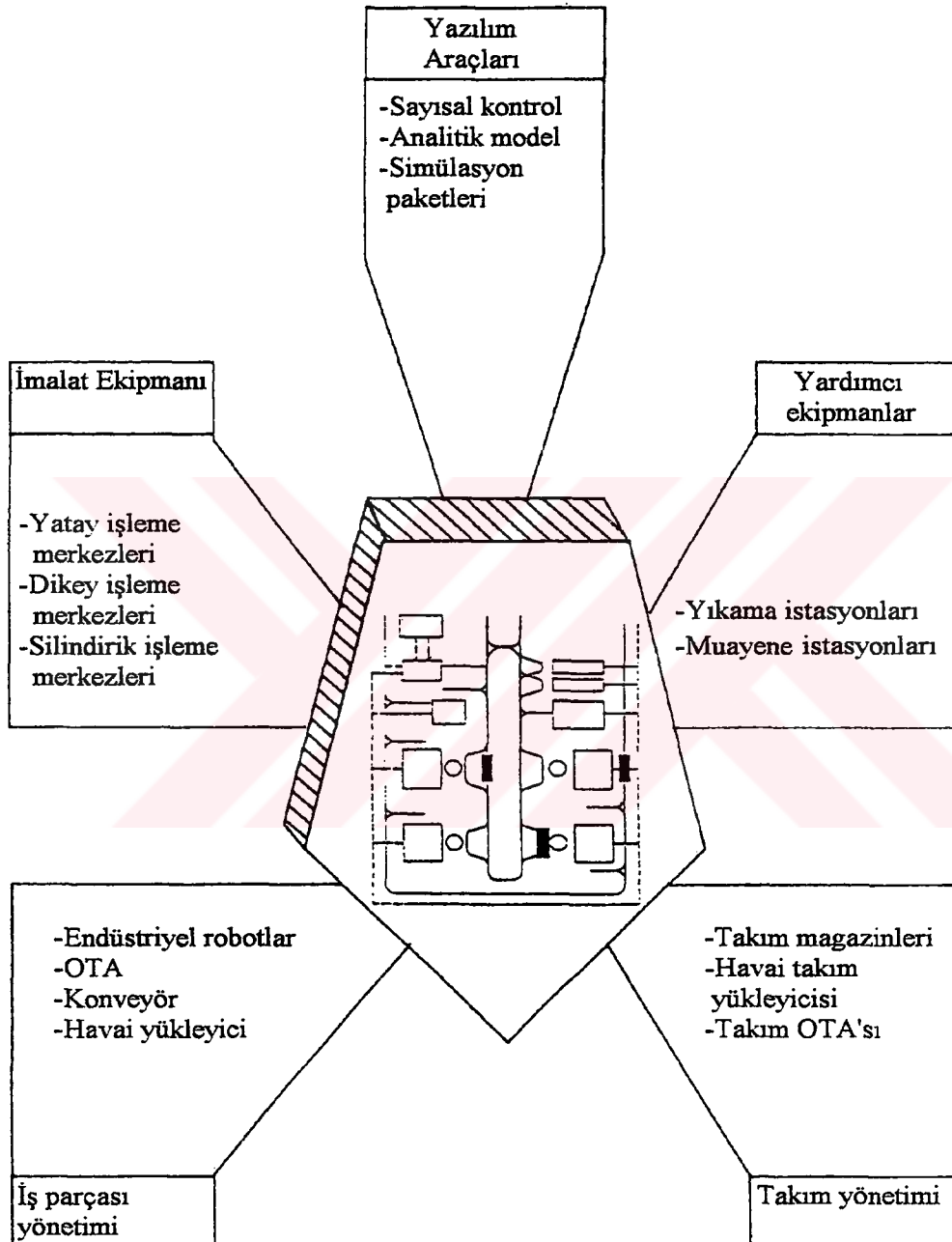
Bu modüllerin herbirinin ne tür ne kadar olacağı yanı sıra fiziki düzenlemesi imalatçının amaçları, üretim metodu, üretilecek parça adedi ve boyutları ve çok sayıda başka faktörler tarafından belirlenir.

Bundan sonraki kısımlarda temel otomatize imalat sistemi tipleri, konfigrasyonları tanımlanmış ve EİS kavramına dayalı olarak tartışılmıştır.

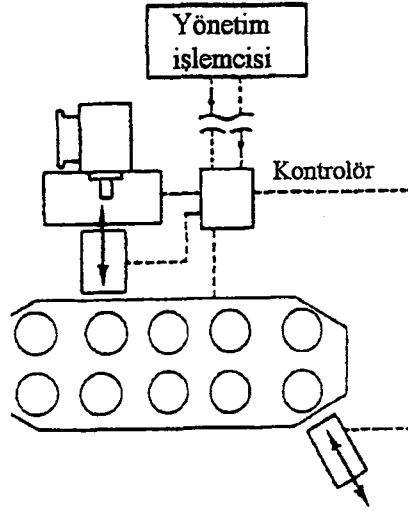
3.3. İnsansız Otomatik İmalat İstasyonu

İnsansız otomatik imalat istasyonu herhangi bir insan müdahalesi olmaksızın en az bir vardiya çalışabilen, otomatik palet ve takım yükleyebilen genelde en az üç eksenli bilgisayar kontrollü tezgahlardır (Şekil 3.3) [208]. Bir insansız otomatik imalat istasyonu temel olarak iki teknolojiye bulunmaktadır. Bunlar CNC iş istasyonu ve CNC

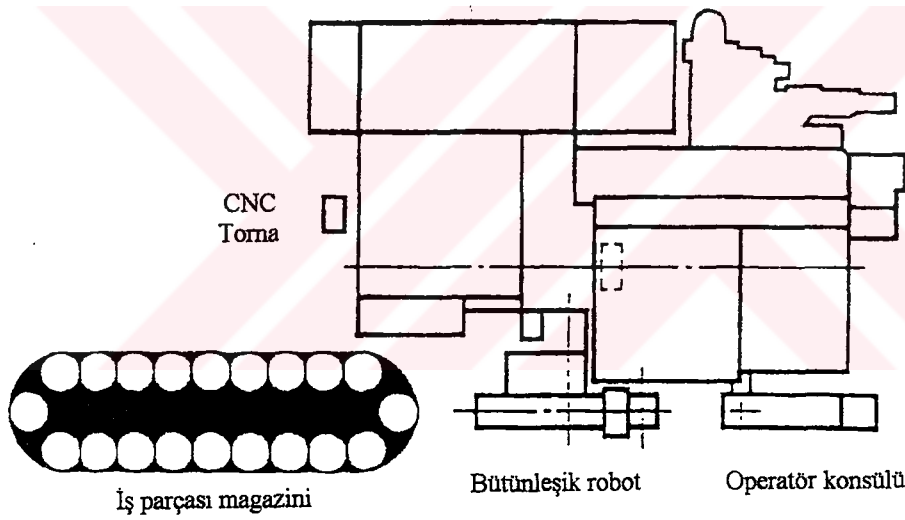
torna tezgahıdır. Tipik bir CNC torna tezgahı genellikle bir veya iki takım magazini (turret) ile desteklenmiş ve çeşitli operasyonları yapma kabiliyetine sahiptir (Şekil 3.4).



Şekil 3.2 İmalat sistemleri için inşa blokları



Şekil 3. 3 İnsansız istasyon yapısı

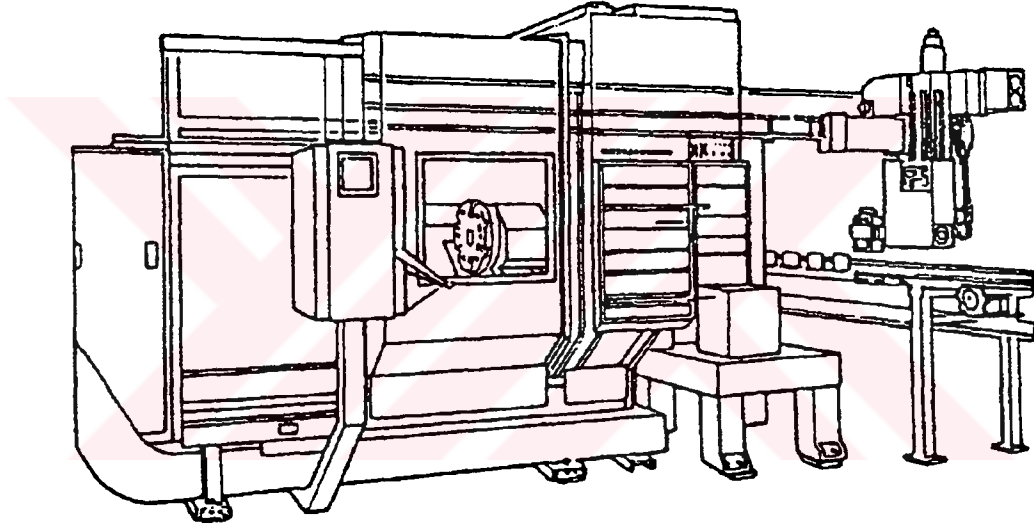


Şekil 3. 4 Silindirik parçalar için bir insansız istasyon

Genellikle yatay ve dikey olmak üzere iki tür iş istasyonu mevcuttur. Bu istasyonlar 20 ile 240 takım kapasitesine sahip magazinle donatılmıştır. Takım aşınmalarını ve kırılmalarını otomatik olarak algılayabilmekte ve talaşlar otomatik olarak temizlenebilmekte, parça ve takım yükleme ve boşaltma otomatik olarak gerçekleşmektedir [13] [14].

Özellikle uzun süre insansız çalışabilmek için tezgahlar otomatik parça taşıyıcılarla desteklenmiştir. Bunlar ya çok istasyonlu palet taşıyıcılar ya da otomatik palet değiştirici şeklindedirler [14]. Palet taşıyıcı kullanıldığında, bir algılayıcı tezgahın tablasına herhangi bir iş parçasının geldiğini belirleyebilmektedir. Operasyon süresi diğer klasik tezgahlara göre oldukça kısa olduğundan genellikle çoklu palet taşıyıcı yeterli parça beslemeyi yapamamaktadır. Bu nedenle ikiz paletli otomatik palet değiştirici kullanılmaktadır.

Genellikle CNC torna tezgahları operasyon sürelerini oldukça kısalttığından tezgahın yanına ya bir tanpon stok ya da bir robot yükleyici gerekmektedir (Şekil 3.5) .



Şekil 3. 5 CPC Taşımali (taşıyıcı) bir insansız istasyon

Bu tür tezgahlar için kontrol sistemleri çoklu parça program kütüphanesi, takım yönetim yazılımı ve algılayıcı destek programlarını kapsamaktadır. Ayrıca karmaşık ve yüksek kapasiteli sabitleyicileri kullanabilmek için alternatif programlar gereklidir.

Bu istasyonlar genellikle tek bir parça ila 200 parçalık parti büyüklüklerini işleyebilmek için tasarlanmıştır [15].

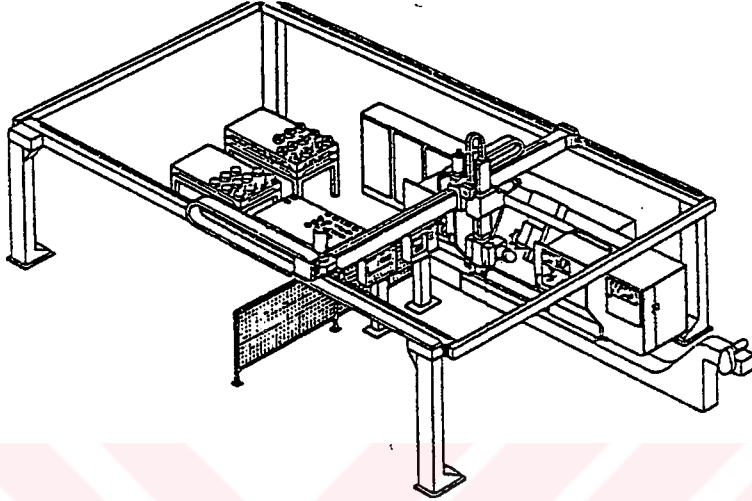
3.4 Esnek İmalat Hücresi (EİH)

Bir EİH genellikle bir ile 4 CNC tezgahından oluşan ve otomatik bir malzeme iletim sistemi ile desteklenmiş otomatik imalat birimidir. Genellikle az parça çeşidi ve orta büyüklükteki partiler ile çalışır. Şekil 3.6 ve 3.7 sırasıyla silindirik ve prizmatik parçaların işlendiği bu tür sistemleri göstermektedir. İlk hücre teknolojisi, daha çok birbirinden bağımsız bir grup tezgahın yer aldığı ve hücrenin kısmen kontrol altında tutulduğu ve bir muayene istasyonu ile desteklendiği sistemlerdi, iş parçası transferi için bir endüstriyel robot kullanılır ve genellikle hücrenin yerleşim biçimi robotun özelliklerine göre düzenlenir. Daha sonraları hücrelerin oluşturulması, transfer hatlarının oluşturulmasına benzer olarak geliştirilmiştir. Bir imalat sistemi olarak hücrelerin statüsü, sistemde kullanılan kontrol yazılımlarının özellikleri tarafından belirlenmektedir. Hücre, az sayıda parça çeşidi işleyebilen, son derece esnek ve yüksek derecede otomasyona sahip bir sistemdir [208].

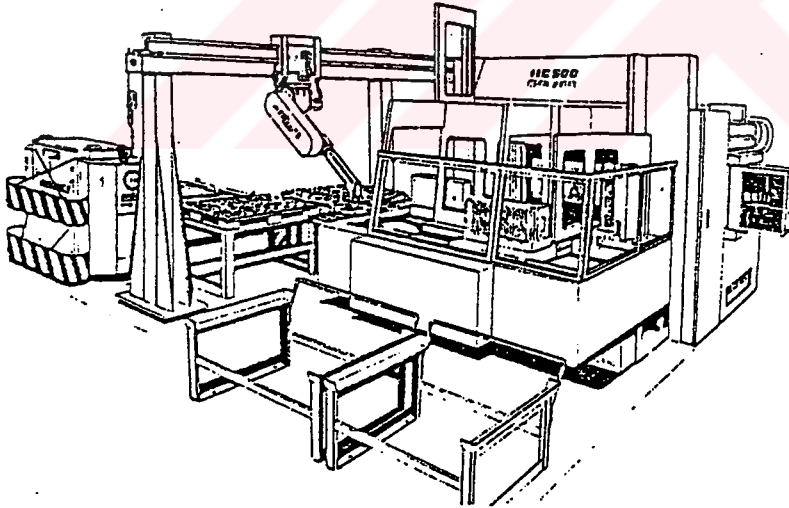
İmalat ihtiyaçlarının çeşitliliğinden dolayı bu tür hücreler aşağıdaki şekillerde olabilir [46]:

- Otomatize bir hücre homojen bir parça ailesine ait çok yüksek hacimli üretim yapabilir (Şekil 3.8) [16] [20] [21] [22]. Robotlu veya özel bir malzeme iletim sistemi küçük sayıdaki CNC iş istasyonlarını birbirine bağlar (Şekil 3.9) [18] [9]. Hücre normal olarak sabit sayıda operasyon yapmakta ve iş parçaları operasyonlar için sırasıyla ilgili tezgahları ziyaret eder. Yüksek verimlilik, özel malzeme iletim sistemi, parçaların otomatik yüklenip boşaltılması, takımların belli sayıda da olsa magazinlerde tutulabilmesi ve otomatik olarak değiştirilebilmesi sayesinde gerçekleşebilmektedir. Genellikle bu tür sistemler ekonomik olarak daha makul seviyededir [46].
- Bir EİS hücresi orta hacimdeki üretimi gerçekleştirmek amacıyla kurulmakta ve ya bağımsız tek hücre olarak ya da entegre çok hücreli bir sistemin parçası olarak yer alırlar [10]. Bu tür hücrelerin en önemli özellikleri; ham malzemenin hücreye

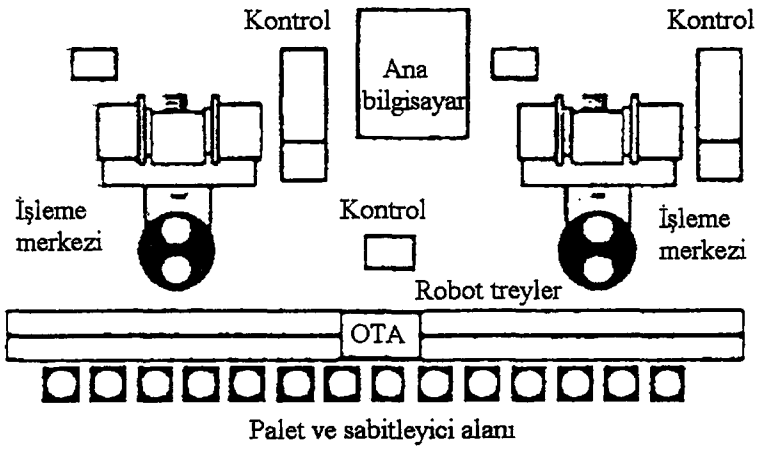
otomatik olarak taşınması, gerekli tüm operasyonların aynı hücre içerisinde gerçekleştirilebilmesi ve son olarak işlemi bitmiş parçaların otomatik olarak sistemden alınabilmesidir.



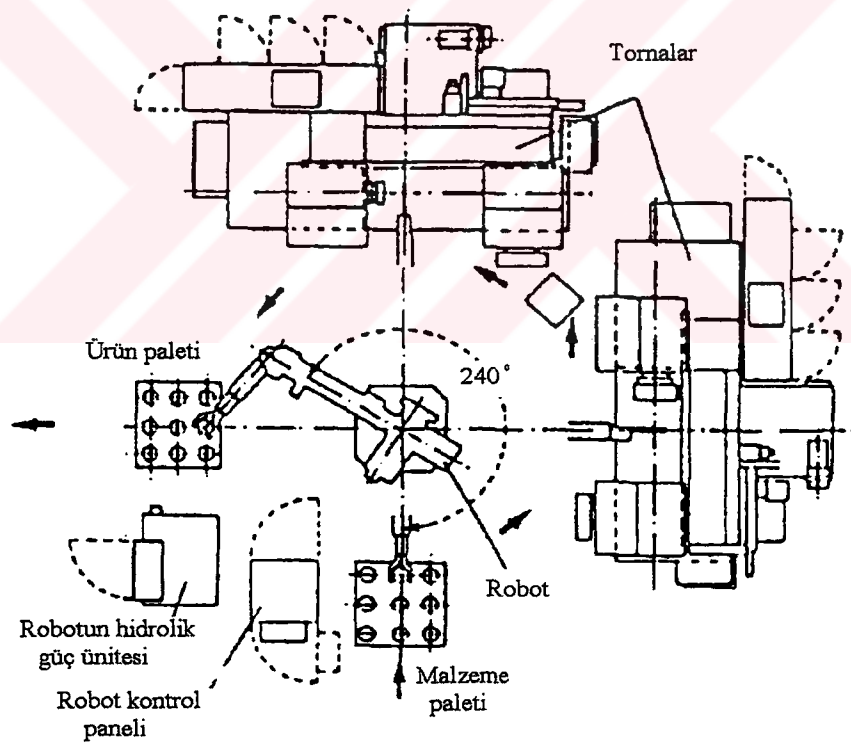
Şekil 3. 6 Silindirik parçalar için bir EİH



Şekil 3. 7 Prizmatik parçalar için bir EİH



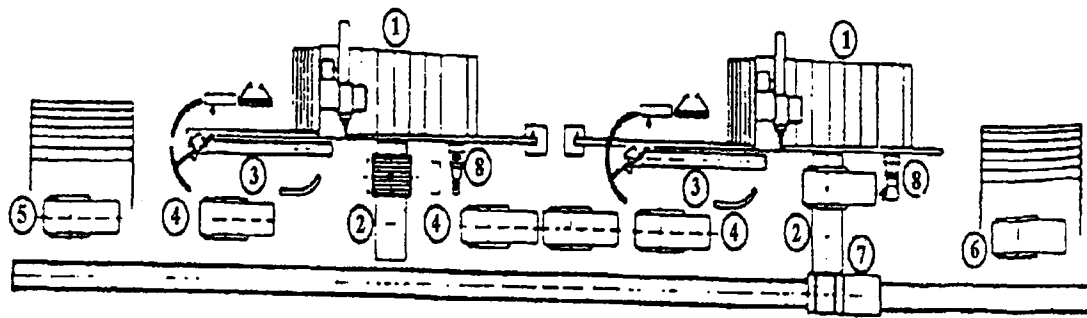
Şekil 3. 8 Prizmatik parçalar için bir EİH



Şekil 3. 9 Flanşlar ve şaftlar için bir EİH

Silindirik parçalar için otomatize bir hücre örneği OKUMA torna hücresidir [9]. Bu hücre bir endüstriyel robot tarafından desteklenmekte ve iki CNC tornadan oluşmaktadır. Minimum parti büyüklüğü 20'dir ve çevrim süresi 4 dk. civarındadır. Hücre iki vardiya boyunca insansız olarak çalışabilmektedir. Paletler otomatik olarak sisteme alınmakta ve sistemden çıkarılmaktadır. Bir operatör birinci vardiyada zaman zaman gerekli olabilmektedir. Bu hücre 3 vardiya boyunca kesme yapabilmekte ve hücre verimi %50 ,55'den %80'lere kadar çıkabilmektedir. İki tezgah birbirinden bağımsız çalışabilmekte yükleme ve boşaltma gerektiğinde insan aracılığı ile yapabilmektedir. Sistem otomatik olarak çalıştığında, operatör kullanımı altında çalışmasına nazaran 4 ile 4.8 kat daha verimli çalışmaktadır.

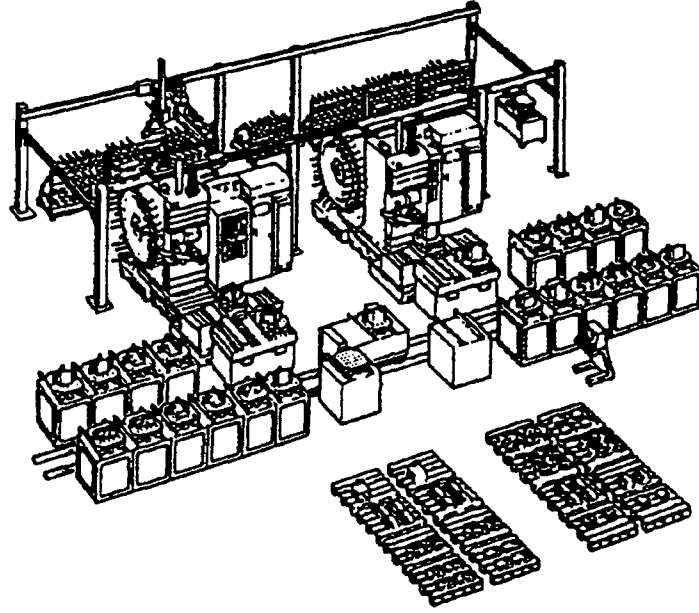
Prizmatik parçalar için hücre örnekleri Şekil 3.10 ve 3.11'de görülmektedir [19] [23] [22]. PEGARD esnek imalat hücresi PEGY takım değiştirme robotunun da yer aldığı CATERPILLER iş makinalarının parçalarını üretmek üzere kurulmuştur. Herbirinde 160'ar takımın bulunduğu iki iş istasyonu PEGY robotunu ortak olarak kullanmaktadır. İstasyonlar normalde yatay tezgahlar olduğu halde ayrıca ikinci bir iş mili ile desteklenmişler ve böylece herhangi bir parçanın 5 yüzeyi tekrar tezgaha bağlanmaksızın işlenebilmektedir. Tezgahlar arasında parça transferi raylı bir palet mekiğiyle gerçekleştirilmektedir.



- 1- İşleme Merkezi
- 2- Tezgah Tablası
- 3- Takım değiştirme robotu (Pegy)
- 4- Palet Stantı

- 5/6- Yükleme/boşaltma istasyonu
- 7- Palet mekiği
- 8- Dik açılı kafalar için magazin

Şekil 3. 10 Prizmatik parçalar için bir EİH

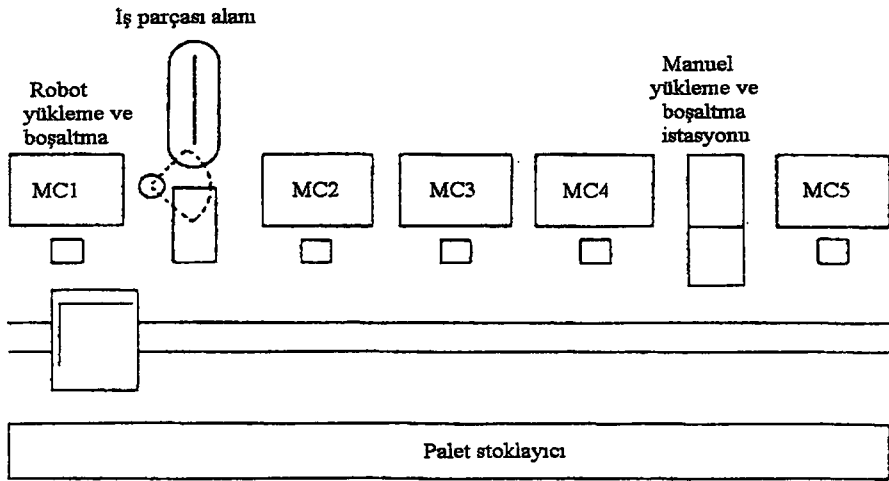


Şekil 3. 11 Çift istasyonlu bir EİH

Yukarıda bahsedilen hücrelerin aksine WERNER KOLB imalat hücresi özel bir takım taşıma sistemi ile donatılmış, ayrıca bilgisayar kontrollü iletim sisteminde mevcuttur. Bu iletim sistemi hem tezgahlar arasında hem de merkezi takım deposundan tezgahlara karşılıklı takım getirip götürmekle yükümlüdür [209].

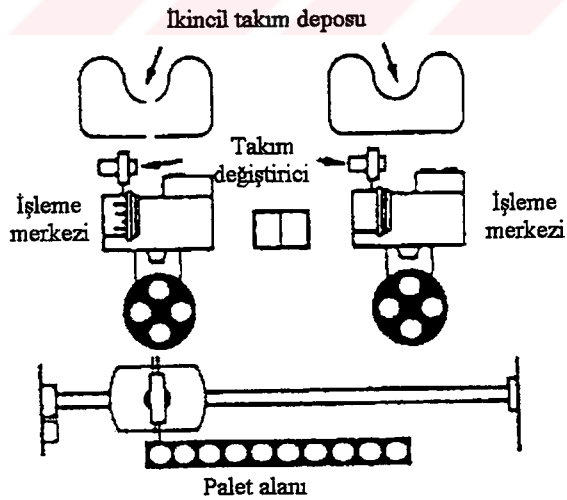
3.5 Esnek İmalat Sistemleri (EİS)

Bir EİS normal olarak bağımsız veya entegre olarak çalışabilecek sayısal bilgisayar kontrollü (CNC-SBK) tezgahlardan oluşmuştur. Bu tezgahlar bir malzeme iletim sistemi ile birbirlerine bağlanmakta ve tüm sistem bilgisayar kontrolü altında çalışmaktadır. Genel olarak, yıkama, muayene istasyonları gibi yardımcı istasyonlarda ilave edilmektedir (Şekil 3.12). Ayrıca pek çok sistemde iş parçası taşıma sisteminden farklı olarak sadece takım taşımaya tahsis edilmiş otomatize bir takım taşıma sistemi de ilave edilmiştir [29].



Şekil 3. 13 Pompa gövdeleri için bir EİS

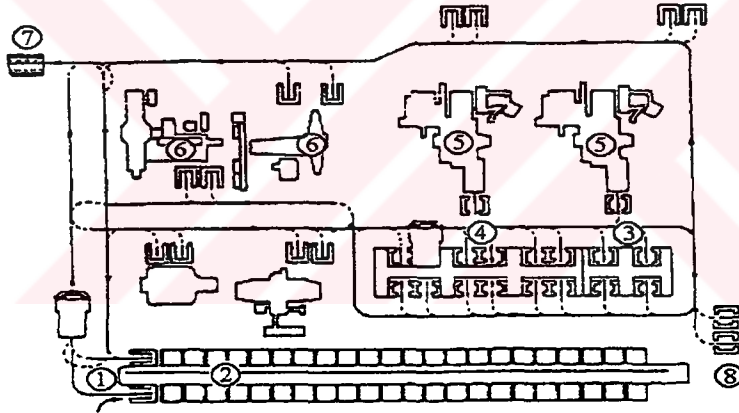
Normalair - Garrett (Şekil 3.14) İngiltere’de ilk kurulan EİS özelliğini taşımaktadır [29]. Sistem parça gruplarını üretmek üzere tasarlanmıştır. Operatörler sadece üretilen parçaların muayenesinde ve son montajda kullanılmaktadır. Sistemin ilginç teknik özelliği ise her tezgahdaki birincil takım deposunu desteklemek üzere ikinci bir zincir magazinle desteklenmiş olmasıdır.



Şekil 3. 14 İkincil takım magazinli bir EİS

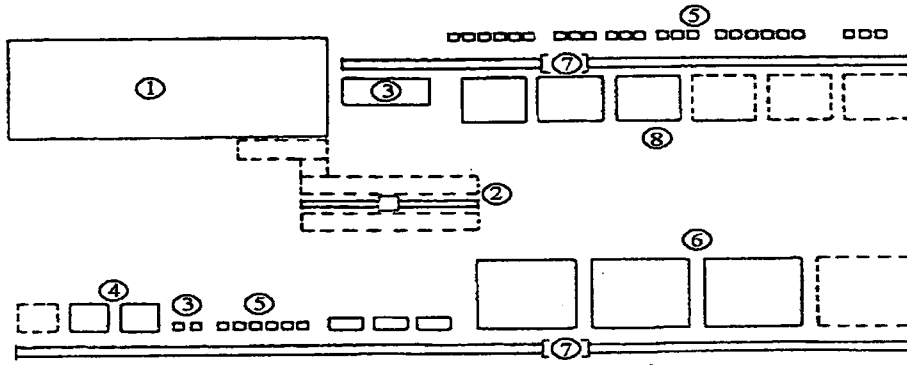
Büyük çaplı EİS'lere otomatik depolama ve geri alma sistemi de (AS/RS) eklenmiştir. Şekil 3.15 ve 3.16 bu sistemlerin iki göstermektedir [27] [28] [31]. Otomatik taşıma araçları malzeme taşımada en yaygın kullanılan sistem olmasına rağmen, büyük ve ağır parçaların taşınması için bilgisayar kontrollü vinç sisteminin de kullanıldığını göstermektedir [32]. Ayrıca, standart 80 takım kapasiteli magazinin yanısıra her tezgahın 20 takım kapasiteli bir başka magazinle desteklendiği görülmektedir. Matbaa makinalarını üretmek üzere tasarlanan bu sistem bir parçalı veya çok küçük parti hacmiyle çalışmakta ve aşağıda sıralanan ekonomik faydaları gerçekleştirmiştir:

- Tezgah sayısında %58 azalma
- İş gücünde %76 azalma
- Üretim süresinde %70 azalma



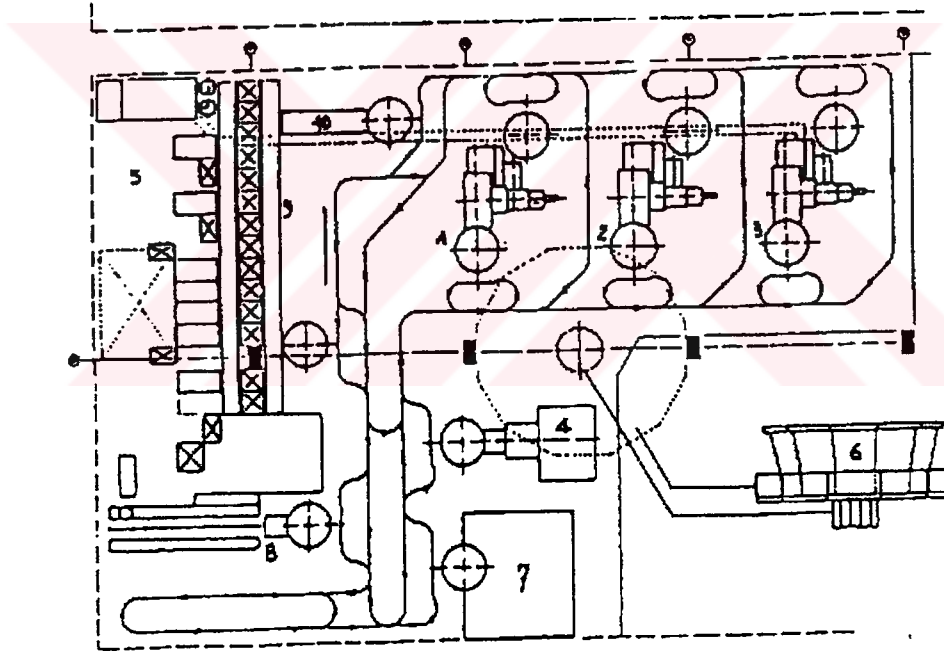
- | | |
|---|---------------------------------|
| 1- Malzeme girişi (forklift ile) | 5- İnsansız NC tezgahı |
| 2- Depolama (360 yerleşim) | 6- İnsanlı NC tezgahı |
| 3- Gündüz vardiyası için hazırlık alanı | 7- Malzeme çıkışı |
| 4- Gece vardiyası için hazırlık alanı | 8- Batarya yükleme istasyonları |

Şekil 3. 15 Pompa gövdesi için bir EİS



- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| 1- Otomatik depo | 5- Palet stoklayıcı |
| 2- Geri alma sistemi | 6- Dikey işleme merkez hattı |
| 3- İş düzenleme istasyonu | 7- OTA hattı |
| 4- Silindirik merkez hattı | 8- Yatay işleme merkez hattı |

Şekil 3. 16 Büyük parçalar için bir EİS



- | | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| 1,2,3- İşleme merkezleri | 7- Bilgisayarlı ölçme tezgahı |
| 4- Yıkama tezgahı | 8- Takım magazini |
| 5- İnsanlı giriş/çıkış istasyonu | 9- Parça magazini |
| 6- Bilgisayar ve gözlem odası | 10- Yıkama tüneli |

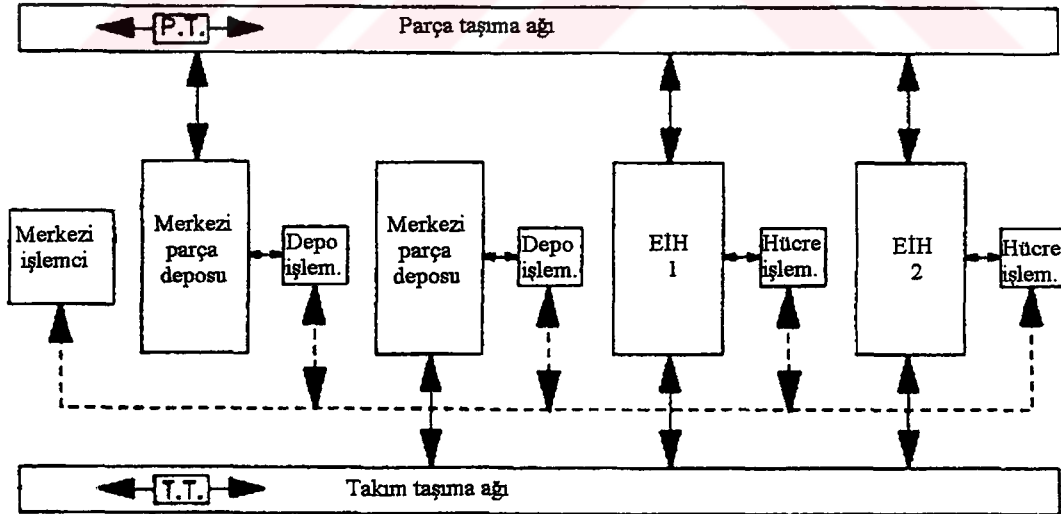
Şekil 3. 17 Prototip otomobil parçaları için bir EİS

Daha gelişmiş bir sistem, Renault Machine Outils tarafından kurulmuştur. İmalat, ürün ve stok kontrol esnekliği en üst seviyede gerçekleşmiştir [33]. Fransa'da kurulan bir başka EİS otomobil parçaları üretmek amacıyla Citroen tarafından kurulmuştur (Şekil 3.17).

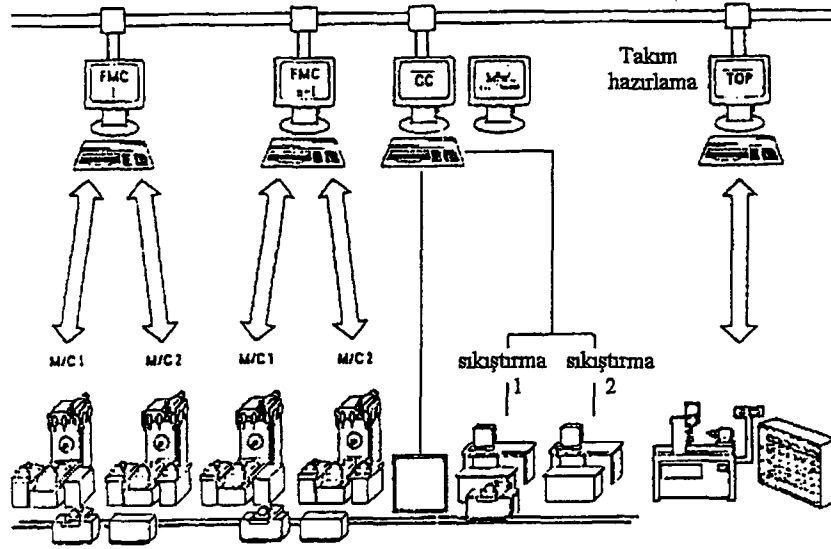
3.6 Çok hücreli EİS

Çok hücreli EİS'ler büyük boyutlu otomatize üretim ağlarıdır ve 2 veya daha fazla hücrenin bir malzeme iletim sistemi aracılığı ile fonksiyonel olarak bağlanmasıyla oluşturulur. Genellikle malzeme akışı EİH ve EİS'de olduğu gibidir. Genellikle kesme, montaj, muayene gibi fonksiyonlar ayrı ayrı hücrelerde gerçekleştirilir. Muayene ve yıkama istasyonu gibi yardımcı ekipmanlar sistemin tipik elemanlarıdır.

Bu tip imalat sistemlerinin kontrolü hiyerarşik bir yapıdadır ve merkezi bir bilgisayar aracılığı ile koordine edilir. Çizelgeleme ve üretim kontrol sisteminin başarılı ve verimli çalışabilmesi için anahtar rol oynarlar. Şekil 3.18 bu sistemlerin genel bir yapısını göstermektedir.



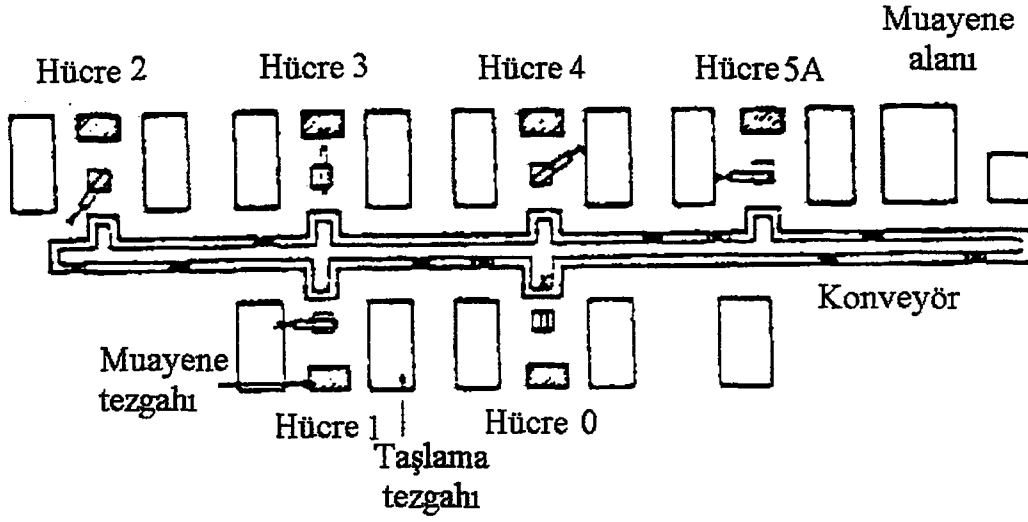
Şekil 3. 18 Çok hücreli EİS'in yapısı



Şekil 3. 19 Çok hücreli sistemin kontrol hiyerarşisi

Şekil 3.19 çeşitli hücrelerden oluşan bir sistemin kontrol yapısını göstermektedir. Bu tür çok hücreli bir sistemde kontrol görevi her bir hücre için kontrol bilgisayarları ve tüm sistemin koordinasyonunu sağlayan merkezi bilgisayar arasında bölünmüştür. Tezgah bağlantılı fonksiyonlar, örneğin CNC parça programları, tezgah programları gibi, hücre içerisindeki malzeme akış kontrolü ve buna bağlı veri işleme hücre seviyesindeki bilgisayarlara bırakılmıştır. Buna karşılık daha üst seviyeli fonksiyonlar, örneğin, iş çizelgeleme, takım ihtiyaç planlama, malzeme akış kontrolü, sistemin hazırlanması ile ilgili diyaloglar vs. koordinasyon bilgisayarının sorumluluğundadır.

Çok hücreli sistemler aynı zamanda sadece kesme operasyonları içinde kullanılabilir. Örneğin, pervane üretimi için tasarlanmış 7 taşlama hücresinden oluşan çok hücreli bir sistem Şekil 3.20'de görülmektedir. Her hücre 2 taşlama tezgahından oluşmakta ve bir endüstriyel robotla desteklenmiştir. Her hücre aynı zamanda bir temizleme ve muayene istasyonuna da sahiptir. Bu tip yaklaşımların temel avantajı düşük üretim maliyeti, daha kısa üretim süresi, yüksek ürün kalitesi, dengeli üretim hacmi, daha basit sistem kontrolü ve talepteki değişimlere daha kısa sürede karşılık verebilme yeteneğidir [17].

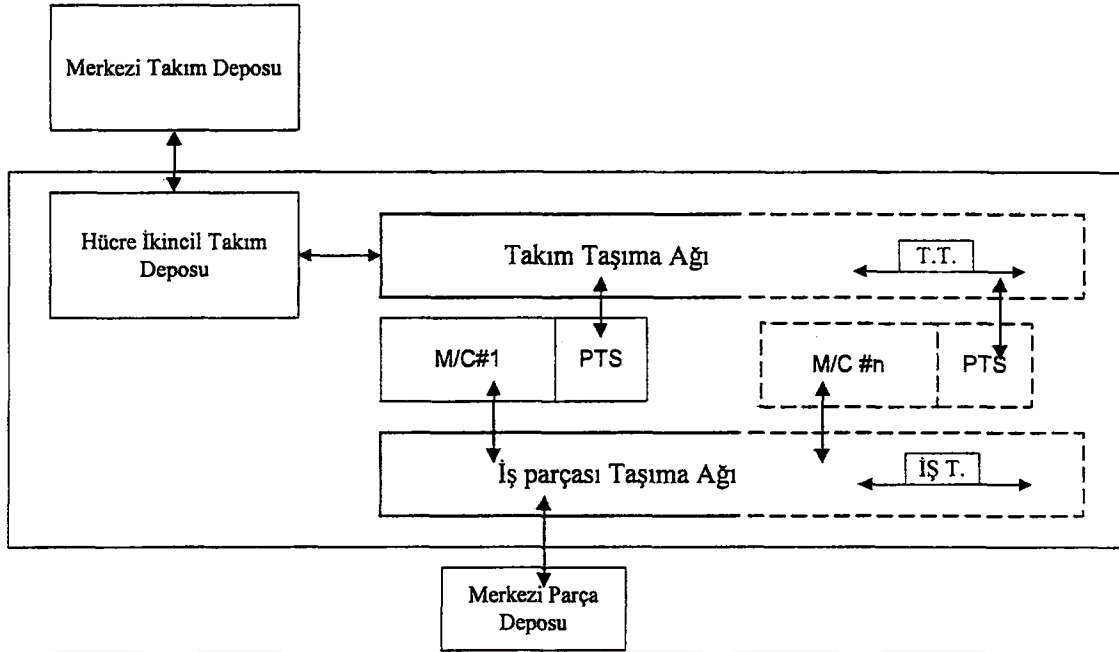


Şekil 3.20 Çok hücreli bir taşlama sistemi

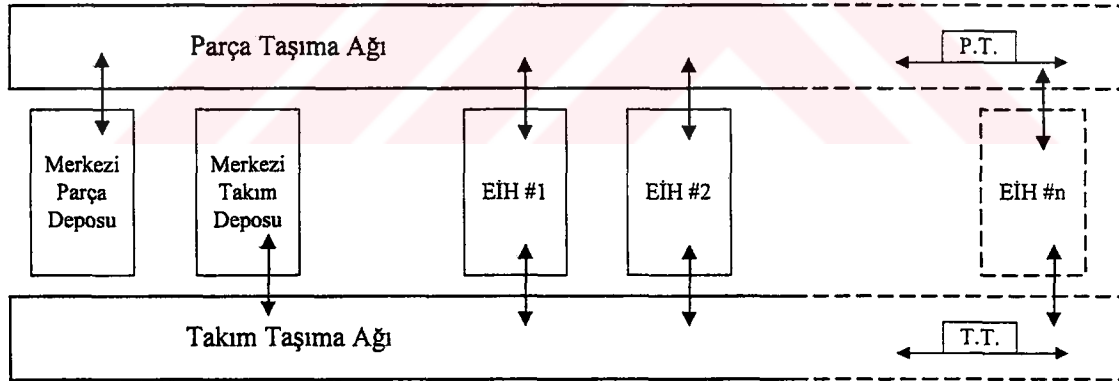
3.7 EİS'de Takım Akış Konfigrasyonu

EİS'de takım akışı hiyerarşik bir şekilde ve iki yönlüdür. Her bir makina, her bir hücre ve fabrika seviyesindeki takım yönetim sistemleri takım akış ağı aracılığı ile birbirlerine bağlanmışlar ve çeşitli kapasitelerdeki takım depoları ile takım taşıma sistemi ve takım değişim sisteminden oluşmaktadır (Şekil 3.21 ve 3.22). Takım akış ağı hiyerarşik olarak 3 seviyede tanımlanmıştır:

1. Fabrika seviyesinde merkezi takım deposu
2. Hücre seviyesinde ikincil takım deposu
3. Tezgah seviyesinde birincil takım deposu



Şekil 3. 21 Hücre seviyesinde takım ve parça akışı



Şekil 3. 22 Fabrika seviyesinde takım ve parça akışı

3.7.1. Merkezi Takım Deposu (CTS)

Merkezi takım deposu temel takım faaliyetlerinin yer aldığı en önemli yerlerden birisidir. Takım deposundaki faaliyetler ve takım stoku EİS'in karşılaştığı en önemli problemlerden birisidir. Gerekli takımların istenilen şartlarda gerekli yerlere gönderilmesi büyük ölçüde CTS'in yönetim başarısına bağlıdır. CTS'in temel fonksiyonu takım bulundurma ve gerekli takımları gerektiği anda ihtiyaç duyulan yerlere ulaştırmaktır [119]. CTS normal olarak tezgahlarla hücre bazında bir takım deposu aracılığı ile ilişki kurar. CTS'deki temel faaliyetler aşağıda verilmiştir. (Şekil 3.23) [118]:

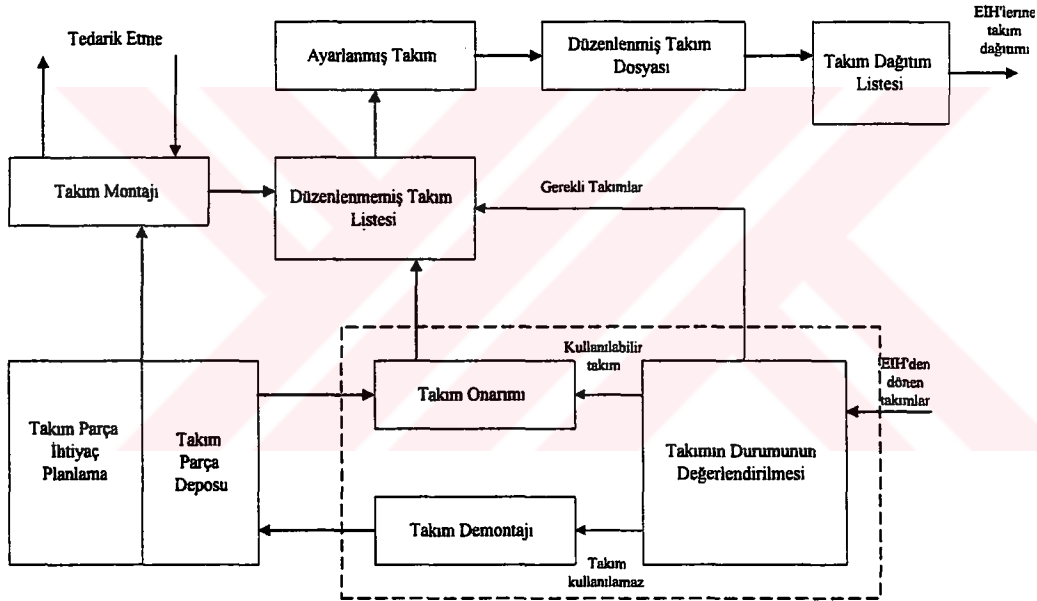
1. Farklı makinaların takım ihtiyaçlarını almak.
2. Takımların, sabitleyicilerin, montaj ve hazırlığını yapmak ve bunları tezgahlara transfer edilmek üzere ihtiyaç duyulan şekilde gruplara ayırmak.
3. Tezgahlardan kullanılmış olarak geri gelen takımların demontajını yapmak ve ömrü biten takımları ayırmak.
4. Bilenebilir takımları bilemek ve bilenemeyen takımları hurdaya ayırmak.
5. Ani takım kırılmaları sonucu oluşacak beklenilmeyen takım ihtiyacına cevap verebilmek.
6. Takım kullanımı ve özellikleri ile ilgili veri tabanını gelecek uygulamalar için saklamak, raporlamak ve stok kontrolünü yapmak.
7. Daha önceden belirlenen kriterlere göre belli bir zamanlama ve sırayla hücre ve tezgah takım depolarının ihtiyacını karşılamak.

3.7.2. İkincil Takım Deposu (STS)

Bir EİH bir veya daha fazla CNC iş istasyonlarından oluşur ve tezgah magazinlerine beslemek için STS bulundurur. STS'in temel faaliyetleri takım değişimini, takım iletimini, STS ve iş istasyonları arasında yükleme ve boşaltmayı kapsar. İletim sistemi ya sadece takım taşımaya yönelik ayrı bir sistemdir. Ya da iş parçası taşınması için de kullanılır. Bir STS iki moddan birinde kullanılır.

1. Hücreleri merkezi takım deposuna bağlayan ara geçiş stoku olarak,
2. Planlana üretim periyodu için hücre tarafından istenen tüm takımları barındıran büyük kapasiteli ana takım deposu olarak kullanılır [99].

STS'in büyüklüğü ve kapasitesi çoğunlukla hücre içerisindeki tezgahların magazin kapasitesine, üretim periyoduna ve hücrede üretilecek iş parçasına bağlıdır. Dünyanın en büyük tezgah üreticilerinden olan Yamazaki birden 4'e kadar tezgaha hizmet edebilecek şekilde tasarlanmış ve "Takım Peteği" adını verdiği bir STS geliştirmiştir. Bu sistem 480 takıma kadar takım depolayabilir ve takım değişimini bir robot yardımıyla sağlamaktadır.



Şekil 3.23 Merkezi Takım Deposu (CTS)

3.7.3. Birincil Takım Deposu (PTS)

Tüm modern imalat iş istasyonları bir PTS ile donatılmıştır. PTS kapasitesi standart olarak 20 ile 240 takım arasında değişmektedir [76]. İki veya üç vardiyalık insansız imalatta işlenen çok sayıda iş parçasının ihtiyacı olan çok fazla miktardaki takımlar için ilave bir PTS'de bulunabilir.

Pratikte çok değişik sayıda ve şekilde PTS bulunabilir. De Souza 11 değişik magazin tipi tanımlamıştır [118]. De Souza'nın listesine ilave olarak son yıllarda yeni magazin tipleride endüstride görülmeye başlamıştır. Werner, TC- serisi iş istasyonlarında her biri 12 takım alabilen 80 kapasiteli iki ana kasetli bir magazin kullanmaktadır. Bu magazin 160+12 takım kapasitesine kadar büyütülebilmektedir. Takımlar iki eksenli doğrusal bir robot aracılığı ile taşınabilmektedir [210].

SHW ise, hem PTS olarak kullanılabilen hem de PTS'in yanı sıra yardımcı depo olarak kullanılabilen golf topu şeklinde başka bir magazin geliştirmiştir [211].

Daha Küçük magazin kapasiteleri, özellikle insansız imalatta ve büyük partilerle çalışan sistemlerde sık sık tezgah durmalarına neden olduğundan ve sık sık yüklenip boşaltılması gerektiğinden, uygun değildirler. Büyük magazin kapasiteleri başlangıç yatırımları biraz yüksek olmasına rağmen özellikle insansız ve sürekli imalat için daha uygundur.

3.8 Çok Hücreli EİS'de Takım Yönetimi

Burada tartışılan takım yönetim sistemi çok sayıda birbirine bağlı hücrenin oluşturduğu otomatize bir imalat sistemi içindir. Sistem bilenebilir takımları bileyip sistemde tekrar kullanabilmektedir. Takım akışı hem CTS'ten STS ve PTS'e hem de PTS'ten STS ve CTS'e doğru iki yönlüdür. Takım değiştirme noktaları STS ve CTS'dir. Tezgah bazındaki PTS'ler arasında kontrol zorluğu dolayısıyla herhangi bir takım akışına izin verilmemektedir.

BÖLÜM 4. EİS'DE PARÇA VE TAKIM AKIŞI

4.1. Giriş

EİS'deki iki temel dinamik birim, parçalar ve takımlardır. Bu iki birimin akışının tasarımı ve kontrolü EİS'nin başarısını çok büyük ölçüde etkilemektedir. Bu bölümde parçaların ve takımların çizelgelenmesi, kontrolü ve sistem performansına olan etkisi literatürden örneklerle verilmiştir. Ayrıca parçaların ve takımların sistem içindeki hareketlerine ait temel algoritmalar ve böyle bir sistemin kurulması için gerekli tasarım kriterleri de sunulmuştur.

4.2. Çizelgeleme Kavramı ve EİS'de Çizelgeleme

Parça çizelgeleme sistem performansına etki eden en önemli faktörlerden birisidir. Tüm iş parçaları, tezgah, malzeme, takım, taşıyıcı sistem, zaman v.s. gibi aynı sınırlı kaynakları kullandığından başarılı bir imalat için parça akışını ve çizelgelemesini sistem için hayati bir noktaya getirmiştir [212] [213].

Bu problem pek çok araştırmacı tarafından, kompleks tam sayılı programlama problemlerinden, basit sezgisel algoritmalara kadar değişik metotlar kullanılarak çözülmeye çalışılmıştır.

Bir EİS yüksek tezgah ve ekipman kullanımını ancak etkili bir çizelgeleme sistemi, dengeli bir parça karışımı ve takım yönetimi sistemi ile sağlanabilir. Bu ise şu üç stratejik sorunun cevabını bulmakla mümkün olabilir.

1. Bir sonra, hangi parça yüklenecektir.
2. Ne zaman yüklenecektir.
3. Parça sisteme yüklendikten sonra hangi tezgahlara gönderilecektir.

Bu amaçla klasik atelye tipi üretim sisteminde uygulana gelen sıralama ve çizelgeleme kurallarının yanısıra EİS'lerine özgü birçok matematiksel ve sezgisel kurallar geliştirilmiştir. Ancak sistem konfigrasyonu karmaşık ve sürekli değişme eğilimi gösteriyorsa klasik matematiksel programlama ile optimize etmek çok güç olabilir. Bu nedenle bu tür problemlerin çözümünde daha yaygın olarak simülasyon kullanılmaktadır [91] [214] [215].

EİS'lerini klasik sistemlere göre daha karmaşık yapan parçaların bazen tekrar yönlendirilmesi, palet ve tutucuya ihtiyaç duymaları, operasyonlar için çok sayıda farklı kesici takımın operasyonun gerçekleştiği tezgahta hazır bulundurulması gerekmektedir. Dolayısıyla, klasik sistemlerde olduğundan farklı olarak çizelgelemeye, tezgah, parça ve parti büyüklüğünün yanı sıra, palet, tutucu, kesici takımlar, yükleme/boşaltma istasyonunda ilave edilmek zorundadır. Bu ise problemi daha da karmaşık hale getirmektedir. Yüksek hızda, değişik parçaların verilen zaman diliminde işlenebilmesi için;

- a) Mümkün olduğu kadar çok parça için alternatif üretim rotaları gerçekleştirilmelidir. Bunun için çok amaçlı ve çok başlı geniş magazin kapasiteli otomatik tezgahlar kullanılmalı,
- b) Tezgahların palet ve tutuculardan karnaklanan boş beklemelelerinin önüne geçmek için yeterli sayıda palet ve tutucu bulundurulmalı,
- c) Parça tasarımlarının enaz takım çeşidine ihtiyaç duyacak şekilde tasarlanması dolayısıyla hem operasyon sayısının azaltılması hemde, takım değişiminden kaynaklanan beklemelelerin enaza indirilmesi,
- d) Malzeme taşıma sisteminin değişik parça çeşitlerini taşıyabilmesi gerekmektedir.

Yukarıda da bahsedildiği gibi, klasik atelye tipi çizelgelemeden farklı olarak, EİS'de diğer bazı donanım ve işletim farklılığı, EİS'de çizelgeleme problemini oldukça karmaşık hale getirmiştir. Bu problemler genellikle 0-1 tamsayılı programlama problemi olarak formüle edilebilir. Ancak bu tür problemler çoğunlukla klasik metotlarla çözülmeyecek kadar karmaşık ve büyüktür. Ayrıca, üretim ve operasyon sürelerindeki belirsizlik, tezgah ve diğer donanımın bozulma ve bakımlarından kaynaklanan duraksamalar bu problemlerin formülasyonu ve çözümünde bu tür

metotların kullanımını zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla pekçok EİS çizelgeleme problemlerinin çözümünde sezgisel kurallar kullanılır.

Başarılı bir çizelgeleme yapabilmek için, çizelgelemeye iştirak eden, parça, tezgah, malzeme iletim sistemi, palet, tutucu, kesici takımlar, yükleme/boşaltma istasyonu ve yükleme/boşaltma robotu (yada insan) gibi tüm donanım ve bunlara ait tüm stratejik kararlar gözönüne alınmak zorundadır.

Sezgisel çizelgeleme yaklaşımlarında, problem üç temel aşamada ele alınmaktadır;

Parça yükleme; hangi parçanın yükeneceğine karar verme aşaması olan bu aşamada ya sipariş önceliği yada sistem durumu yada ikisinin bir karışımı kararda temel kriterdir.

Parça gönderme; yükleme kararının ikinci aşaması olan bu karar, parça palete yüklendikten sonra, ne zaman sisteme yollanacağıdır. Genelde bu sorunun cevabı oldukça basittir ve mümkün olduğu kadar çabuktur ancak aynı durumda olan diğer parçalarla bir karışıklığa yol açmamak ve kullanılan donanımı (malzeme iletim istemi gibi) enaz meşgul edecek diğer karar kurallarında bu kararda etkilidir.

Parça sıralama; EİS çizelgelemede üçüncü aşama, parçanın bir sonraki iş istasyonuna hangi yolla gideceği sorusunun cevaplanmasıdır. Bazen teknolojik bir kısıt olarak parça sabit bir rotada ve sadece belli istasyonlara uğramak durumunda olabilir. Ancak, sistemin temel özelliklerinden birisi olan esneklik, çok kabiliyetli ve çok sayıda farklı operasyonları yerine getirebilme özelliğine sahip istasyonlardan dolayıdır ve iş parçaları için birden fazla alternatif yollar olabilir. Dolayısıyla çizelgeleme, uygun ve mantıklı bir yol seçimi gerektirir.

4.3. EİS'de Çizelgeleme Algoritmaları

Çizelgelemede amaç, üretilmesi amaçlanan parçaları en kısa zamanda ve en ekonomik olarak üretmektir. Ancak, kullanılan kaynaklar sınırlı olduğu için

kaçınılmaz olarak bir sıralama ve üretim programı yapılmak zorundadır. Aynı zamanda çok pahalı olan sistem donanımında en üst düzeyde faydalanmak ve sistem elemanlarının atıl kalmamasını sağlamak diğer bir zorunluluktur. Bir kısmı birbirleriyle de çelişen bu hedeflerin hepsini aynı zamanda başarmak çoğu zaman imkansız derecesinde zordur. Problemin karmaşıklığı ve boyutu da klasik optimizasyon metodlarının kullanımını çoğu zaman imkansız kılmaktadır.

Bir önceki kısımda anlatıldığı gibi EİS'de çizelgeleme üç temel aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk aşama olan yüklemede stratejik olarak, tezgah gruplarının, parça tipi seçiminin, üretim oranlarının belirlenmesi ve kaynak tahsisine ait kararların belli olması gerekmektedir. Yükleme problemi, bir grup işten belli işlerin seçimini ve uygun tezgah veya tezgah grubuna atanmasını öngörür. Ancak, burada planlama periyodu ve sistem kısıtlarının dikkate alınması kaçınılmazdır.

Literatürde EİS yükleme probleminde temel altı amaç tanımlanmıştır [63]; 1) tezgah proses süresinin dengelenmesi, 2) parça taşıma operasyonlarının enaza indirilmesi, 3) grup halinde kullanılan tezgahlar arasında iş yükünün dengelenmesi, 4) birbirinden farklı sayıdaki tezgahların oluşturduğu tezgah grupları arasındaki iş yükü dengesinin, tezgah sayısına göre orantılanması, 5) tezgah takım magazinlerinin mümkün olduğu kadar yoğunlukla doldurulması, 6) toplam operasyon önceliklerinin maksimize edilmesidir.

Yukarıdaki amaçlardan da görüleceği gibi bazı hedefler aynı amaca yönelikken bazıları birbiri ile çelişmektedir.

Problemlerin bir kısmı 0-1 karmaşık tamsayılı programlama ile formüle edilmiştir. Ancak önemli bir kısmı ise çeşitli sezgisel yaklaşımlar ve simülasyonla formüle edilip çözülmüşlerdir.

İkinci aşama olan parça gönderme, herhangi bir tezgah kullanın için hazır hale geldiğinde, herhangi bir operasyon için bir işin atanmasını gerektirmektedir. Eğer birden fazla operasyon aynı anda hazır ve atanmaya aday ise bu işlerden bir tanesi

bazı kurallara göre seçilmek durumundadır ve genellikle operasyonun önceliğini belirler. Yaygın olarak kullanılan bu kurallardan bazıları, SPT, SJT, PDJT, FIFO, SLACK, S/RMOP, S/RMWK, EDD, MDD, MOD, COVERT, LPT, CR, VE ATC dir. Bu kurallar hem EİS'lerinde hemde klasik atelye tipi üretim sistemlerinde kullanılmaktadır ve literatürde bu kuralların başarıyla uygulandığı pekçok çalışma vardır. Cheng ve diğerleri [216], Benjaafar [217], Sabuncuoğlu ve Hommertzhaim [218] Toure ve diğerleri [219], Nakasuka ve Yoshida [220], Vig ve Dooley [221], Ishii ve Talavage [222] bunlardan bazılarıdır. Bu kuralların uygulanması oldukça kolaydır ve kısa zamanda sonuç alınabilir. Bir diğer avantajı ise, amaçlanan hedefe en uygun olan kuralın seçilmesinin mümkün olmasıdır.

Parça belli kurallara göre sisteme alındıktan ve tezgaha yüklendikten sonra, sonraki operasyonları için takip edeceği rotada hangi sıra ile hangi tezgaha yükleneceği genellikle sadece karar problemidir ve en yaygın olarak kullanılan metod ilk boşalan tezgaha ilk hazır olan iş parçasının yüklenmesidir. Ancak, alternatif işler ve tezgahlar durumunda genellikle sistemin öncelikleri gözönüne alınarak bir öncelik kuralı uygulanır.

Literatürde genellikle, çizelgeleme probleminin belli aşamaları zaten yerine getirilmiş olarak kabul edilir ve problemin sadece bir kısmı formüle edilir ve çözülür. Bu durum bir bakıma problemin boyutu ve karmaşıklığı nedeniyle bir zorunluluktur. Problemi tüm boyutlarıyla ele alıp formülize eden çalışmalar çoğunlukla simülasyon çalışmalarıdır ve tüm alternatif çözümlerin bulunması genellikle ihmal edilmiş ve tatmin edici bir sonuç çoğunlukla yeterli sayılmıştır.

4.4 Esnek İmalatta Takım Yönetimi

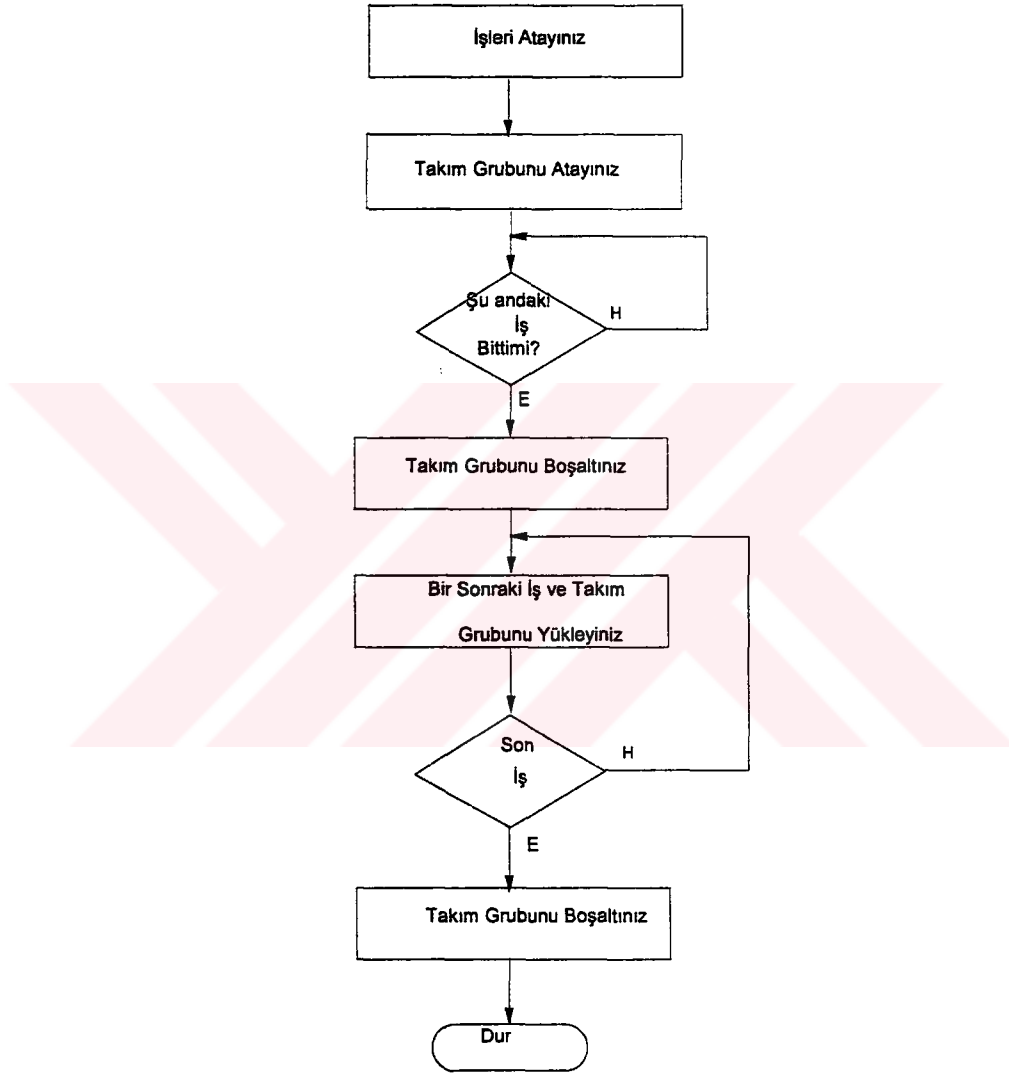
İş yönlendirmeli stratejiler:

1. Tam takım grubu stratejisi; en esnek ve en kolay kontrol edilebilen bu strateji; her parça ile bir grup kesici takım aynı anda tezgaha atanır ve iş bitince tüm takımlar kalan ömürlerine bakılmaksızın tezgahattan alınarak, yeni iş için yeni bir

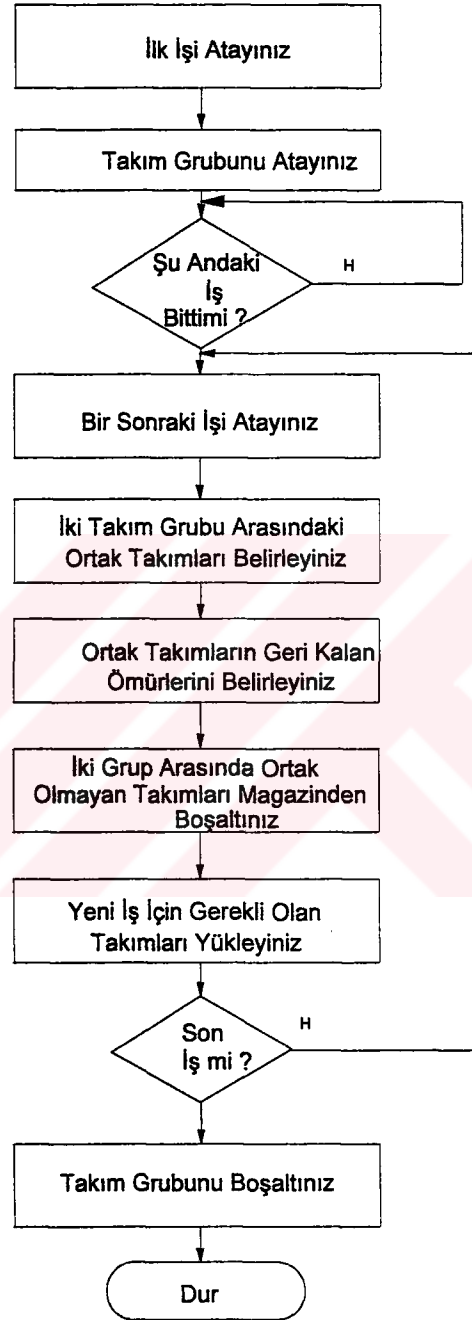
grup takım ataması yapılır (Şekil 4.1). İşler arasında takım ömrü paylaşmaya izin vermeyen bu stratejide takım ihtiyacı ve takım stok seviyesi oldukça yüksektir ve maliyeti fazladır.

2. Takım grubu paylaşımlı strateji; bir önceki stratejinin daha geliştirilmiş şekli olan bu strateji; birbirini takip eden işlerin ihtiyaç duyduğu takımlar arasında ortak ve yeterli ömrü kalmış takımların paylaşımı prensibi üzerine oturmıştır. Ortak ve yeterli ömrü olan takımlar, tezgah üzerinde bırakılır, önceki iş için atanmış ancak şimdiki iş için gerekmeyen ya da ömrü bitmiş takımlar ise tezgahından alınır, tezgah üzerinde bulunmayan farklı takımlar ise yeni olarak tezgaha yüklenir (Şekil 4.2). Takım ömrü paylaşımına izin verdiği için oldukça etkili ve ekonomik bir stratejidir.
3. Tek takım atama stratejisi (Şekil 4.3); üretim dönemi başında eğer magazin kapasitesi yeterli ise her takım çeşidinden bir adet olmak üzere, eğer magazin kapasitesi yeterli değilse en fazla kullanılan takımlar öncelikli olmak üzere tüm takımları iş istasyonları magazinine (PTS) yüklenen bu stratejide; yüklenmemiş ancak imalat sürecinin ilerleyen döneminde ihtiyaç duyulan takımlar ise daha önce kullanılmış ve artık ihtiyaç duyulmayan takımlarla yer değiştirilirler. Dolayısıyla iş istasyonlarına gelen tüm parçalar mutlaka ihtiyaç duyduğu takımları PTS'de bulurlar. Bu strateji, takım ömrü paylaşımı etkinliği açısından takım grubu paylaşımlı stratejiye göre daha güçlüdür. Takım değişimi işlemi, sadece magazin üzerinde mevcut takımlardan ömrü tükenen takımlar için tek olarak gerçekleştirilir. Ancak kısa süreli üretim dönemlerinde, üretim dönemi başında çok yüksek miktarda takım taşınması söz konusu olduğu için tercih edilmezler. Uzun dönem ve insansız imalatta çok etkin bir stratejidir.
4. Yerleşik takım grupları stratejisi; bu strateji, takım grubu paylaşımlı stratejiye benzer çalışmakla beraber, magazin başlangıçta boştur ve yeni iş atamalarında ömrü bitmiş takımlar hariç takım o anki iş için gerekli olmasa bile magazinden alınmadığından, magazin kademeli olarak üretim dönemi ilerledikçe ve yeni işler geldikçe doldurulur (Şekil 4.4). Belli bir süre sonra da tek takım atama stratejisi

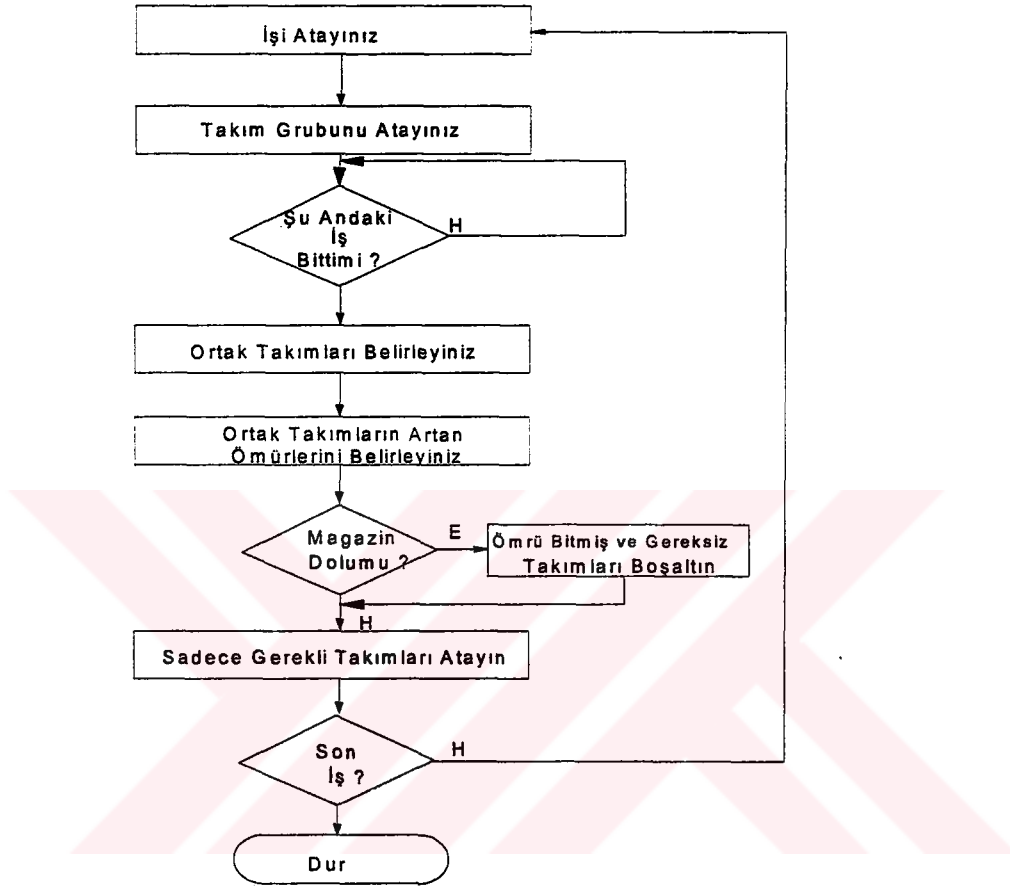
gibi çalışmaya başlar. Özellikle üretim döneminin başlangıcında çok yüksek miktarda gereksiz takım taşınmasının önlenmesi açısından, takım paylaşımında çok etkili ve ekonomik bir stratejidir.



Şekil 4. 1 Tam takım grubu stratejisinin çalışma prosedürü



Şekil 4. 2 Takım grubu paylaşımli stratejisinin çalışma prosedürü



Şekil 4. 3 Tek takım atama stratejisinin çalışma prosedürü

Takım Yönlendirmeli Stratejiler:

1) Statik Gruplama; takım gruplama stratejisi grup teknolojisi prensibine dayanmaktadır ve ilk olarak Japon takım tezgahı üreticisi Makino Max [223] tarafından geliştirilmiştir. Genellikle verilen bir imalat periyodunda kullanılmakta olan takımlar arasında belli bir dereceye kadar ortak özelliğe sahiptirler. Statik

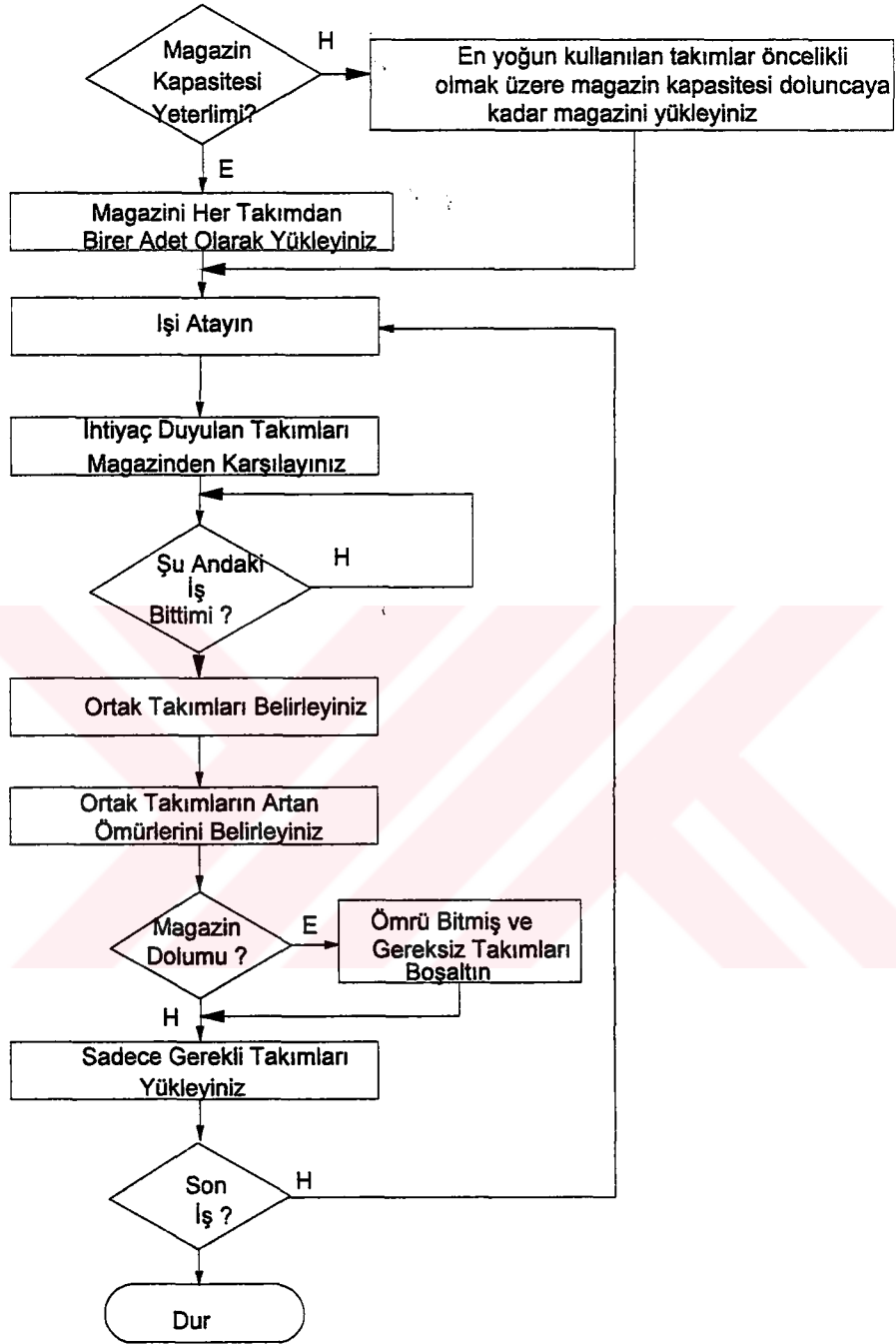
gruplama analizi aynı takım setini kullanan iş parçalarını gruplayarak sıralar ve gruplanmış takımlar ilgili parça aileleri ile birlikte ilgili makinalara atanırlar [224].

2) Dinamik Gruplama; bu strateji statik gruplama stratejisi üzerine bina edilmiştir. Takım parça matrisi defalarca gruplanarak ve her gruplamada ortaya çıkan grupçuklar orjinal matrinden çıkartılarak gerçekleştirilir. Dolayısıyla strateji daha etkili bir gruplama yeteneğine sahiptir. Çok hücreli ve çok makinalı sistemlerde başarıyla uygulanmaktadır ve etkili bir takım ekonomisi gerçekleştirmektedir [76].

3) Tam Gruplama Stratejisi; dinamik tam gruplama önceki statik gruplama üzerine bina edilmiştir. Fakat strateji hem gruplama hemde daha fazla gruplanmış set elde etmek için tekrarlı gruplama avantajına sahiptir. Strateji daha önce atanmış olan takım ve parça grupları operasyonu bitirdikten sonra tamamen yeni bir parça ve takım grubu ile değiştirilmesini öngörür. Takip eden parça takım setleri arasında takım ömrü paylaşımını göz önüne almaz.

4) Paylaşımlı Gruplama Stratejisi; bu strateji tam gruplama stratejisinin daha gelişmiş bir halidir. yaklaşım takım ömrü paylaşımını göz önüne alır ve aynı makinadaki birbirini takip eden gruplar arasında ortak takımların ömrü kalanları arasında paylaşımı göz önüne alır. Eğer daha önceki atanmış olan takım seti arasında yer alan takımlardan ömrü artmış olanlarla, yeni atanan takım grubu arasında bir önceki sette ömrü artan takımlarla ortak olan takımlar magazinde tutulur diğerleri ise yeni olarak atanır.

5) Yerleşik Gruplama Stratejisi; bir dereceye kadar iş yönlendirmeli yerleşik takım grubu stratejinin takım yönlendirmeli versiyonudur ve atanmış olan takım gruplarını magazin kapasitesi doluncaya kadar tezgah üstünde tutar. Sadece ömrü bitmiş olan takımları ve magazin üzerinde bulunmayan ama gerekli olan takımların değişimini öngörür.



Şekil 4. 4 Yerleşik takım grubu stratejisinin çalışma prosedürü

4.5. Yeniden Dönüşüm (Recycle)

Tipik hücresel takım yönetim sistemi, hücre içindeki birçok değişik faaliyetten sorumludur. Takım Yönetim Sisteminin temel sorumluluğu, siparişlerin işlenmesi için gerekli olan uygun takımların temin edilmesi, hazırlanması ve doğru takımların doğru zamanda doğru yerde bulunmasını sağlamasıdır. 8 makinelik tipik bir EİS'de (Esnek İmalat Sistemi) takım sayısı 2000'ler civarında olabilir. Ortalama takım maliyeti bütün hücre maliyetinin %15 ine kadar çıkabilir. EİS'de bu takımların çoğu ya kısmen kullanılır ya da Birincil Takım Deposu'na (STS) veya Merkezi Takım Deposu'na (CTS) geri gönderilerek üretim periyodunun sonuna kadar tekrar kullanılmaz. Yeni bir üretim periyodu için, yeniden bilenebilir takımlar arasındaki kısmen kullanılmış takımların merkezi takım deposuna yeniden bilenebilir üzere gönderilmesi takımların kullanılmayan ömürlerinden dolayı fazladan bir maliyet getirir. Takımların tüm ömürlerini kullanmadan yeniden bilenebilir üzere merkezi takım deposuna gönderilmesi, takımların erkenden hurdaya atılmasına ve gereksiz yere hücre içerisinde fazladan takım stoku tutulmasına neden olur.

Aşırı takım depolanmasını, takımların yenilenmeye erken yollanmasını ve ömrü bitmeden atılmasını önlemenin etkili bir yolu ; kısmen kullanılan ve halen kullanılabilir olan takımları, yıpranan (aşınan) takımları bilemek (yenilemek) ve yeniden kullanıma sokmaktır. Yeni takımlar EİS'de hiyerarşik bir sıra izlerler, yani fabrika temelli Merkezi Takım Deposu'ndan (CTS), hücre temelli İkincil Takım Deposu'na (STS) ve buradan da makine temelli Birincil Takım Deposuna (PTS) gönderilir. Bir makinedeki kısmen kullanılmış olan ama hala kullanılabilir ömrü bulunan takımlar, makine içerisinde ikinci kez kullanılmayacak ise STS'ye geri gönderilir ve hücre içerisindeki makinelerden biri o takımı isteyene kadar orada kalır. Tamamen kullanılan takımlar doğrudan CTS'ye gönderilir.

Yeniden dönüşümü daha standardize ve daha güçlü kılmak için birtakım kurallar geliştirilmiştir. Bu kurallar aşağıda sıralanmıştır:

1. Kullanılabilir takım ömrü, orjinal takım ömrünün daima % 90'dır ve bu takım ömrüne "izinverilebilir takım ömrü" denir. İzinverilebilir takım ömrünün sonuna ulaşan bir takım "aşınmış takım" olarak sınıflandırılır.
2. Kısmen kullanılmış bir takımın izinverilebilir takım ömrü, başlangıçtaki takım ömrünün en fazla %80' i kadar kullanılmış olan vede aynı makineye yollanan bir sonraki iş tarafından ihtiyaç duyulmayan bir takımdır.
3. Kullanılabilir takım ömrünün hala %20'si kalan, kısmen kullanılmış bir takım, üretim periyodu boyunca daha sonra kullanılmak üzere STS'ye gönderilir.
4. Eğer kısmen kullanılmış bir takımın, geriye kalan takım ömrü izinverilebilir takım ömrünün %20'sinden daha az ise bu takıma "aşınmış takım" denir ve CTS'ye gönderilir.
5. STS'de tutulabilecek olan kısmen kullanılmış takımların sayısı hücrede mevcut olan makinelerin sayısını geçemez. Eğer geçerse en az takım ömrüne sahip olan takım CTS'ye gönderilir.
6. Hücredeki bir makine tarafından, bir takıma ihtiyaç duyulduğu zaman önce PTS araştırılır. PTS'de yok ise STS'ye bakılır ve eğer kısmen kullanılmış bir takım mevcut ise ilgili makineye önce bu takım yollanır. Eğer STS'de kısmen kullanılmış takım mevcut değil ise ozaman yeni bir takım devreye sokulur
7. Eğer aynı tip takımdan birden fazla kısmen kullanılmış takım varsa STS'den önce daha çok kullanılabilir ömrü olan yollanır.
8. Sistemde mevcut olan hertip takımın sayısı sınırlıdır ve yenilenebilir (Bilenabilir) olan aşınmış takımlar CTS'de yenilenebilir. Bilenmiş takımlara ilk takım ömründen %10 az olan yeni takım ömrü verilir ve hücreye gönderilir. Yenileme 10 defaya kadar tekrar edilebilir. Onuncu bilemeden sonra takım hurdaya atılır.
9. Bazı takımlar bilenemez ve aşınca doğrudan hurdaya atılır.
10. Aynı takım tipleri daima rasyonelleştirilmiştir ve de EİS'de kullanılan takım yönetme ve takım harcama stratejisinin hızına bağlı olarak takımlar belli zaman aralıkları ile satın alınır.
11. Makineler arasında takım transferi yasaktır. Takım trafiği daima hiyerarşik düzendedir. Yani CTS'den STS'e oradan da PTS'e gönderilir aynı düzen tersten de işler.

4.5.1.Yeniden dönüşüm operasyonu

Hücredeki tezgahlar tarafından kullanılan takımlar, kullanıldıktan sonra, kalan ömrü, izin verilen ömrü'nün %20'sinin altında ise bu takım aşınmış takım kabul edilmektedir. Aşınan takımlar doğrudan CTS'ye gönderilir. Eğer, aşınmış takımlar yeniden bilenebilir statüsünde ise, bu takımlar yeniden bilenererek yeni bir takım ömrü alırlar. Bu genellikle orijinal ömrün %90'nına tekabül etmektedir. Bu takımlar gerektiği zaman tekrar STS e kullanılmak üzere gönderilirler. Şayet %20 ömründen daha büyük ise o zaman STS'ye yani İkincil Takım Deposu'na gönderilir. Yeni bir takım istendiğinde önce PTS'e yani Birincil Takım Deposuna Bakılır ve eğer yarı kullanılmış, yani yeniden kullanılabilir statüde bir takım mevcutsa bu takım tercih edilir. Şayet PTS'de yarı kullanılmış takım mevcut değilse, o zaman STS'ye bakılır ve burada kullanılabilir statüde takım mevcutsa bu takım kullanılmak üzere ilgili tezgaha gönderilir. Şayet STS'de kısmen kullanılmış aynı takımlardan birden fazla ise ekonomik ömrü fazla olan önce tercih edilir.

4.6. Takım Kısıtı Altında Çizelgeleme

Bir çok araştırmacının belirttiği gibi parça atama, tezgah dengeleme, üretim oranı ve takım atama problemleri birbirleri ile ilişkilidir ve bu ilişki gözönüne alınmazsa önerilen çözüm yeterli olmayabilir. Parça çizelgeleme, belirli zamanda belirli istasyondaki işlerin kümesini hazırlayabileceği, sıralamaya karar verme ve herbir operasyonun başlama ve bitiş zamanlarını hesaplama gibi imalat operasyonlarının gerçekleşmesini sağlar. Takım yönetimde, bir iş için doğru yerde, doğru zamanda ve doğru miktarda doğru takımların atanmasını amaçlar. İmalat operasyonları farklı iş merkezlerinde büyük sayıda takım gerektirdiğinden sınırlı kapasiteli magazinle, iş merkezlerine sınırlı takım sayısı atamak önemli hale gelmiştir.

Bazen çeşitli çizelgeleme programlarında göz önüne alınan bazı kriterler sistemde sorunlara neden olabilir. Dolayısıyla parça çizelgeleme ve takım yönetimi problemlerini beraber gözönüne almak gerekir. Bununla beraber en iyi parça ve takım çizelgeleme kombinasyonunu belirlemek genellikle zordur.

BÖLÜM 5. MODEL TANIMI VE ARAŞTIRMANIN AMAÇLARI

5.1. Giriş

Bu bölüm, tez amacıyla gerçekleştirilen araştırmanın amaçlarını, kurulan modelin tanımını ve model kurmada kullanılan yaklaşımın metodunu vermektedir.

5.2. Araştırmanın Amacı

Bu tezin amacı genelde otomatize imalat sistemlerinde, özelde esnek imalat sistemlerinde iki temel dinamik nesne olan iş parçalarının ve bunların operasyonunda kullanılmak zorunda olan kesici takımların imalat sistemi içerisindeki akışlarının sistemin tümü üzerindeki etkisini çeşitli performans kriterleri açısından araştırmaktır. Bu amaçla literatür ve pratikte uygulanmakta olan çeşitli parça ve takım çizelgeleme yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılanlar seçilerek sistem çeşitli konfigürasyonlarla sınanmış ve sistemin reaksiyonu analiz edilmiştir. Literatürde sıkça rastlanılan (Bakınız. Bölüm 2) parçaların ayrı, takımların ayrı incelendiği sistemlerin yerine daha gerçekçi olan ve öyle olması da zorunlu olan, parçaların ve takımların aynı anda gözlemlendiği bir sistem gözönüne alınmıştır, parça ve takımların birlikte akışı aynı anda tasarlanmış ve analiz edilmiştir.

Bu amaçla sistemin tüm davranışlarını yansıtabilecek bir modelleme gereği ortaya çıkmış ve bu da sistemin simülasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Simülasyonun tercih edilmesindeki en temel gerekçe, Bölüm 2'de anlatılan modelleme yöntemleri içinde, böyle bir sistemi modellemede kullanılabilir en uygun yöntem olduğudur.

Modelleme, diğer yöntemlerden farklı olarak zamana bağlı olarak sistemin tüm ayrıntılarını yansıtabilmekte ve sistemin davranışı hakkında yeterli çıktı

üretebilmektedir. Bu ise sistemin çeşitli strateji ve donanımlarla çalışması durumunda ne tür bir davranış gösterdiği ve bu davranışlar karşısında kullanıcının neler yapması gerektiği konusunda yeterli ip uçları vermektedir. Bu modelleme çerçevesinde bu araştırmadan aşağıda listelenen hedefler amaçlanmıştır:

- Otomatize bir sistemde parçaların ve takımların akışları birlikte incelenerek sistem üzerinde ne tür bir etki oluşturduğu ve sistemin davranışlarını nasıl etkilediğini açıklayabilmek,
- Pratikte ve literatürde yaygın olarak kullanılan parça çizelgeleme ve takım akışı çizelgeleme stratejilerinden hangilerinin sistemin davranışını nasıl etkilediğini ve bunlar içinden en başarılı olarak çalışan çifti belirlemek,
- Belli bir üretim programıyla çalışan bir otomatize imalat sisteminin, sistem performansını eniyileyecek olan donanım konfigürasyonunu belirleyebilmek,
- Alternatif donanım konfigürasyonları ile ve aynı donanımda kritik donanımların alternatifleri kullanıldığında (Alternatif OTA ve magazin kapasiteleri gibi) sistem performansının nasıl etkilendiğini belirleyebilmek,
- Daha önceki literatürlerde hiç rastlanmayan ancak pratikte zaman zaman yapılagelen, kesici takımların yeniden dönüşümünü sağlama durumunda sistemin performansının nasıl etkilendiğini ve sistem ekonomisine olan katkısı, bu tezde araştırılması amaçlanan ve gerçekleştirilen başlıca noktalardır.

5.3. Model Tanımı

Bu çalışmada ele alınan sistemin gereği olarak model kesikli bir simülasyon modelidir. Modelde temel olarak ele alınan varlıklar (entity) aşağıda verilmiştir.

Varlıklar:

Sisteme girişte işlenmeye hazır durumda ve parti halinde 30 çeşit parça, sistemden çıkışta montaja hazır durumda yarı mamul halindedir.

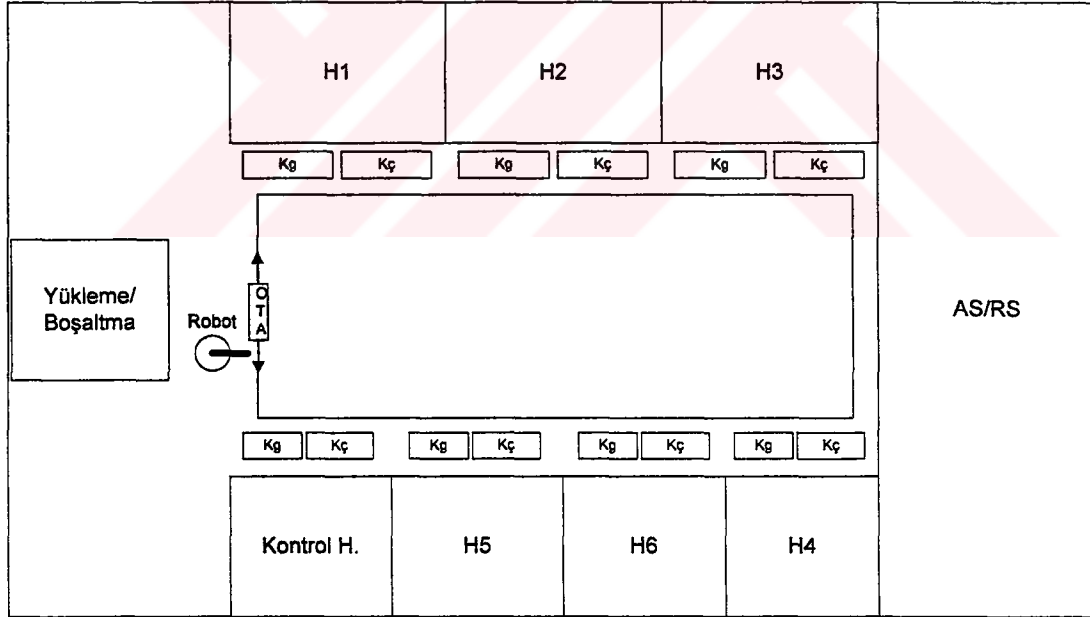
Sistem gelen parçaları işlemek üzere 80 çeşit takım kullanılmaktadır.

Kaynaklar:

1. Küçük prizmatik parça tezgahı
2. Büyük prizmatik parça tezgahı
3. Küçük silindirik parça tezgahı
4. Büyük silindirik parça tezgahı
5. Prizmatik parça taşlama tezgahı
6. Silindirik parça taşlama tezgahı
7. Kontrol elemanı
8. Yükleme/Boşaltma robotu

Taşıyıcılar:

1. Otomatik taşıma aracı (OTA)
2. Takım taşıma robotu



H1: Küçük prizmatik parça hücresi
H2: Büyük prizmatik parça hücresi
H3: Küçük silindirik parça hücresi
H4: Büyük silindirik parça hücresi
H5: Prizmatik parçalar için taşlama hücresi

H6: Silindirik parçalar için taşlama hücresi
AS/RS: Otomatik depolama ve geri alma sistemi
Kg: Hücre giriş kuyruğu
Kç: Hücre çıkış kuyruğu
OTA: Otomatik taşıma aracı

Şekil 5.1 Sistemin yerleşim planı

Stok alanları

1. Sisteme giriş stoğu
2. Hücre giriş stoğu
3. Hücre çıkış stoğu
4. Otomatik depolama ve geri alma sistemi stok alanı

5.4 Modelleme Özellikleri

Sistemde bazı değerler literatürde yaygın olarak kullanılan belli olasılık dağılımlardan rassal olarak elde edilmiştir. Bu değerler aşağıda verilmiştir.

- **Gelişler arası süre;** bu değer sisteme gelen parçalar arasındaki süreyi vermektedir, bu gelişler parti (process batch) şeklinde olmakta ve bu sürenin tespiti için ortalaması 85 dk. olan üstel dağılım kullanılmıştır.
- **Parça tipinin tespiti;** sisteme girişler 3 hücre üzerinden olabilmektedir ve bu nedenle parçalar 3 grupta değerlendirilmiştir. Parça tipine göre gruplar ise; 1 ile 11 arası parçalar birinci grup, 12 ile 18 arası parçalar ikinci grup ve 19 ile 30 arası parçalar üçüncü gruptur. Parçanın bu üç gruptan birisine ait olma ihtimali eşittir ve grup tespit edildikten sonra grubu oluşturan parçalardan herhangi birisi olma ihtimali de eşit olarak alınmıştır.
- **Teslim tarihi belirlemede;** TWK (Total Work) yaklaşımı uygulanmış ve bu tarihinin belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\text{Teslim Zamanı} = \text{Geliş Zamanı} + 5 * \text{ND}(1250,150)$$

Burada ND(1250,150) ifadesi; ortalaması 1250 ve standart sapması 150 olan normal dağılımdan elde edilecek rassal değeri ifade etmektedir. Alınan bu değerler bir partinin sistemde ortalama kalma süresi gözönüne alınarak belirlenmiştir.

- **Tezgah bozulmaları ve bakımlar arası süre;** sistemde tezgahlarda meydana gelebilecek iki bozulma veya bakımlar arasındaki sürenin belirlenmesinde, ortalaması 660 dk. olan üstel dağılım kullanılmıştır.

- **Bozulan tezgahın tespiti;** sistemde hücrelerde bulunan tezgahlar benzer olduğundan, bozulan tezgahın tespiti için hücre belirlenmiş ve bu hücredeki çalışır durumda olan tezgahlardan bir tanesi tamir veya bakım süresi boyunca servis dışı bırakılmıştır ve bozulan veya bakımdaki tezgahın bulunduğu hücrenin tespitinde de ihtimaller eşit alınmıştır.
- **Bozulan tezgahın tamir veya bakım süresi;** bu süresinin belirlenmesinde ortalaması 60, standart sapması 10 olan normal dağılım kullanılmıştır.

5.4.1 Üretim süresi ve sistemin çalışma prensipleri

Çalışmada bulunan tüm EİS'leri; günde 3 vardiya, her vardiya 8 saat ve ayda 30 gün çalıştığı kabul edilerek modellemeleri yapılmıştır. Toplam simülasyon $60 \times 8 \times 3 \times 30 = 43200$ dk. olarak alınmıştır.

Sistem aşağıda belirtilen kabullere ve algoritmaya göre simülasyon gerçekleştirilmiştir.

1. Sisteme gelen parçalar yükleme /boşaltma istasyonunun önünde beklemekte ve sisteme 3 hücre üzerinden parça girişi yapılabilmektedir. Bunlar 1 ile 11 arası parçalar prizmatik küçük parçalar, 12 ile 18 arası parçalar prizmatik büyük parçalar ve 19 ile 30 arası parçalar silindirik küçük parça hücreleridir. Gelen partiler yukarıda belirtilen gruplamaya göre ayrı alanlarda bekletilmektedir.
2. Şayet bu hücrelerin giriş ara stoğunda bekleyen paletlerin sayısı 6'nın altında ise ve bu hücreye gitmek üzere girişte bekleyen parti var ise ve AS/RS de bu hücreye gönderilmek üzere bekleyen palet yok ise kullanılan çizelgeleme kuralına göre bir parti belirlenir.
3. Seçilen partinin kullandığı paletten yükleme/boşaltma istasyonunda var ise kullanılan paletin kapasitesine göre parti bölünür. Uygun palet yok ise başka bir parti belirlenir.
4. Bölünen partiler yukarıdaki kuralları bozmamak şartı ile birer birer sisteme sokulur.
5. Tezgaha gönderilmek üzere palete yüklenmiş parçaları taşımak için en yakın ve uygun olan OTA çağrılır.

6. Yükleme/boşaltma istasyonuna gelen OTA'na robot yardımı ile yükleme yapılır ve palet ilgili tezgaha gönderilir.
7. Tezgaha gelen OTA'daki palet hücre giriş ara stoğuna bırakılır ve OTA serbest bırakılır.
8. Hücre giriş ara stogunda bulunan paletler geliş sırasına göre tezgaha alınırlar.
9. Tezgaha parçaların bağlanması, parça işleme programlarının yüklenmesi ve gerekli takımların yüklenmesi yapılır.
10. Daha sonra palettteki tüm parçalar için gerekli operasyonlar tezgah tarafından gerçekleştirilir.
11. Tezgahta işlemi biten parçanın gideceği bir sonraki hücrenin giriş ara stoğu kontrol edilir.
12. Gideceği hücre müsait değil ise palet çıkış ara stoğuna alınır. Şayet hücre çıkış ara stoğunun kapasitesi dolu ise palet AS/RS stok alanına gönderilmek üzere OTA çağırılır ve palet AS/RS stok alanına bırakılır. Gideceği hücre müsait ise palet gideceği hücreye götürülmek üzere OTA çağırılır.
13. Palet için bir sonraki hücrede de bu işlemler 7. adımdan itibaren tekrarlanır.
14. Şayet palet kontrol hücresinden çıkıyor ise paletin üstündeki parçaları sistemden çıkarmak amacıyla yükleme/boşaltma istasyonuna gönderilir.
15. Robot yardımı ile palet indirilir ve paletin üstündeki parçalar sökülür.
İşlemleri tamamlanan parçalar depoya gönderilir.

Ayrıca AS/RS stok alanında bekleyen paletler, gönderilmek üzere bekletildikleri hücrenin müsait olduğu ilk anda gönderilir.

5.5. Simülasyon Paketi, Özellikleri ve Kısıtları

SIMAN, proses bazlı, olay bazlı veya her ikisinin kombinasyonu ile modelin kurulabileceği bir simülasyon dilidir. Genel bir uygulamada, simülasyon modellerinin çoğu proses yönlendirme kullanarak geliştirilir. Proses yaklaşımında modellenmesi güç olan karmaşık karar mantığı, olay alt rutinleri ile modellenabilir ve proses modelinden çağırılabilir. SIMAN Denis Pedgen tarafından 1982'de geliştirilmiş ve System Modeling Corporation tarafından sunulmuştur. Micro bilgisayarlar için mevcut ilk simülasyon dili olduğundan ve iş istasyonlarını,

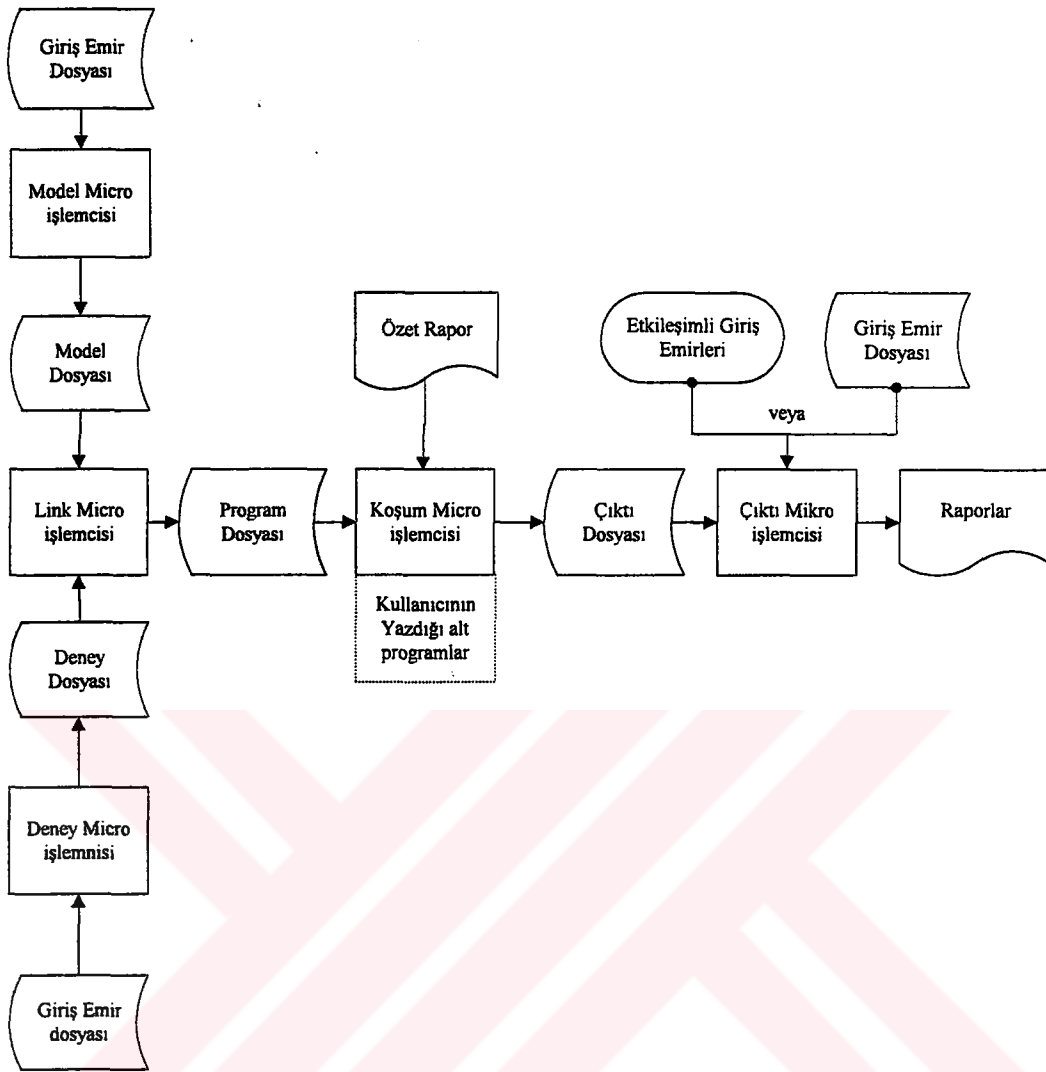
taşıyıcıları, konveyörleri ve otomatik taşıma araçlarını modellenmesini içerdiğinden dolayı çabuk kabul görmüştür. SIMAN ile birlikte kullanılabilen CINEMA, yüksek kalitede animasyon gerçekleştirebilme kabiliyetine sahiptir. Bu dillerin piyasaya sürülen son versiyonları ARENA adını almıştır ve Windows ortamında kullanılabilir.

SIMAN proses simülasyonunu iki ayrı program yardımı ile gerçekleştirir. Bunlar; model program ve deneysel programdır. Model programda bloklar tabir edilen program yapıları, sistemin varlıkları ile kaynaklarının dinamik olarak karşılıklı etkileşimiyle sistemin çalışma mantığını tarif etmek için kullanılır. Her bloğun bir sembolik gösterimi vardır ve bu semboller sistemin varlıklarının akışını grafiksel olarak tarif edebilen blok diyagramları ile birleştirilebilir.

Deneysel programda ise mevcut simülasyon koşumu veya koşumları için model programda kullanılan parametrelerin değerleri (örneğin: ortalama servis zamanı, gelişler arası süre v.s) tanımlamak, kaynak tipleri ve miktarlarını tarif etmek, kullanılan taşıma aracının tanımlanması ve istenen çıktı istatistiklerini düzenlemek için kullanılır. Bu model ve deneysel ayrımı, model programı yeniden derlemeden ve sadece deneysel programda bazı parametre değerlerinde değişiklik yaparak simülasyoncuya aynı model üzerinde ayrı koşumlar gerçekleştirme imkanı tanır. SIMAN simülasyon dili ile yazılan programların kullanımı Şekil 5.2'de verilmiştir.

SIMAN çıktı işlemcisi, simülasyon koşumu sırasında üretilen veriler üzerinde güven aralıkları ve hipotez testleri gibi istatistiksel prosedürlerin gerçekleştirilmesine imkan verir. Ayrıca, simülasyon koşumu sırasında değişkenlerin aldıkları değerlerin histogram ve bar grafiklerinin oluşturulmasında mümkündür.

SIMAN simülasyon paketi gerek micro bilgisayarlarda gerekse bilgisayar ağlarında kullanılması mümkündür. SIMAN programlarının rahatlıkla yazılabilesine imkan tanıyan BLOCKS ve ELEMENTS isimli editör programları da mevcuttur [225].



Şekil 5. 2 SIMAN simülasyon dilinin organizasyonu [226]

BÖLÜM 6. SİMÜLASYON UYGULAMALARI

6.1. Giriş

Bu bölümde Siman Simülasyon dili kodlarıyla alternatif EİS'leri modellenmiş ve analizleri yapılmıştır. Alternatif modellerin donanım ve işletim stratejileri ile birlikte sistem hakkında alınan kabuller ve sistem analizinde temel alınan performans kriterleri verilmiştir. Her bir alternatif ayrı bir senaryo biçiminde tasarlanarak, her senaryo hem parça çizelgeleme, hem de takım yönetimi açısından analiz edilmiş, bulunan sonuçlar grafik ve tablolar yardımıyla sunulmuştur.

6.2. Sınırlar ve Amaçlar

Çalışmaya esas teşkil eden EİS'leri; küçük prizmatik parça hücresi, büyük prizmatik parça hücresi, küçük silindirik parça hücresi, büyük silindirik parça hücresi, prizmatik parçalar için taşlama hücresi, silindirik parçalar için taşlama hücresi ve her parçanın geçtiği kontrol hücrelerinden meydana gelmektedir.. Sistem içerisinde parçaların taşınması için kullanılan otomatik taşıma aracı (OTA) ve takımların taşınmasında kullanılan bir robot, ayrıca sisteme parça girişi ve çıkışı sağlayan yükleme/boşaltma istasyonunda da bu işlem için ayrıca bir robot bulunmaktadır. Sistemde her bir hücrenin önünde iki adet ara stok (giriş ve çıkış) ile sistemin kilitlenmesini önlemek amacıyla bir otomatik depolama ve geri alma sistemi (AS/RS) vardır. Bu sistemin şematik gösterimi Şekil 5.1'de verilmiştir.

Sistemde 18 adedi prizmatik, 12 adedi silindirik parça olmak üzere toplam 30 çeşit parça üretilmekte olup, bu parçalar sistemde 5 farklı rotada hareket etmektedir ve prizmatik parçaların taşınması için 5 tip palet kullanılmaktadırlar. Bu bilgiler Tablo 6.1 de verilmiştir.

Sistemin simülasyonu yapılırken aşağıdaki kabuller alınmıştır.

- Sisteme gelen parçaların parti büyüklükleri (process batch) parça tipine göre sabittir.
- Sisteme girmek üzere bekleyen işlerin (partilerin) maksimum sayısı (process batch bazında) 100 'dür. Eğer parti büyüklüğü 100'ün üzerine çıkılırsa sipariş iptal edilmektedir.
- Sistem içerisinde bulunan kuyruklar ilk gelen ilk çıkar kuralına göre düzenlenmiştir.
- Yükleme ve boşaltma istasyonlarındaki robotun yükleme ve boşaltma süresi toplam bir dakikadır.
- Her bir parçanın tezgahlarda işleme süreleri birbirinden farklı ve sabittir.
- Hazırlık zamanları parçaların işlenmesi için gerekli takım grubu sayısına göre değişmektedir. Her bir takım için 0.5 dk. ve program ve parça yüklemesi için ise her parça tipi için farklı sabit süreler alınmıştır.
- Simülasyon başlangıcında sistemde parça bulunmamaktadır.
- AS/RS'de bekleyen paletlerin toplam sayısı 70'in üzerine çıktığında sisteme parça girişi kesilmektedir.

Bu çalışmada; yukarıda belirtilen donanımına sahip EİS'lerinin kabul edilen işletim stratejileri altında sistem performansının nasıl etkileneceğini, EİS'lerinin ne tür davranış sergileyeceğini ve üretimin bundan nasıl etkileneceğini aşağıda verilen performans ölçütleri yardımıyla belirlenmiştir.

6.2.1. EİS'nin performansı ve performans etkileşimi

Bu çalışmada; imalat sisteminin performansı ve takım yönetimi açısından sistem performansı olmak üzere EİS'nin performansı iki katogoride incelenmiştir.

İmalat sistemi performansı olarak ele alınan kriterler şunlardır:

- **Ortalama akış zamanı;** çalışmada parçaların sisteme geldiği an ile sistemden çıktığı an arasındaki sürelerin ortalaması alınmak sureti ile elde edilmiştir.

- **Ortalama sistem verimi;** her bir hücrenin verimi ayrı ayrı tespit edilmiş ve bulunan bu değerlerin ortalaması alınmak sureti ile elde edilmiştir. Bu verimlerin hesaplanmasında hazırlık zamanının verimin içerisinde olduğu kabul edilmiştir.
- **OTA verimi;** otomatik taşıma aracının ortalama kullanım verimini göstermektedir.
- **Ortalama palet ihtiyacı;** sistemde kullanılan 5 tip paletin simülasyon boyunca ortalama kullanım adedini göstermektedir.
- **Sistem önünde bekleyen iş sayısı;** sisteme girmek üzere sistemin önünde bekleyen işlerin ortalamasını göstermektedir.
- **Ortalama geçikme zamanı;** sisteme girmek üzere gelen partilere verilen teslim zamanı, sistemden çıkan parçaların çıkış zamanları ile karşılaştırılarak hesaplanmıştır. Eğer gecikme oluşmuşsa bunların ortalamasını göstermektedir.
- **Bitmiş parti adedi;** sisteme girmek üzere gelen partiler (proses batch) kullanılan palet kapasitesine göre bölünmekte (transfer batch) olup, bu kriter işlemleri bitmiş toplam bölünmüş partilerin (transfer batch) sayısını göstermektedir.
- **Geciken parti adedi;** sistemde teslim zamanına göre geciken bölünmüş partilerin adedini göstermektedir.
- **Bitmiş parça adedi;** sistemde yapılması gereken işlemleri tamamlanmış olan parça adedini göstermektedir.

Takım yönetimi açısından kabul edilen kriterler şunlardır:

- **Toplam kullanılmış takım adedi ;** bu kriterde sisteme girip kullanılan ve bir daha kullanılmamak üzere ayrılan takımların adedi verilmektedir. Takım yönetimi stratejilerinde (tam takım grubu, takım grubu paylaşımlı, tek takım atama ve yerleşik takım grupları); kullanılmak üzere tezgaha gelmiş takımlar tekrar geri gönderildiği anda; kalan ömrüne bakılmaksızın kullanılmış takım kabul edilmişlerdir. Tekrar kullanıma izin veren yeniden dönüşümlü stratejide (recycle strategy) ise; bir takımın kullanılmış takım olabilmesi için ömrünün en az %80'ninin kullanılmış olması gerekmektedir. Takım ihtiyacı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\text{Takım İhtiyacı} = \sum_{K=1}^n \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m (\text{Operasyon.Zam.}_{kij} * \text{Parti.Hacmi}_{ki}) / \text{Takım Ömrü}_j$$

$j= 1, 2, \dots, m$ takım sayısı

$i= 1, 2, \dots, l$ işlem göreceği tezgah sayısı

$k= 1, 2, \dots, n$ iş sayısı

- **Takım kullanım oranı;** bu kriterde kullanılan tüm takımların toplam ömürlerinin yüzde kaçınının kullanıldığı verilmektedir.

$$\text{Tak.Kul.Oranı} = \left(\sum_{K=1}^n \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m (\text{Kullanılan Zam.}_{kij} / \text{Tak. Ömrü}_j) \right) / \text{Top.Tak.Sayısı}$$

$j= 1, 2, \dots, m$ takım sayısı

$i= 1, 2, \dots, l$ işlem göreceği tezgah sayısı

$k= 1, 2, \dots, n$ iş sayısı

- **Tamamen kullanılmış takım adedi;** bu kriterde simülasyon koşumu boyunca parçaların işlenmesi esnasında ömürleri tamamen kullanılmış takım adedi verilmektedir.
- **Temel takımlar;** tezgaha gelmiş bir palet üzerindeki parçaların işlenebilmesi için gerekli olan takımlardan her hangi birisinden bir veya birden fazla takıma ihtiyaç duyuluyorsa; bu takımların ilk takımına temel takım, diğerlerine ise temel olmayan (kardeş) takım adı verilir. Bu hesaplama, tüm simülasyon koşumu boyunca toplam temel takım adedini verir.

Çalışmada takım yönetimi stratejileri ile çizelgeleme stratejileri arasında nasıl bir etkileşim olduğu, yukarıda verilen performans kriterleri yardımı ile incelenmekte ve bunun sisteme yansımalarının analizi yapılmaktadır.

6.3. Sistemde Kullanılan Veriler ve Sistemin Çalışması

Sistem içerisinde işlenen 30 çeşit parçaya ait rota, kullandığı palet tipi, kullandığı paletin kapasitesi, toplam hazırlık zamanı, toplam işlem zamanı ve parti büyüklükleri Tablo 6.1'de verilmiştir. Parçaların kullanmış olduğu takımlar ve ilgili işlem süreleri de Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6. 1 Parçalarla ilgili veriler

Parça Tipi	Rota	Kull. Palet Tipi	Palet Kapasitesi	Toplam Haz. Zam.	Toplam İşlem Zam.	Parti Büyüklüğü
Parça 1	H1 - H5 - H7	C	5	36	78	10
Parça 2	H1 - H5 - H7	B	4	33	94	12
Parça 3	H1 - H5 - H7	A	8	41	60	16
Parça 4	H1 - H5 - H7	A	8	30	67	16
Parça 5	H1 - H5 - H7	B	4	46	81	12
Parça 6	H1 - H3 - H5 - H7	C	5	67	98	10
Parça 7	H1 - H3 - H5 - H7	C	5	63	83	10
Parça 8	H1 - H3 - H5 - H7	C	5	62	98	10
Parça 9	H1 - H3 - H5 - H7	B	4	49	104	12
Parça 10	H1 - H3 - H5 - H7	A	8	46	123	16
Parça 11	H1 - H3 - H5 - H7	A	8	44	116	16
Parça 12	H2 - H4 - H5 - H7	E	8	47	108	16
Parça 13	H2 - H4 - H5 - H7	D	2	39	76	10
Parça 14	H2 - H4 - H5 - H7	E	8	43	70	16
Parça 15	H2 - H4 - H5 - H7	D	2	44	79	10
Parça 16	H2 - H4 - H5 - H7	E	8	55	62	16
Parça 17	H2 - H4 - H5 - H7	D	2	43	98	10
Parça 18	H2 - H4 - H5 - H7	E	8	41	74	16
Parça 19	H4 - H2 - H6 - H7	-	1	62	132	10
Parça 20	H4 - H2 - H6 - H7	-	1	58	155	10
Parça 21	H4 - H2 - H6 - H7	-	1	39	135	10
Parça 22	H4 - H2 - H6 - H7	-	1	42	113	10
Parça 23	H4 - H2 - H6 - H7	-	1	50	140	10
Parça 24	H4 - H2 - H6 - H7	-	1	46	93	10
Parça 25	H3 - H6 - H7	-	1	28	44	10
Parça 26	H3 - H6 - H7	-	1	23	56	10
Parça 27	H3 - H6 - H7	-	1	24	56	10
Parça 28	H3 - H6 - H7	-	1	25	51	10
Parça 29	H3 - H6 - H7	-	1	17	61	10
Parça 30	H3 - H6 - H7	-	1	19	49	10

Tablo 6. 2 Parçaların Kullandığı Takımlar ve İşlem Süreleri

Parça Tipi	Hücrelerde Kullanılan Takımlar ve İşlem Süreleri
Parça 1	H1:T5,T8,T14(15,18,22) H5:T54,T55(10,8)
Parça 2	H1:T11,T17,T25,T42(8,13,27,17) H5:T51,T63,T65(12,8,2)
Parça 3	H1:T3,T15,T17(11,6,13) H5:T63,T66(12,8)
Parça 4	H1:T5,T9,T10,T14(13,19,2,3) H5:T55,T58,T70(6,10,8)
Parça 5	H1:T1,T4,T12,T15,T20(8,5,14,20,6) H5:T52,T53,T56(6,8,5)
Parça 6	H1:T6,T13,T18,T19,T47,T49,T50(6,11,7,5,8,5,6,5,1) H3:T77,T78(13,9) H5:T57,T62(14,9)
Parça 7	H1:T2,T7,T21,T30(12,16,13,7) H3:T71,T79(9,6) H5:T59,T64,T67(4,3,5,6,5)
Parça 8	H1:T22,T31,T35,T46(8,5,11,4,5,12) H3:T72,T79,T80(13,11,10) H5:T60,T68,T62(11,5,5)
Parça 9	H1:T16,T23,T36,T43,T48(4,5,8,11,5,5,4) H3:T76,T73(14,26) H5:T61,T52,T57(10,6,9)
Parça 10	H1:T28,T29,T32,T33(21,8,12,3) H3:T74,T75,T80(24,16,12) H5:T58,T61,T68(6,8,8,)
Parça 11	H1:T25,T44,T45,T27(23,19,5,9) H3:T71,T75,T77(13,12,10) H5:T51,T63,T66(8,4,5)

Tablo 6.2'nin devamı	
Parça 12	H2:T24,T26,T33,T41,T45(14,14,15,21,6) H4:T72,T75(6,8) H5:T55,T62(8,9)
Parça 13	H2:T9,T13,T18(8.5,13.5,11) H4:T73,T77(9,10) H5:T53,T68,T70(6,8,5)
Parça 14	H2:T10,T17,T18,T44(13,8,6,8) H4:T75,T77(6,3) H5:T68,T70(14,6)
Parça 15	H2:T33,T38,T41,T45(14,6,9,3) H4:T71,T76(9,9) H5:T55,T61,T68(12,6,6)
Parça 16	H2:T8,T12,T30,T38,T40(4.5,6,8.5,4,8) H4:T74,T77(6,9) H5:T52,T55,T62(6,5,5)
Parça 17	H2:T5,T9,T12,T18,T21,T28,T30(5,11,6,13,8,4,3) H4:T71,T74,T79(3,8,10) H5:T55,T64,T66(8,4,11)
Parça 18	H2:T3,T7,T12,T15,T20,T26(8,7,4,6,3,4) H4:T77,T80(3,10) H5:T54,T58,T60(6,8,6)
Parça 19	H2:T1,T5,T10,T11(6,4,5,7) H4:T71,T72,T75(18,27,18) H6:T51,T52,T55(13,16,10)
Parça 20	H2:T2,T3,T7,T9,T12,T15,T18,T20(8,13,2,7,12,13,5,5) H4:T74,T75,T77(13,18,7) H6:T54,T57,T60.61(14,6,9,13)
Parça 21	H2:T5,T6,T9,T12,T18,T22,T25(13,6,4,4,5,8,3) H4:T74,T76,T79,T80(9,14,11,13) H6:T55,T57,T61,T63(15,6,5,14)
Parça 22	H2:T34,T39,T40,T43,T45(5,6,9,10,8) H4:T75,T76,T80(6,8,5) H6:T51,T53,T61.T64,T69(11,9,14,12,5)
Parça 23	H2:T4,T7,T12,T17,T22(12,6,8,9,7) H4:T74,T75,T78,T79(6,9,8,10) H6:T59,T60,T62.T65(14,9,16,17)
Parça 24	H2:T11,T14,T19,T25,T27,T30(14,4,9,5,6,6) H4:T75,T77,T78(6,9,12) H6:T52,T55,T56(6,3,6)
Parça 25	H3:T71,T72,T74(6,6,2) H6:T58,T59,T61(8,8,9)
Parça 26	H3:T74,T75(9,9) H6:T51,T58,T63,T64(13,3,7,10)
Parça 27	H3:T72,T75(14,7) H6:T65,T66,T67(11,14,5)
Parça 28	H3:T71,T72,T74(8,6,10) H6:T60,T66(12,6)
Parça 29	H3:T73,T75,T77(14,7,17) H6:T53,T58,T65(6,5,4)
Parça 30	H3:T75,T77,T79(11,6,7) H6:T51,T52,T55(8,7,2)

Sistemde kullanılan takımlarla ilgili takım ömrü ve bilenebilirlik durumu bilgileri Tablo 6.3'de verilmiştir.

Tablo 6. 3 Takımlarla ilgili veri seti

Takım Tipi	Takım Ömrü (dk)	Durumu (TB/B)	Takım Tipi	Takım Ömrü (dk)	Durumu (TB/B)
Takım 1	120	B	Takım 41	30	TB
Takım 2	60	TB	Takım 42	30	B
Takım 3	60	B	Takım 43	30	B
Takım 4	60	TB	Takım 44	30	TB
Takım 5	60	TB	Takım 45	30	TB
Takım 6	60	B	Takım 46	30	B
Takım 7	60	B	Takım 47	30	TB
Takım 8	30	TB	Takım 48	30	B
Takım 9	30	TB	Takım 49	30	TB
Takım 10	60	B	Takım 50	30	TB
Takım 11	30	B	Takım 51	30	B
Takım 12	60	TB	Takım 52	30	B
Takım 13	30	B	Takım 53	30	B
Takım 14	30	TB	Takım 54	30	B
Takım 15	30	B	Takım 55	30	B
Takım 16	30	B	Takım 56	60	B
Takım 17	30	B	Takım 57	30	B

6.3.1. Parça çizelgeleme

Giriş sırasını belirlemek amacıyla, sisteme girmek üzere bekleyen parçaları sisteme gönderilmek için aşağıdaki çizelgeleme stratejileri kullanılmıştır. Bunlar:

- **İlk gelen ilk girer (FIFO);** bu stratejide işlem zamanları veya teslim zamanları göz önüne alınmaksızın, parçaların sisteme geliş sırasına göre sisteme girmeleri sağlanır.
- **En kısa işlem süresi (SPT);** sisteme girecek parçaların seçiminde işlem zamanını ön plana çıkaran bu strateji, en kısa işlem zamanına sahip parçayı öncelikli olarak sisteme alır. Bu çalışmada parçanın işlem zamanı olarak alınan değer; sistemde uygulanacak operasyon zamanlarının toplamı ile hazırlık zamanları toplamının toplamıdır.

$$t = \sum_{i=1}^l \text{Hazırlık zamanı}_i + \sum_{j=1}^m (\text{parti büyüklüğü}_i * \text{operasyon zamanı}_{ij})$$

t= toplam operasyon süresi

i= 1, 2,.....,l işlem göreceği tezgah sayısı

j=1,2,.....,m takım sayısı

$$t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n$$

- **En uzun işlem süresi (LPT);** en uzun işlem zamanına sahip parçayı öncelikli olarak sisteme alan bu strateji, sisteme girecek parçanın seçiminde işlem zamanını ön plana çıkarır.

$$t_1 \geq t_2 \geq \dots \geq t_n$$

- **En erken teslim zamanı (EDD);** sisteme girecek parçalar arasında en erken teslim edilecek parçanın öncelikli olarak sisteme alındığı bu stratejide, teslim zamanı parça seçiminde en önemli etkendir. d teslim tarihi olmak üzere,

$$d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_n$$

şeklindedir.

6.3.2. Palet sayısının belirlenmesi

Paletler, bir EİS'de parçaların sisteme taşınması için gerekli olan önemli ekipmanlardan olduğu için sayılarının iyi tespit edilmesi gerekmektedir. Sistemde prizmatik parçaların iletiminde kullanılan 5 tip palet bulunmakta olup bu parçaların kullandığı palet tipleri ve kapasiteleri Tablo 6.1'de verilmiştir.

Sisteme paletin etkisini inceliyebilmek amacıyla, her bir palet tipinden eşit sayıda bulunmak üzere 10'ar adet, 20'şer adet ve 40'ar adetlik paletlerin bulunduğu senaryolar gözönüne alınmıştır.

6.3.3. Takım yönetimi

Bu çalışmada kullanılan takım yönetimi stratejileri iş parçası yönlendirmelidir (Bölüm 4.4) ve bu tür stratejilerin uygulandığı imalat sistemleri de siparişe göre hareket eden sistemlerdir. İş parçası yönlendirmeli stratejide dört takım gönderme stratejisi kullanılmıştır. Bunlar;

- Tam takım grubu stratejisi,
- Takım grubu paylaşımlı strateji,
- Tek takım atama stratejisi,
- Yerleşik takım grupları stratejisidir.

6.3.4. Takım depolama

Sistemde üç tip takım deposu bulunmaktadır. Bu depolar ve işlevleri aşağıda verilmiştir.

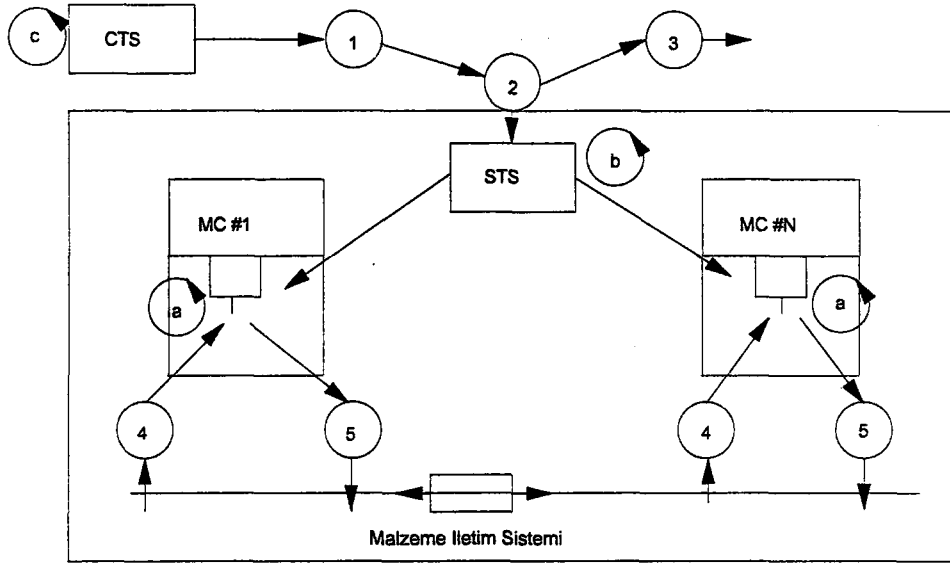
- **Birincil takım depolama (PTS):** her CNC tezgahının indekslenebilen bir adet birincil takım deposu vardır. Bu depo, takımı kullanacağı zaman depolar. Bir takım kullanıma çağrıldığında, takım birincil takım deposunda mekanik tutma aleti için indekslenecektir. Takım artık istenmediğinde veya bir sonraki çağrılacak takıma yer açmak için çıkartılıncaya kadar burada bekletilir. Bu çalışmada magazinlerin takım kapasiteleri 20 ve 40 olarak alınmıştır.

- **İkincil takım depolama (STS):** Hücre içerisindeki tüm makinalar için takımlar, hücrenin ikincil takım deposu tarafından sağlanır. Bu depo takım ömrü, takım dağılımlarını (adetlerini) ve diğer ilgili takım bilgilerini gösteren otomatik bir takım deposu olarak düşünülmüştür. İşlem merkezinde gerekli olan bir takım, eğer birincil takım deposu tarafından sağlanamıyorsa, ilk önce bu takımın ikincil takım deposunda var olup olmadığı araştırılır. Takım varsa taşıma robotu ile gönderilir. STS kendisinde bulunmayan takımları merkezi takım deposundan getirir. PTS'lerden çıkarılan ömürleri bitmemiş olan takımlar da bu depoda tutulur. Ekonomik ömrü bitmiş takımları merkezi takım deposuna gönderir. Bu çalışmada STS 400 takımı bünyesinde bulundurabilmektedir.
- **Merkezi takım deposu(CTS):** Tüm fabrikanın takım ihtiyacı bu depodan sağlanır. Fabrika bazında takımların durumu ile ilgilenir. Herhangi bir işlem merkezi tarafından istenen bir takım ikincil takım deposunda bulunmaz ise bu depodan istenir. Ömürleri bitmiş veya kırılmış takımlar bitenmek üzere bu depoya gelirler. Bu çalışmada CTS kapasitesi 2000 adet olarak alınmıştır.

6.3.5. Takım akış trafiği

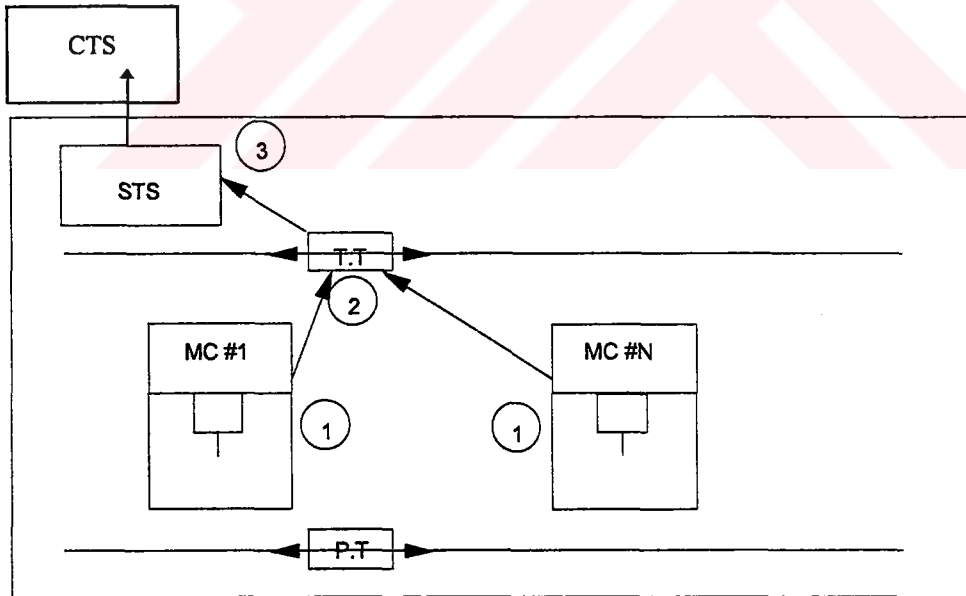
EİS'lerde takım akışı hiyerarşik olarak gerçekleşmektedir. Sisteme takımların girişinde, takımlar CTS'den STS'e gitmekte oradan da PTS'lere gönderilmektedir (Şekil 6.1.a). Sistemden takımların çıkartılmasında takımlar PTS'den STS'e ve STS'den de CTS'e gönderilmektedirler (Şekil 6.1.b).

Şekil 6.1.a ve Şekil 6.1.b'de görüldüğü gibi tezgah magazinleri (PTS) arasında takım alışverişi söz konusu değildir.



- | | | |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1. Takım gelişi | 4. İş varmakta | b. STS araştırılmakta |
| 2. STS ile takım değişimi | 5. İş ayrılmakta | c. CTS araştırılmakta |
| 3. Takım ayrılmakta | a. PTS araştırılmakta | |

Şekil 6. 1 a Takımların sisteme girişi



- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. PTS 'in boşaltılması | 4. CTS'e takım taşıma |
| 2. STS'e takım taşıma | P.T. Parça Taşıyıcısı |
| 3. STS'e takım boşaltma | T.T. Takım Taşıyıcısı |

Şekil 6. 1 b Takımların sistemden çıkarılması

6.3.6. Yeniden dönüşüm (recycle)

İş merkezinde bir takıma ihtiyaç olduğunda; önce birincil takım deposuna bakılır ve eğer kısmen kullanılmış bir takım mevcutsa önce bu takım tercih edilir, şayet birincil takım deposunda kısmen kullanılmış takım yoksa, o zaman ikincil takım deposuna bakılır ve kısmen kullanılmış bir takım mevcutsa bu takım kullanılmak üzere ilgili tezgaha gönderilir, şayet ikincil takım deposunda kısmen kullanılmış aynı takımlardan birden fazla ise ekonomik ömrü en fazla olan tercih edilir, eğer kısmen kullanılmış takım mevcut değil ise, STS'den yeni bir takım ataması yapılır. Tezgahlarda ömürleri bitmiş takımlar arasında bilenerек tekrar kullanılabilir nitelikte takımlar mevcut ise CTS'de bilenerек, ihtiyaç olduğunda buradan tekrar sisteme alınırlar. Bilenebilir nitelikteki takımlar ancak beş kez bilenebilirler ve her bilemede orjinal takım ömürlerinin %10'nu kaybetmektedirler.

6.4. Tezgah Politikası

Sistemde kullanılan tezgahlar ve özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- **Küçük prizmatik parça tezgahı:** Bu tezgah tam otomatize sayısal bilgisayar kontrollü ve üç eksenli bir tezgah olarak düşünülmüştür. Bu tezgahta hacimleri 12000 cc'ye kadar olan prizmatik parçalar işlenmektedir. Parçalar paletler üzerine bağlayıcılar (fixture) vasıtasıyla sabitlenmekte ve her operasyonda X, Y ve Z boyutlu operasyonları yapabildiği kabul edilmiştir. İşlerin bağlanması ve sabitlenmesi bir insan aracılığı ile olmaktadır.
- **Büyük prizmatik parça tezgahı:** Bu tezgah tam otomatize sayısal bilgisayar kontrollü ve üç eksenli bir tezgah olarak düşünülmüştür. Bu tezgahta hacimleri 12000 cc'den büyük olan prizmatik parçalar işlenmektedir. Parçalar paletler üzerine bağlayıcılar (fixture) vasıtasıyla sabitlenmekte ve her operasyonda X, Y ve Z boyutlu operasyonları yapabildiği kabul edilmiştir. İşlerin bağlanması ve sabitlenmesi bir insan aracılığı ile olmaktadır.
- **Küçük silindirik parça tezgahı:** Bu tezgah tam otomatize sayısal bilgisayar kontrollü ve iki eksenli bir tezgah olarak düşünülmüştür. Bu tezgahta çapı 15cm

ve uzunluğu 100 cm kadar olan silindirik parçalar işlenmektedir. Parçalar tezgaha doğrudan bağlanmaktadır. İşlerin bağlanması ,ayna ve ayna çenelerinin değiştirilmesi bir insan aracılığı ile olmaktadır

- **Büyük silindirik parça tezgahı:** Bu tezgah tam otomatize sayısal bilgisayar kontrollü ve iki eksenli bir tezgah olarak düşünölmüştür. Bu tezgahta çapı 15 cm ile 100 cm arası ve uzunluğu 250 cm kadar olan silindirik parçalar işlenmektedir. Parçalar tezgaha doğrudan bağlanmaktadır. İşlerin bağlanması, ayna ve ayna çenelerinin değiştirilmesi bir insan aracılığı ile olmaktadır.
- **Prizmatik parçaları taşlama tezgahı:** Bu tezgahta sistemde işlenen tüm prizmatik parçaların hassas yüzey işlemleri gerçekleştirilmektedir.
- **Silindirik parçaları taşlama tezgahı:** Bu tezgahta sistemde işlenen tüm silindirik parçaların hassas yüzey işlemleri gerçekleştirilmektedir.

6.4.1 Tezgah gruplama

Sistemde bulunan herbir hücrelerin içerisinde benzer tezgahlar bulunmaktadır. Hücre içerisinde bulunan tezgah adedi işlenmek istenilen parçaların geliş yoğunluğuna bağlı olarak, sistemi fazla yüklemeyecek ve sistemin veriminde düşürmeyecek şekilde belirlenmiştir. Tezgah sayılarının belirlenmesinde neural network yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yaklaşım bölüm 6.7. de detaylı olarak ele alınmıştır.

6.5 Malzeme ve Takım İletimi

Sistemde malzeme iletimi; iki yönlü (ileri-geri) hareket edebilen, sistem içerisindeki tüm istasyonlara uğrayabilen ve hızı 10 m/dak olan OTA ile sağlanmaktadır.. Bu çalışmada 1 OTA'lı ve 2 OTA'lı senaryolar analiz edilmiştir. OTA, merkezi bilgisayar tarafından kullanılan çizelgeleme metoduna göre hareket etmektedir. Sistemde birden fazla OTA bulunduğunda bir çağrıya en yakın istasyondaki OTA cevap vermektedir.

Takım iletim sistemi yukarıdan hareket eden bir robot aracılığı ile sağlanmaktadır. Robotun bir seferde takım taşıma kapasitesi maksimum 20 takımdır. Tüm tezgahlarla, STS ve CTS arasında iki yönlü hareket etmektedir.

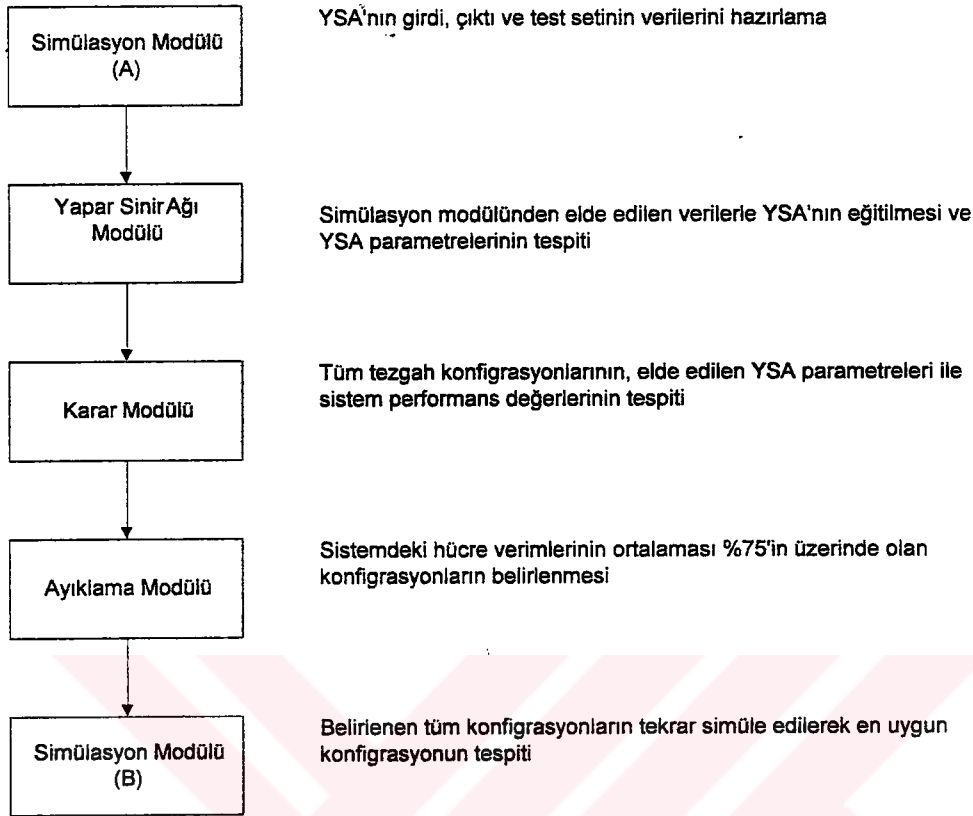
6.6. Otomatik Depolama ve Geri Alma Sistemi (AS/RS)

Sistem içerisinde bulunan partilerin sayısı izin verilen kuyruk uzunluğundan fazla olduğunda veya sistemde parçaların işlenmesi için bozulma veya bakım dolayısıyla uygun tezgah konfigrasyonu bulunmadığı zaman, sistemde bulunan ara stok kapasiteleri sınırlı olduğu için, sisteme işlenmek üzere götürülen iş parçaları AS/RS'de geçici olarak tutulmak durumundadır. Kuyruk uzunluğu yeni parça girişine izin verir konuma geldiği an, parçalar öncelikli olarak AS/RS'den çekilmektedir. Bu durum sistemin tıkanmaması için gözönüne alınmıştır.

6.7 Tezgah Konfigrasyonunun Belirlenmesi

Her bir EİS, tasarımı için gerekli sistem verilerine bağlı olarak değişik davranışlar gösterebilmektedir. EİS'lerinde, sistemin dengelenmesi ve sistem performans ölçülerinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle en iyi tezgah konfigrasyonunun bulunması gerekmektedir. Tezgah konfigrasyonunun bulunması için EİS'nin elemanları arasındaki ilişkinin modellenmesi gerekmektedir, buda oldukça güçtür. Bu amaçla örneklerden öğrenebilme, eksik bilgileri tamamlayabilme ve eksik bilgilerle çalışabilme özelliğine sahip yapay sinir ağları tezgah konfigrasyonunun belirlenmesinde kullanılmıştır (Şekil 6.2).

Yapay sinir ağları ile tezgah konfigrasyonunun belirlenmesi için öğretmenli öğrenme kullanılmıştır. Bu öğrenme tekniğinde, ağ modeline örnekler verilmekte ve verilen bir girdi kümesine karşılık ağın üreteceği çıktıyı olması gerekenle karşılaştırabilmesi için bir çıktı kümesi verilir. Çalışmamızda girdi kümesinde küçük prizmatik parça tezgah sayısı, büyük prizmatik parça tezgah sayısı, küçük silindirik parça tezgah sayısı, büyük silindirik parça tezgah sayısı, prizmatik parça taşlama tezgah sayısı,



Şekil 6. 2 Tezgah konfigürasyonunun belirlenmesi prosedürü

silindirik parça taşlama tezgah sayısı, kontrol elemanı sayısı, OTA sayısı, hücre giriş ara stok kapasitesi ve hücre çıkış ara stok kapasitesi değerleri verilmiştir. Bu değerler verildiğinde bulunması gereken değerler (çıkı kümesi) ise küçük prizmatik parça hücre verimi, büyük prizmatik parça hücre verimi, küçük silindirik parça hücre verimi, büyük silindirik parça hücre verimi, prizmatik parça taşlama hücre verimi, silindirik parça taşlama hücre verimi, kontrol elemanı hücre verimi, OTA'cı verimi ve robot verimi olarak verilmiştir. Simülasyon modülü yardımıyla 120 adet rasgele tezgah konfigürasyonu denenmiş ve girdi ve çıktı küme değerleri bulunmuştur. Bu 120 konfigürasyonun 100 adedi yapay sinir ağının eğitiminde 20 adedi ise ağın test edilmesinde kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan yapay sinir ağı modeli çok katmanlı yapay sinir ağıdır. Yapay sinir ağında kullanılan toplama fonksiyonu toplam ve aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid kullanılmıştır. Yapay sinir ağında kullanılan ağ yapısı ise tam bağlı ağ yapısıdır.

En iyi konfigrasyonun elde edilmesinde bir çok yapay sinir ağı modeli denenmiştir. En iyi sonuç; 30 proses elemanlı ara katman, 0.3 öğrenme katsayısı ve 0.8 momentum katsayısı ile 845000 iterasyonda elde edilmiştir. Burada bulunan ortalama mutlak hata %4 olmuştur.

Yapay sinir ağının eğitiminden sonra tüm konfigrasyonlar bir karar verme modülüne uygulanmış ve bu konfigrasyonlara karşılık gelen çıktı değerleri bulunmuştur.

Elde edilen bu değerlerin içerisinde hücre verim değeri % 75'in üzerinde olanlar tespit edildikten sonra, bu konfigrasyonlar tekrar simülasyonu yapılarak en iyi konfigrasyon belirlenmiştir.

Taşgetiren [205], Çakar [206], Çağıl [227] ve Öztemel [228]'de yapay sinir ağları hakkında bilgi bulunmaktadır.

6.8 Senaryolar

6.8.1. Senaryo 1 (OTA Etkisi)

Bu senaryoda aşağıda sistem elemanları verilen EİS'ne OTA'nın etkisi incelenmiştir. Bu amaçla diğer sistem elemanları sabit olmak üzere sistemde bir OTA ve iki OTA kullanılarak sistemin performans değerleri belirlenmiştir.

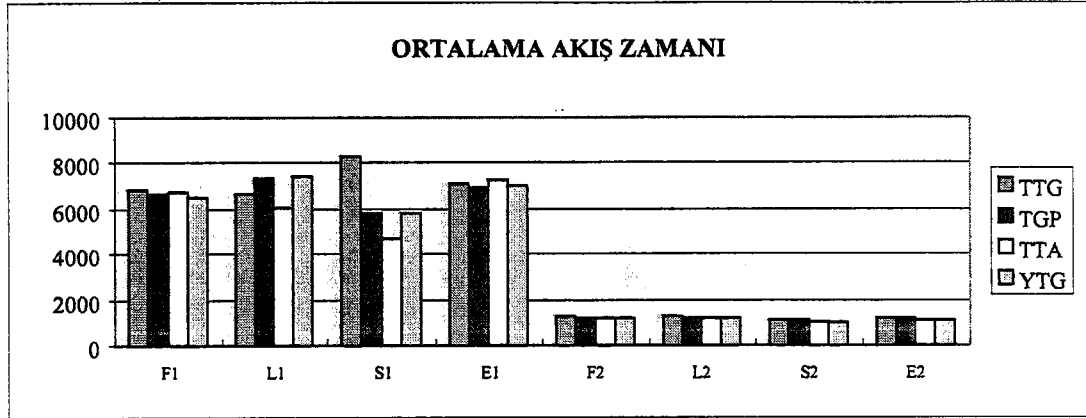
<u>Sistemim elemanları</u>	<u>Adetleri</u>
Küçük prizmatik parça tezgahı	2
Büyük prizmatik parça tezgahı	4
Küçük silindirik parça tezgahı	3
Büyük silindirik parça tezgahı	1
Silindirik parça taşlama tezgahı	2
Prizmatik parça taşlama tezgahı	2
Kontrol elemanı	2
OTA sayısı	1 ve 2
Magazin Kapasitesi	40
Palet kapasitesi	40
Giriş-Çıkış ara stok kapasitesi	6

Tablo 6. 5 Bir OTA'lı sistemde sistem performans değerleri

1 OTA	Ort.Ak. Zam(dk)	Sistem Verimi	OTA Verimi	Ort. Palet Kul(adet)	Ort.Bek. Par.(adet)	Ort.Gec. (dk)	Parti Ad. (adet)	Ort.Gec. Par (adet)	Parça Ad. (adet)
FIFO									
TTG	6800.91	0.73	0.97	18.62	29.77	1655.02	1981	1182	4327
TGP	6639.27	0.68	0.97	13.85	42.18	1717.32	1995	1162	4351
TTA	6789.18	0.73	0.97	18.77	29.83	1848.59	1922	1134	4186
YTG	6533.47	0.69	0.97	15.38	34.96	1648.47	1990	1118	4363
LPT									
TTG	6706.77	0.77	0.97	22.7	18.29	2021.85	1913	884	4227
TGP	7343.18	0.73	0.97	29.27	12.44	2651.63	1784	1036	3828
TTA	6036.54	0.72	0.97	22.05	13.2	1458.01	2062	992	4507
YTG	7437.08	0.67	0.96	21.85	27.01	2313.98	2001	1141	4442
SPT									
TTG	8252.58	0.65	0.96	26.78	21.57	2874.71	1897	1125	4137
TGP	5772.91	0.65	0.97	19.21	32.53	1040.66	2043	798	4557
TTA	4741.35	0.67	0.97	16.23	32.25	624.1	2016	484	4556
YTG	5785.6	0.64	0.97	15.97	36.87	1229.81	2021	686	4447
EDD									
TTG	7106.93	0.69	0.97	18.41	35.7	1832.01	1989	1214	4348
TGP	6944.45	0.74	0.97	19.16	29.07	1886.7	1957	1167	4298
TTA	7290.99	0.68	0.97	15.59	43.19	2025.66	1971	1188	4241
YTG	7035.85	0.68	0.97	16.92	35.77	1785.65	2005	1262	4409

Tablo 6. 6 İki OTA'lı sistemde sistem performans değerleri

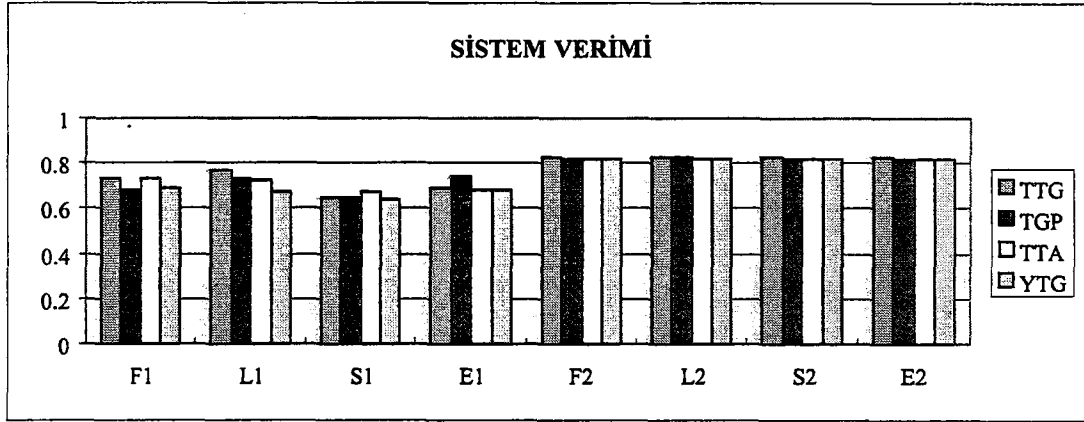
2 OTA	Ort.Ak. Zam(dk)	Sistem Verimi	OTA Verimi	Ort. Palet Kul(adet)	Ort.Bek. Par.(adet)	Ort.Gec. (dk)	Parti Ad. (adet)	Ort.Gec. Par (adet)	Parça Ad. (adet)
FIFO									
TTG	1261.44	0.83	0.61	7.57	4.1	32.25	2598	29	5674
TGP	1191.09	0.82	0.605	7.18	3.98	5.9	2600	17	5683
TTA	1168.36	0.82	0.6	6.98	3.82	2.67	2604	17	5708
YTG	1155.07	0.82	0.6	6.89	3.86	2.36	2604	17	5708
LPT									
TTG	1283.78	0.83	0.605	7.89	4.37	65.16	2596	39	5664
TGP	1199.32	0.83	0.605	7.43	4.18	39.72	2598	39	5677
TTA	1184.46	0.82	0.6	7.28	4.08	34.56	2601	31	5698
YTG	1183.55	0.82	0.605	7.27	4.1	48.56	2601	35	5698
SPT									
TTG	1141.13	0.83	0.605	7.14	3.63	11.6	2589	17	5662
TGP	1098.93	0.82	0.6	6.83	3.57	11.63	2596	18	5698
TTA	1042.77	0.82	0.595	6.41	3.37	7.32	2601	10	5707
YTG	1050.43	0.82	0.595	6.54	3.42	3.66	2601	11	5707
EDD									
TTG	1210.44	0.83	0.605	7.26	4.09	9.77	2589	17	5666
TGP	1171.43	0.82	0.605	7.13	3.94	4.46	2590	13	5674
TTA	1143.76	0.82	0.605	6.92	3.86	4.28	2593	11	5694
YTG	1143.78	0.82	0.605	6.88	3.88	1.65	2592	7	5693



Şekil 6. 3 OTA kullanımında ortalama akış zamanı

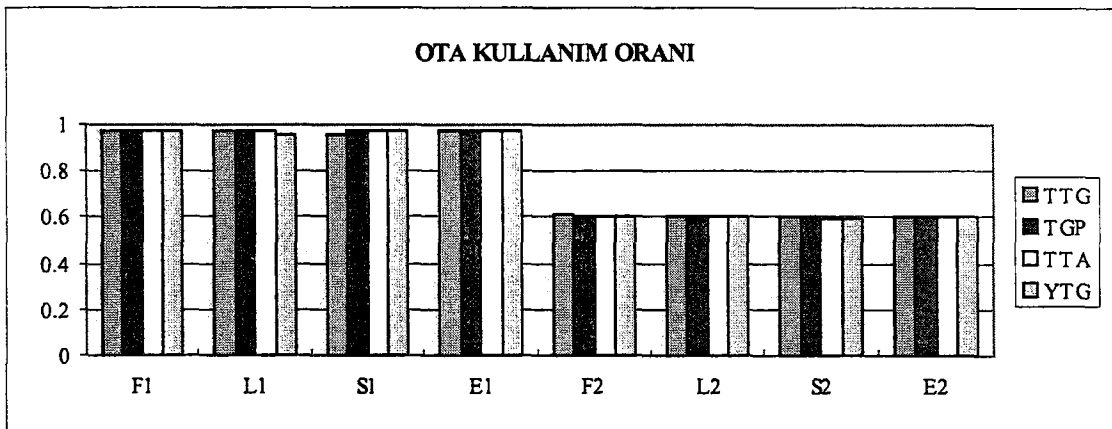
Ortalama akış zamanı; bir OTA kullanıldığında, OTA sistemin taşıma yükünü kaldıramamakta ve böylece parçaların gerek sistemin önünde, gerekse sistem içerisindeki kuyruklarda parçanın OTA beklemesinden kaynaklanan extra gecikmelerle ortalama akış süresi artmaktadır. İki OTA kullanıldığında ise extra gecikmeler olmadığından ortalama akış zamanı düşmektedir (Şekil 6.3).

Bir OTA'lı sistemde, sistem önündeki kuyruklarda bekleyen iş sayısının fazla oluşu, çizelgeleme kuralına göre işlerin sisteme giriş sıralarında farklılıklar oluşturmaktadır, bu nedenle beklenenden farklı sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. İki OTA'lı sistemde ise sistem önünde bekleyen iş sayısı fazla olmadığından çizelgeleme kurallarına göre işlerin sisteme giriş sıralarında büyük farklılıklar oluşmamaktadır. Çizelgeleme stratejilerinin takım yönetimi stratejileri bakımından kendi içerisinde oluşturdukları farklılıklar, takım grubu sayısına bağlı olarak değişen hazırlık zamanlarından kaynaklanmakta ve daha az takım grubuna ihtiyaç duyan TTA ve YTG stratejileri için daha iyi sonuç vermektedir.



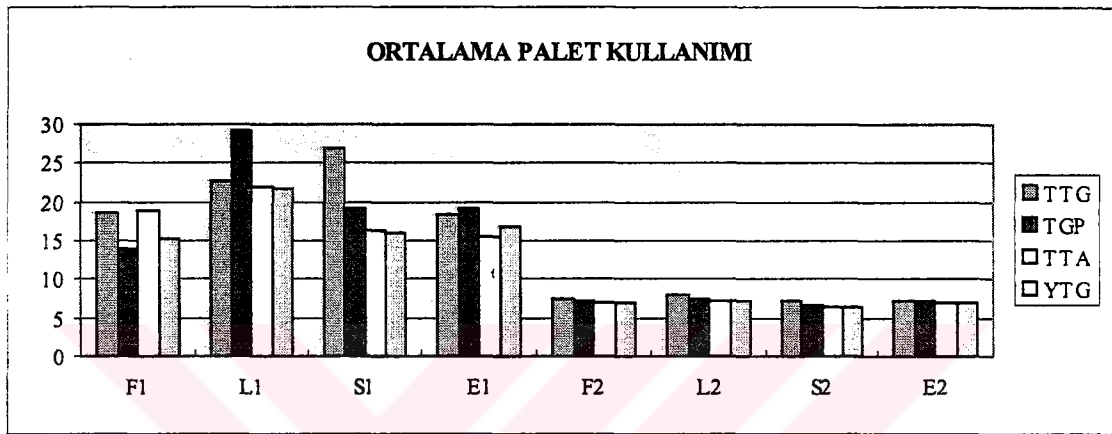
Şekil 6. 4 OTA kullanımında sistemin verimi

Sistemin verimi; bir OTA sistemin taşıma yükünü kaldıramadığından tezgahın parçayı beklemesi sistemin verimini olumsuz yönde etkilemektedir(şekil 6.4). SPT çizelgeleme kuralında ortalama akış süresinin düşük oluşu (Şekil 6.3) bir OTA'lı sistemde daha fazla parçanın taşınmasını gerektirmekte, bu durum bir OTA'yla karşılanamadığından tezgahların daha uzun süre boş beklemesi sistem veriminde düşüş meydana getirmektedir. Hazırlık zamanlarının verime dahil oluşu, iki OTA'lı sistemde takım grubu sayıları daha fazla olan ve bu nedenle daha çok hazırlık zamanına ihtiyaç duyan TTG ve TGP takım yönetimi stratejilerinde verimi biraz daha yükseltmektedir.



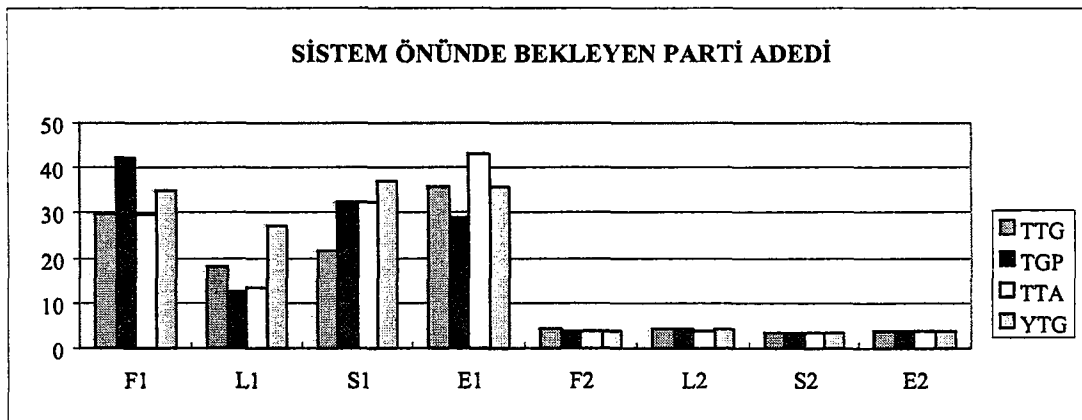
Şekil 6. 5 OTA kullanım oranı

OTA kullanım oranı; bir OTA'lı sistemde OTA kullanım oranının çok yüksek oluşu, sistem içindeki taşıma ihtiyaçlarının yeterince karşılanmadığını göstermekte, bu durum diğer performans ölçülerini olumsuz yönde etkilemektedir. İki OTA'lı sistemde kullanım oranlarının düşük olması da sistemin taşıma ihtiyaçlarının karşılandığını göstermektedir. Çizelgeleme stratejileri arasındaki farklılıklar AS/RS kullanım oranından kaynaklanmaktadır.



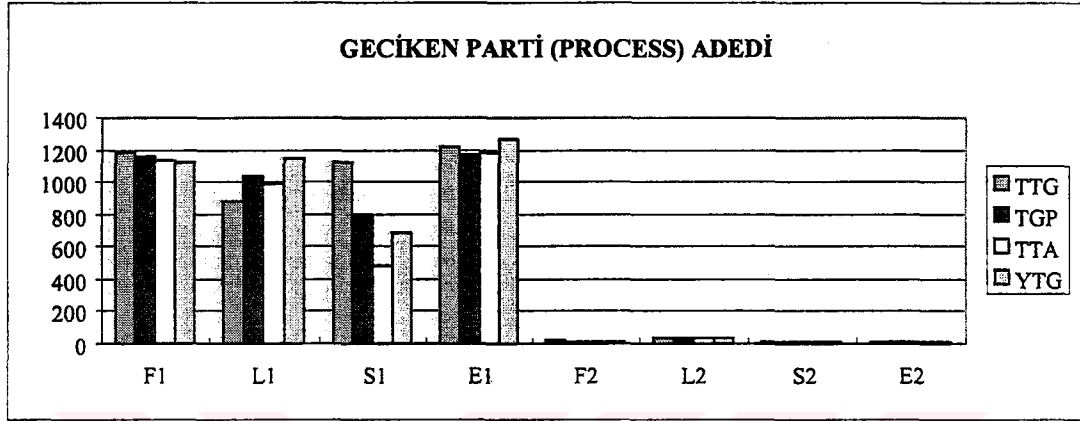
Şekil 6. 6 OTA kullanımında ortalama palet kullanımı

Ortalama palet kullanımı; bir OTA'lı sistemde parçalar sistemin içerisinde daha uzun süre kaldığı için sistemdeki palet adedi artar; iki OTA'lı sistemde ise parçalar sistem içerisinde daha kısa süre kaldığından palet kullanımında azalır (Şekil 6.6).



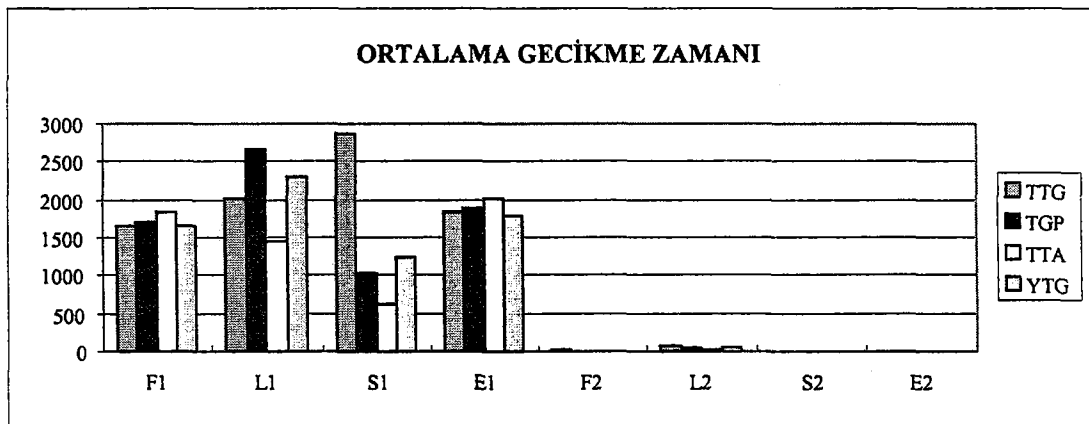
Şekil 6. 7 OTA kullanımında sistem önünde bekleyen parti adedi

Sistem önünde bekleyen iş sayısı; bir OTA'lı sistemde, sisteme parça girişleri arasındaki sürenin fazla oluşu bekleyen iş sayısını arttırırken; iki OTA'lı sistemde ise ortalama akış zamanları düşük olduğundan (Şekil 6.3), sisteme parça girişleri arasındaki süre azalır bu da sistem önünde bekleyen iş sayısını düşürür (Şekil 6.7).

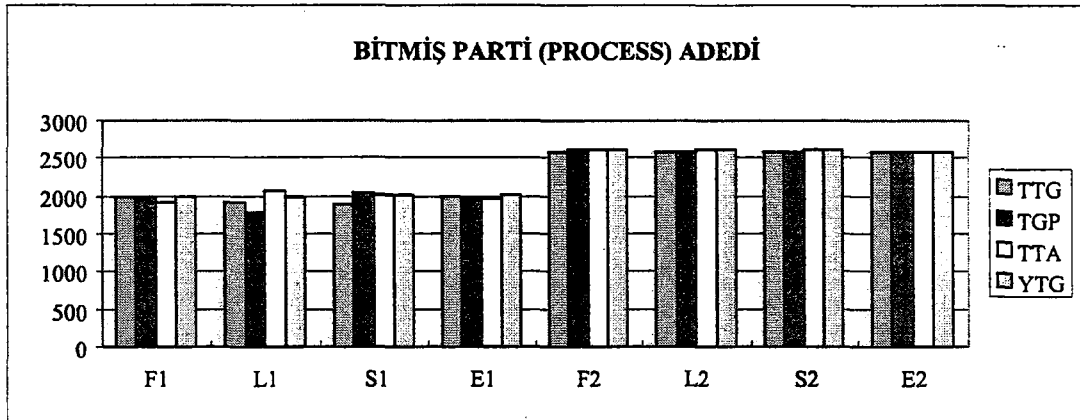


Şekil 6. 8 OTA kullanımında geciken parti adedi

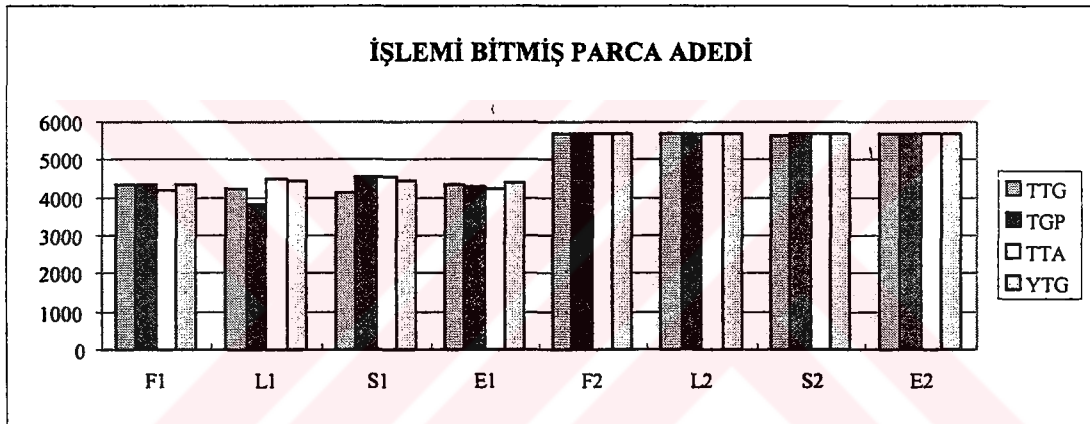
Ortalama geçikme adedi ve zamanı; bir OTA'lı sistemde parçaların sistemde kalma süreleri yüksek olduğundan teslim zamanındaki gecikmeler daha çoktur. Fakat iki OTA'lı sistemde ise EDD ve SPT çizelgeleme stratejilerinin ortalama akış süresi (Şekil 6.3) daha düşük olduğu için daha iyi sonuçlar verir (Şekil 6.8 ve 6.9).



Şekil 6. 9 OTA kullanımında ortalama gecikme zamanı



Şekil 6. 10 OTA kullanımında bitmiş parti adedi



Şekil 6. 11 OTA kullanımında işlemi bitmiş parti adedi

İşlemi bitmiş parça adedi; 2 OTA'lı sistemde taşımadan kaynaklanan tıkanmalar olmaz, parçalar sistemden daha hızlı olarak çıkar ve işlemi bitmiş parçaların sayısı artarlar, daha az hazırlık zamanına ihtiyaç duyan TTA ve YTG takım yönetimi stratejileri daha iyi neticeler verir (Şekil 6.10 ve 6.11).

Bir OTA'lı sistemde takım yönetimi stratejilerine göre Örneğin ortalama akış süresine göre, çizelgeleme stratejisi LPT, takım yönetimi stratejisi YTG ve ortalama geçikmeye göre, çizelgeleme stratejisi SPT, takım yönetimi stratejisi TTG gibi beklenmedik sonuçlar bulunmuştur. OTA yetersiz olduğundan parçalar gerektiği zamanda gerektiği yerlere taşınmamakta ve bu durum beklenmedik değerleri ortaya çıkarmaktadır.

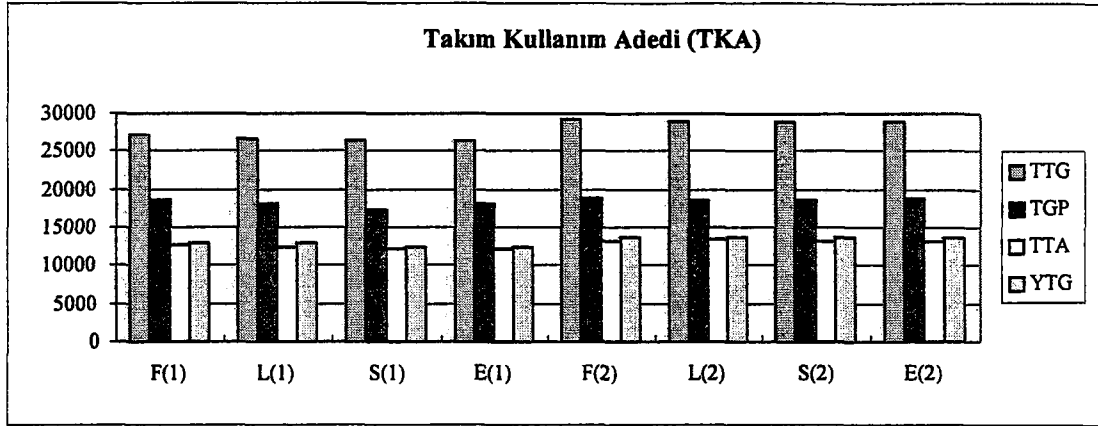
Sistem performanslarına genel olarak bakacak olursak; sistemin taşıma yükünü kaldırabilmek için sistemde en az iki OTA kullanılması gerekmektedir. Aksi halde sistem performans ölçüleri olumsuz yönde etkilenmektedir. İki OTA'lı sistemde sistem önünde bekleyen işlerin sayısı az olduğundan işlerin sisteme giriş sıralarında çizelgeleme stratejilerine göre büyük farklılıklar görülmemekte, bu ise sistem performans değerlerinin birbirine yakın çıkmasına neden olmaktadır. Çizelgeleme stratejilerine takım yönetimi stratejileri açısından bakıldığında az takım grubuna ihtiyaç duyan takım yönetimi stratejilerinin (TTA ve YTG) daha az hazırlık zamanına ihtiyaç duymasından dolayı diğer stratejilere göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

Tablo 6. 7 Bir OTA'lı sistemde takım yönetimi performans değerleri

FIFO	TKA	TKO	TKTA	TTA	TOT
TTG	27146	48	5068	5068	22078
TGP	18621	63	8549	4627	13994
TTA	12571	100	12488	3065	9506
YTG	12945	99	12296	3201	9744
LPT					
TTG	26690	48	5069	5069	21621
TGP	18205	64	8654	4599	13606
TTA	12440	100	12377	3125	9315
YTG	12811	99	12176	3244	9567
SPT					
TTG	26462	48	4757	4757	21705
TGP	17437	65	8521	4258	13179
TTA	12127	100	12060	2831	9296
YTG	12501	99	11932	2964	9537
EDD					
TTG	26366	48	4895	4895	21471
TGP	18039	63	8216	4483	13556
TTA	12130	100	12054	2960	9170
YTG	12517	99	11843	3100	9417

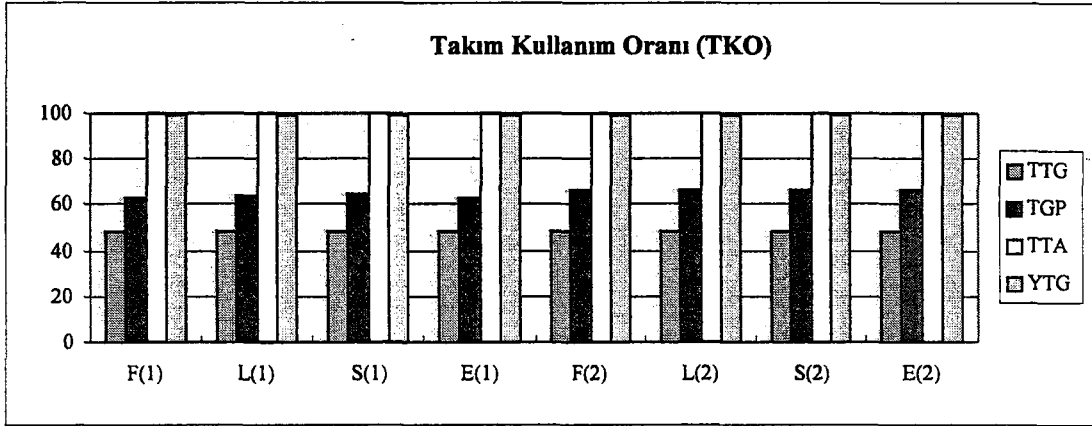
Tablo 6. 8 İki OTA'lı sistemde takım yönetimi performans değerleri

FIFO	TKA	TKO	TKTA	TTA	TOT
TTG	29108	48	5265	5265	23843
TGP	18850	66	9370	4776	14074
TTA	13294	100	13208	3205	10089
YTG	13679	99	13006	3329	10350
LPT					
TTG	29078	48	5324	5324	23754
TGP	18693	66	9437	4827	13866
TTA	13330	100	13265	3287	10043
YTG	13716	99	13054	3435	10281
SPT					
TTG	29002	48	5185	5185	23817
TGP	18701	66	9378	4642	14059
TTA	13206	100	13133	3129	10077
YTG	13599	99	12937	3256	10343
EDD					
TTG	29068	48	5264	5264	23804
TGP	18861	66	9365	4818	14043
TTA	13279	100	13206	3187	10092
YTG	13659	99	13003	3321	10338



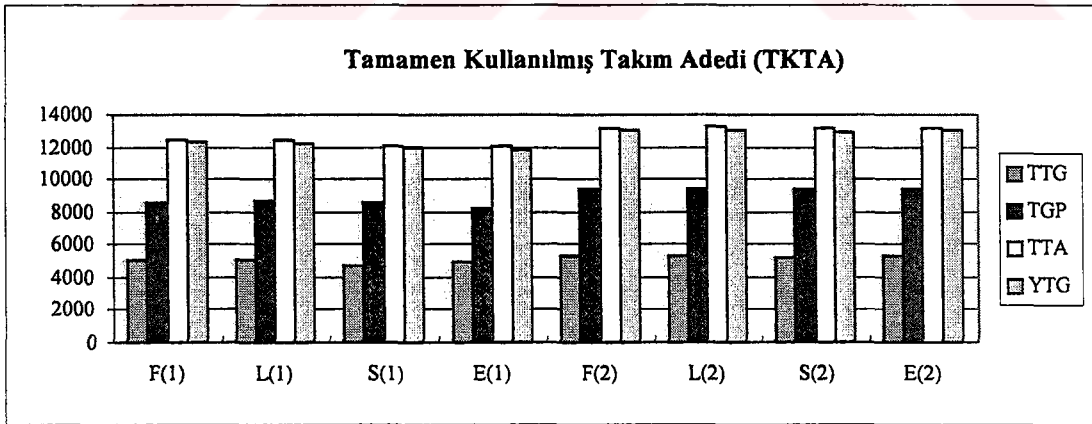
Şekil 6. 12 OTA kullanımına göre toplam takım kullanım adedi

Kullanılan toplam takım adedi ; bir OTA'lı sistemde işlenen parça adetleri, 2 OTA'lı sistemde işlenen parça adetlerinden az olduğu için bir OTA'lı sistemde elde edilen değerlerin tümü iki OTA'lı sistemde karşılık gelen değerlere göre daha düşüktür, fakat takım yönetimi stratejileri arasında oluşan oransal farklar ise birbirine yakındır (Şekil 6.12). Takım yönetimi stratejileri açısından TTG stratejisi tüm çizelgeleme stratejileri içinde en çok takım kullanan stratejidir ve bir nevi üst sınırdır. TGP stratejisinde ise aynı parçaların sisteme arka arkaya girmelerine daha çok imkan tanıyan SPT ve LPT stratejilerinde özellikle bir OTA'lı sistemde daha iyi sonuçlar bulunmuş ve hemen hemen tüm TTG stratejisine göre % 35 oranında takım tasarrufu sağlanmıştır. TTA stratejisinde diğer takım yönetimi stratejilerine göre en düşük takım adedi elde edilmiş ve TTG stratejisine göre % 55 oranında takım tasarrufu sağlanmıştır. YTG stratejisinde de TTG stratejisine göre % 53 oranında takım tasarrufu sağladığı gözlenmiştir. Çizelgeleme stratejisi SPT, takım yönetimi stratejisi TTA olduğunda tüm stratejilerde en iyi değerler elde edilmiştir.



Şekil 6. 13 OTA kullanımına göre takım kullanım oranı

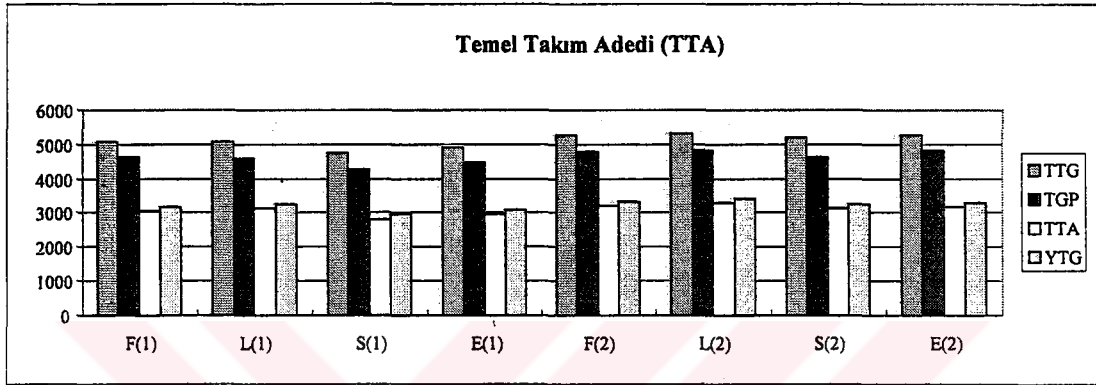
Takım kullanım oranı; kullanılan toplam takım adedi düştükçe takımlardan faydalanma oranı artar, bu nedenle birbirleriyle ters orantılıdır. Bir OTA'lı sistemde, sistem önünde bekleyen parçaların sayısının fazla oluşu aynı parçaların sisteme arka arkaya girmelerine imkan tanıyan SPT ve LPT stratejisinde TGP stratejinin takımlardan faydalanma oranını arttırmaktadır. İşlerin sisteme giriş sırasından diğer takım yönetimi stratejilerini çok fazla etkilenmediği için bulunan takım kullanım oranları çizelgeleme stratejilerine göre değişmemektedir.



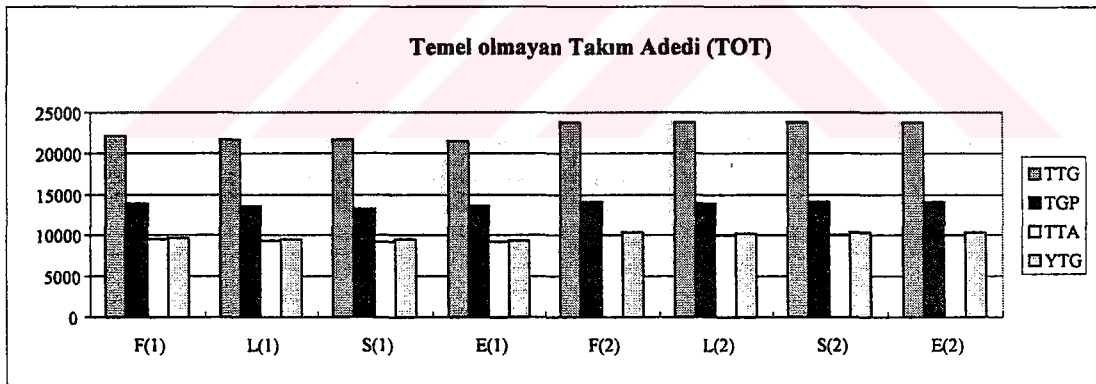
Şekil 6. 14 OTA kullanımına göre tamamen kullanılmış takım adedi

Tamamen kullanılmış takım adedi; bir işin işlenmesi esnasında ömürlerini bitiren takımlar tamamen kullanılmış takımlardır; TTG stratejisinde takımların ömürleri tamamen bitmese dahi magazinden çıkartılabilir ve bu nedenle bulunan değerler en

düşük değerlerdir. TGP stratejisinde ise takım kullanımı, işlenmekte olan işten bir sonraki işe bağlı olduğu için SPT ve LPT stratejilerinde tamamen kullanılmış takım adedi artmaktadır. TTA ve YTG stratejileri ise tezgah magazin kapasiteleri ile ilgilidir ve magazin kullanımında daha etkin olan TTA stratejisi daha iyi neticeler vermektedir.



Şekil 6. 15 OTA kullanımına göre temel takım adedi



Şekil 6. 16 OTA kullanımına göre temel olmayan takım adedi

Temel takım adedi; 1 OTA'lı ve 2 OTA'lı sistemlerden elde edilen değerlerde benzerlikler bulunmaktadır. SPT çizelgeleme stratejilerinde ise sisteme aynı parçalar arka arkaya girebilmektedir; bu nedenle TTG ve TGP stratejilerinden elde edilen temel takım adedi değerleri biraz daha az olmaktadır (Şekil 6.15).

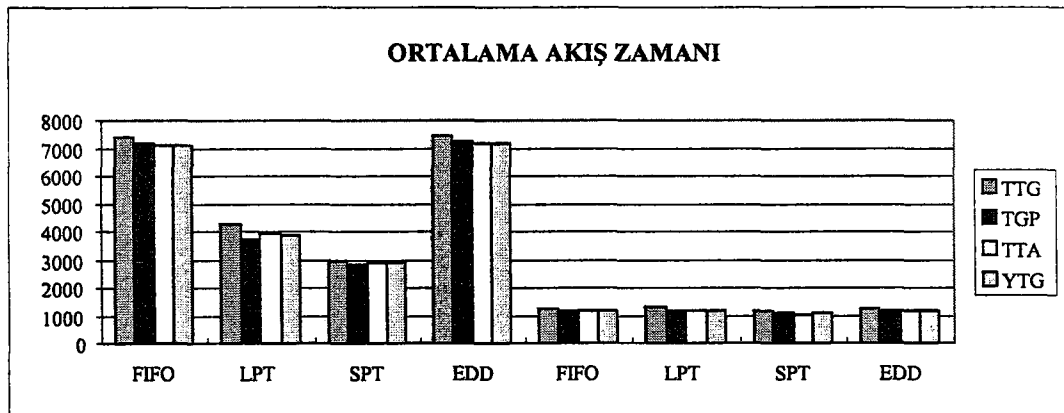
6.8.2. Senaryo2 (başka bir sistem konfigrasyonu)

Tasarım değerlerine göre en uygun olarak belirlenen konfigrasyondan başka bir konfigrasyonda sistemin durumunu görmek amacıyla performans değerleri belirlenmiştir. Bu amaçla aşağıda konfigrasyonu verilen sistem ele alınmış ve tarasım parametrelerine göre en uygun olarak belirlenen konfigrasyondan elde edilen değerlerle birlikte sunulmuş ve yorumlanmıştır.

1. konfigrasyonun elemanları ve adetleri şunlardır;

<u>Sistemim elemanları</u>	<u>Adetleri</u>
Küçük prizmatik parca tezgahı	2
Büyük prizmatik parca tezgahı	3
Küçük silindirik parca tezgahı	2
Büyük silindirik parca tezgahı	1
Silindirik parça taşlama tezgahı	2
Prizmatik parça taşlama tezgahı	2
Kontrol elemanı	2
OTA sayısı	2
Mağazin Kapasitesi	40
Palet kapasitesi	40
Giriş-Çıkış ara stok kapasitesi	6

Simülasyonlar sonucu elde edilen 1. konfigrasyonun sistem performans değerleri Tablo 6.9'da verilmiştir.

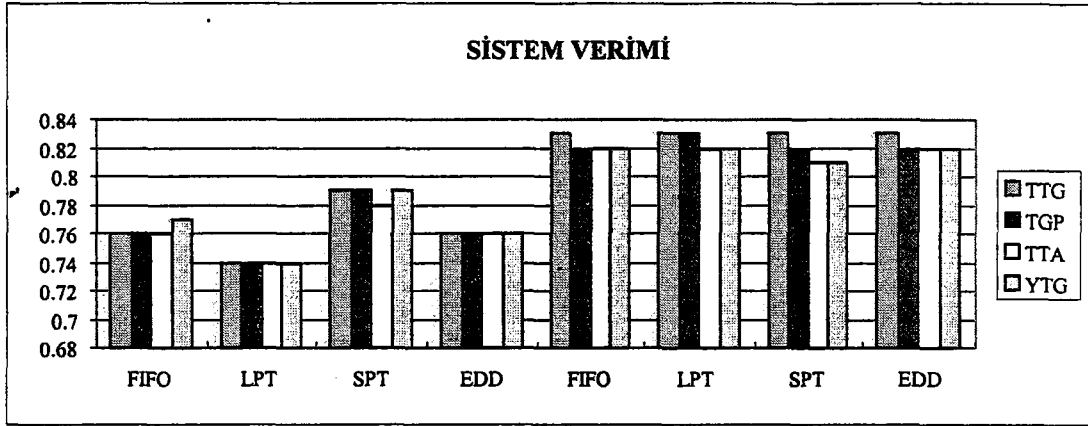


Şekil 6.17 Senaryo 2'de ortalama akış zamanı

Tablo 6.9 1. konfigrasyondan elde edilen sistem performans değerleri

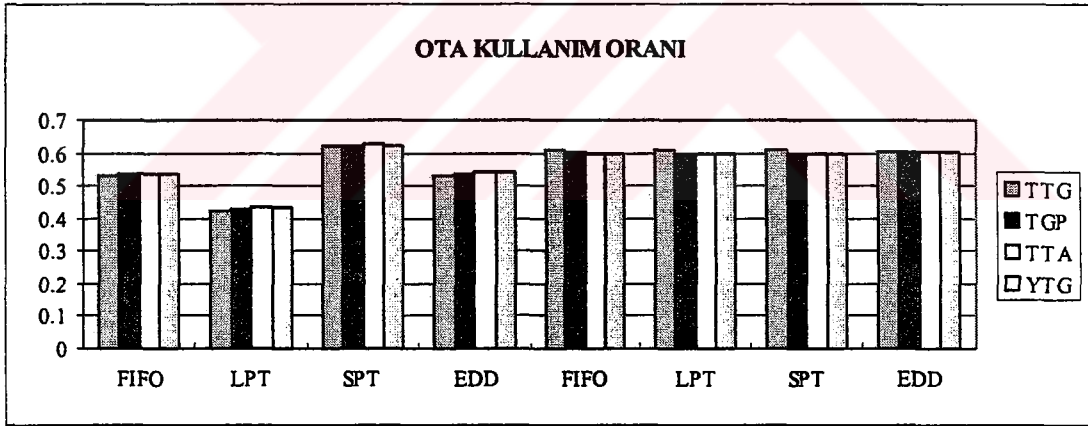
I.K	Ort.Ak. Zam(dk)	Sistem Verimi	OTA Verimi	Ort. Palet Kul(adet)	Ort.Bek. Par.(adet)	Ort.Gec. (dk)	Parti Ad. (adet)	Ort.Gec. Par (adet)	Parça Ad. (adet)
FIFO									
TTG	7407	0.76	0.53	8.52	63.06	2101.02	2180	1187	5165
TGP	7194.37	0.76	0.535	8.48	61.03	1909.11	2220	1201	5228
TTA	7075.25	0.76	0.535	8.53	59.75	1887.82	2231	1181	5246
YTG	7092.29	0.77	0.54	8.66	59.87	1831.33	2237	1192	5255
LPT									
TTG	4245.45	0.74	0.425	4.42	93.85	1110.25	1756	296	4672
TGP	3702.54	0.74	0.43	4.15	92.69	802.88	1755	236	4666
TTA	3955.02	0.74	0.435	4.17	91.48	989.28	1809	259	4794
YTG	3845.87	0.74	0.435	4.06	91.34	881.96	1819	261	4743
SPT									
TTG	2936.22	0.79	0.62	9.15	38.32	907.45	2576	300	5620
TGP	2804.92	0.79	0.62	8.84	36.46	761.54	2597	266	5645
TTA	2874.55	0.78	0.625	9.1	36.16	794.63	2601	296	5679
YTG	2918.9	0.79	0.62	8.99	36.09	821.82	2606	306	5679
EDD									
TTG	7424.31	0.76	0.53	9.8	63.26	1911.04	2174	1203	5155
TGP	7210.37	0.76	0.54	9.63	61.19	1753.55	2219	1228	5210
TTA	7160.08	0.76	0.545	9.83	60.06	1743.05	2229	1222	5229
YTG	7172.68	0.76	0.545	9.9	60.21	1743.28	2230	1230	5237

Ortalama akış zamanı; 1. konfigrasyonda sisteme parti giriş hızında bir düşme olmaktadır. Bu nedenle sistem önünde bekleyen partilerin sayısı ve bekleme süreleri arttığından ortalama akış zamanı da artırmaktadır. Sistem önünde bekleyen partilerin adetleri fazla olduğunda aynı işlerin arka arkaya sisteme girmelerini sağlayan SPT ve LPT stratejilerinde ortalama akış zamanları daha düşük çıkmaktadır. Bu stratejilerde takım grubundaki takımların sayısı daha düşük olduğu için daha az hazırlık zamanını gerektiren TGP stratejisinde ortalama akış zamanı daha da düşük çıkmaktadır (Şekil 6.17).



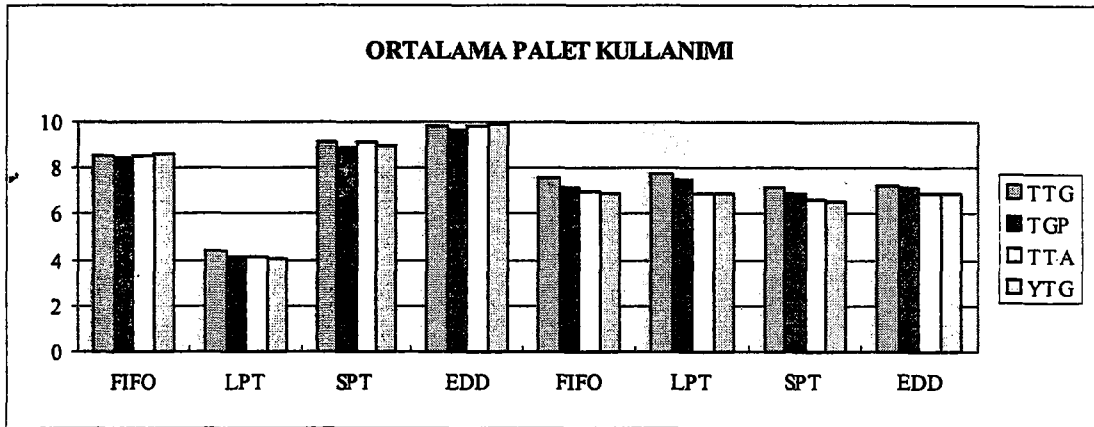
Şekil 6.18 Senaryo 2'de sistemin verimi

Sistemin verimi; 1. konfigrasyonda sistem içindeki parça rotaları nedeniyle birbirine bağlı olan hücrelerdeki verim düşmesi, sistem veriminde bir düşüşe yol açmakta ve parça çıkışının hızlı olduğu SPT stratejisinde verim değeri biraz daha yüksek çıkmaktadır (Şekil 6.18).



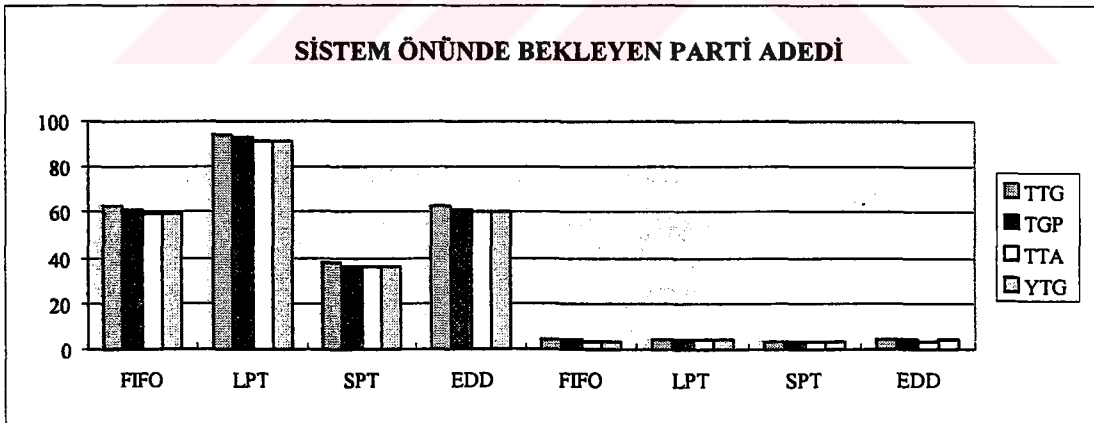
Şekil 6.19 Senaryo 2'de OTA kullanım oranı

OTA kullanım oranı; 1. konfigrasyonda, sistem içinde en çok parçanın hareket ettiği SPT stratejisinde en yüksek OTA kullanımı elde edilmiş ve bulunan değerler sistem içerisinde hareket eden parçaların sayısına bağlı olarak gerçekleşmiştir. Buna karşılık LPT'nin en uzun işlem zamanlarına sahip parçaları öncelikli olarak sisteme alması, sistemde hareket eden parça adedinde düşüşe neden olduğu için OTA kullanımı da düşük olmaktadır (Şekil 6.19).



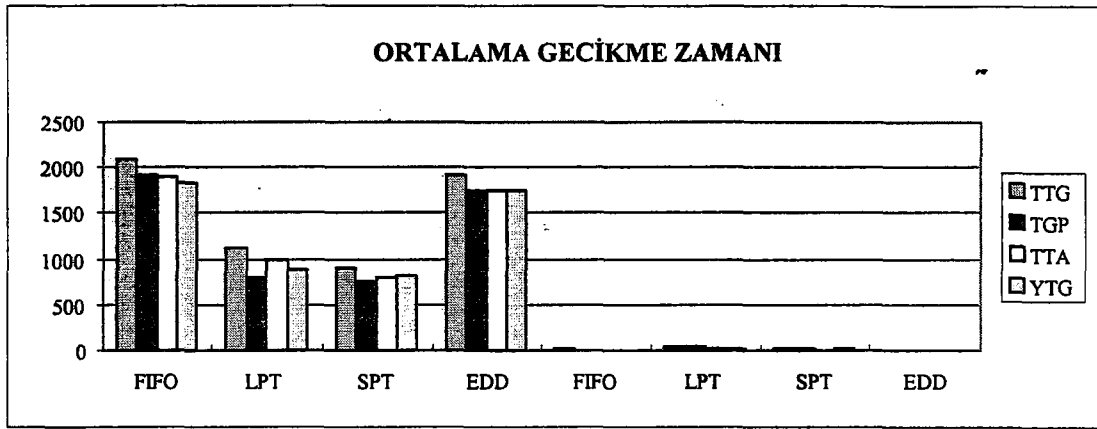
Şekil 6.20 Senaryo 2'de ortalama palet kullanımı

Ortalama palet kullanımı; 1. konfigürasyonda sistem içerisinde aynı anda bulunan parçaların sayısı SPT ve EDD stratejilerinde daha fazla olduğu için, ortalama palet kullanım adetleri yüksek ve en az parça bulunduran LPT'de ise en az çıkmıştır. 2. konfigürasyonda ise, sistem içerisinde bulunan parçaların sayısı birbirine yakın olduğu için çizelgeleme stratejileri arasında büyük farklılıklar oluşmamıştır (Şekil 6.20).

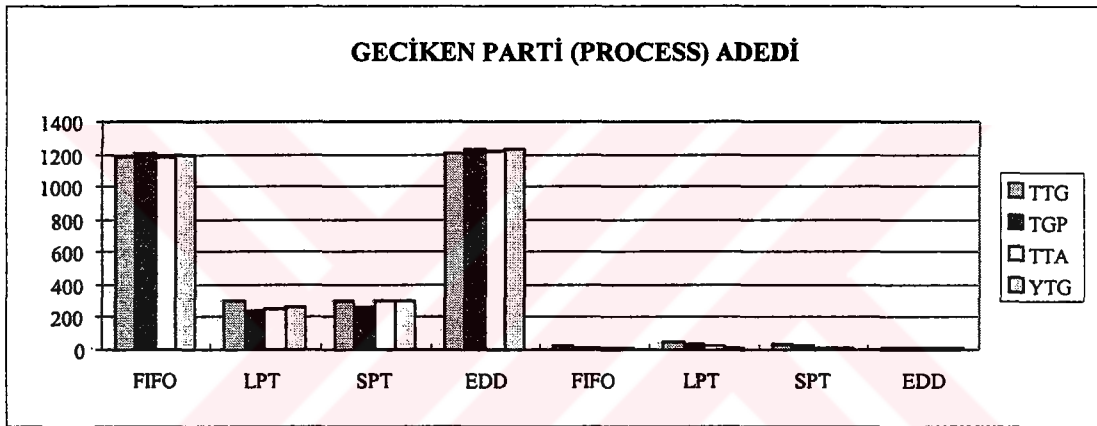


Şekil 6.21 Senaryo 2'de sistem önünde bekleyen parti adedi

Sistem önünde bekleyen parti adedi; 1. konfigürasyonda, sisteme parça çekme hızı sisteme parça geliş hızından daha düşük oluşu, sistem önünde bekleyen ortalama parti miktarını arttırmış ve SPT stratejisi diğer stratejilere nazaran daha hızlı bir parça akışı (Şekil 6.17) sağladığı için en düşük değeri vermiştir (Şekil 6.21).

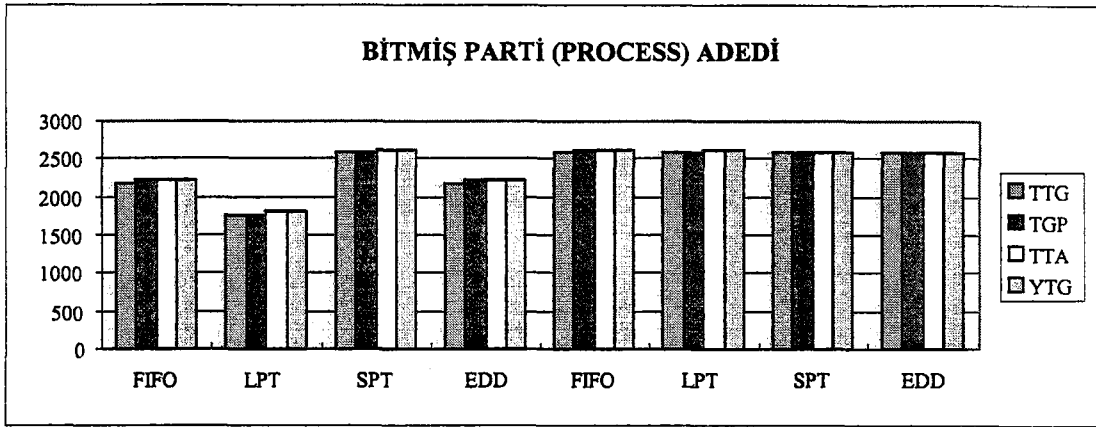


Şekil 6.22 Senaryo 2'de ortalama gecikme zamanı

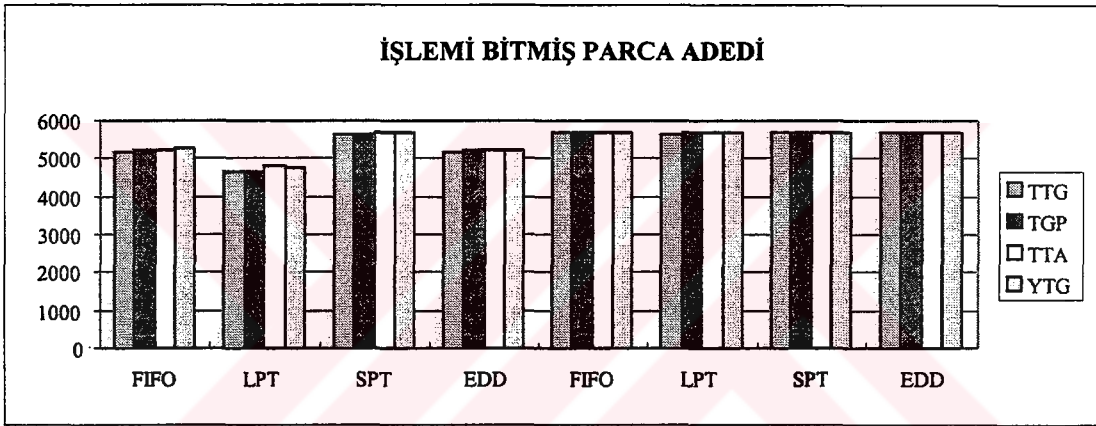


Şekil 6.23 Senaryo 2'de geciken parti adedi

Ortalama gecikme zamanı ve adedi; 1. konfigrasyonda en az gecikme SPT stratejisinde olmaktadır. Teslim zamanına dayalı bir çizelgeleme kuralı olan EDD 'de sisteme parça giriş hızı yavaş olduğu için sistem önünde bekleme daha uzun olmakta buda gecikmelerin artmasına neden olmaktadır (Şekil 6.23).

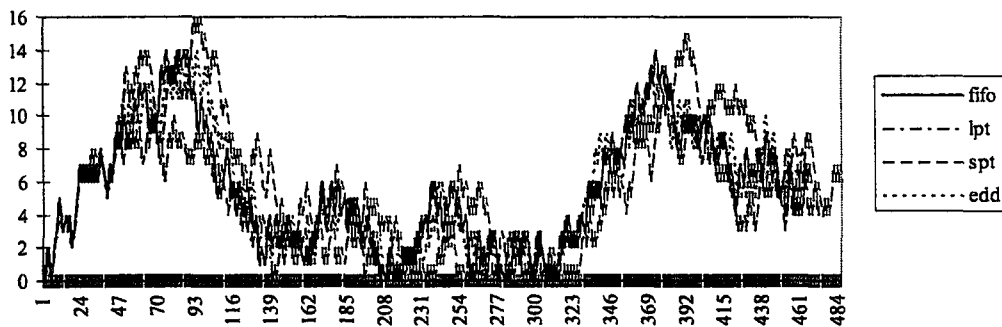


Şekil 6.24 Senaryo 2'de bitmiş parti adedi

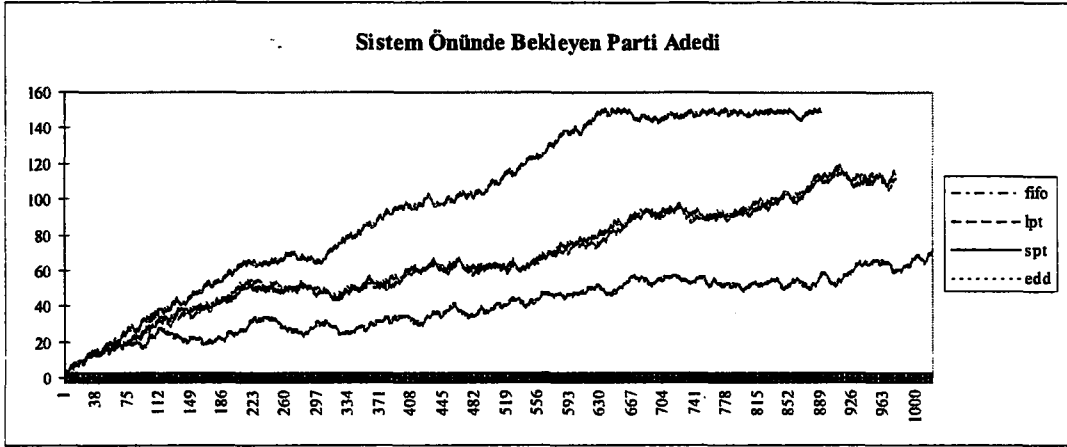


Şekil 6.25 Senaryo 2'de işlemi bitmiş parça adedi

Optimal Konfigürasyonda Sistem Önünde Bekleyen Parti Adedi

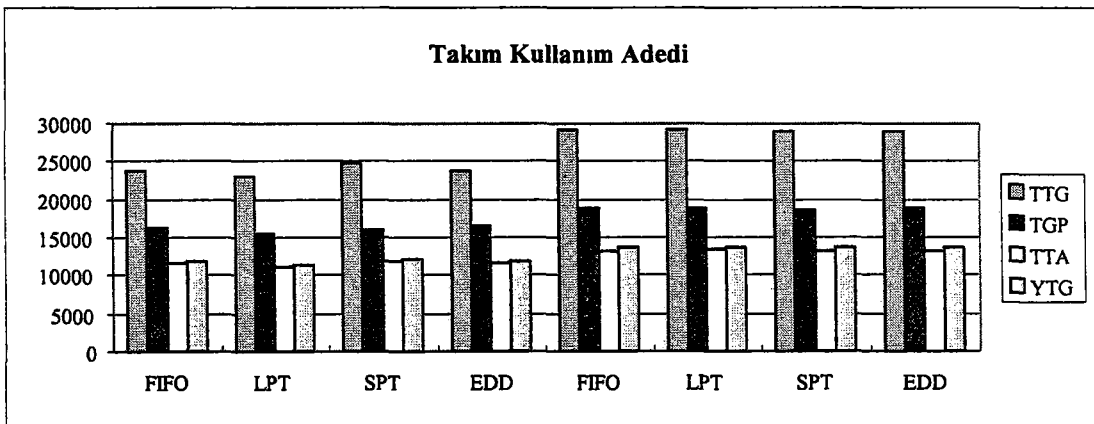


Şekil 6.26 a Optimal konfigürasyonda sistem önünde bekleyen partilerin sayısı



Şekil 6.26 b Optimal olmayan konfigürasyonda sistem önünde bekleyen partilerin sayısı

İşlemi bitmiş parça adedi; 1. konfigürasyondaki SPT, 2. konfigürasyondan elde edilen değerlere yakın çıkmaktadır (Şekil 6.25). Fakat bu değerler, sisteme parça girişinin sağlandığı hücreler tam kapasite ile çalıştığı için alabileceği maksimum değerlerdir. Talepte bir genişleme olduğu zaman veya yeni bir ürünün üretimine başlandığı zaman bu değerlerin üzerine çıkılması mümkün değildir. Ayrıca sistem önünde bulunan partilerin sayısı (Şekil 6.26 b) artan bir trend gösterdi için işlem zamanına dayalı stratejilerde bazı parçaların sisteme girememesi durumu olabilmektedir.

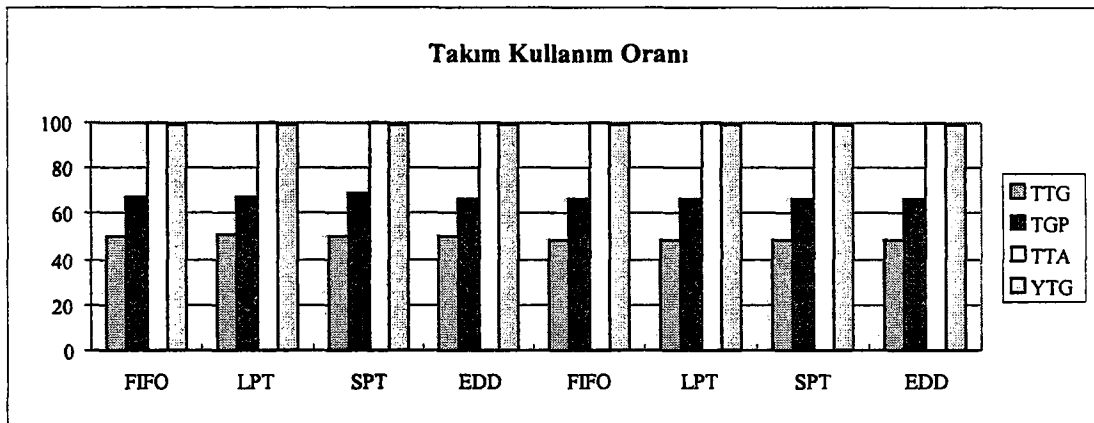


Şekil 6.27 Senaryo 2'de takım kullanım adedi

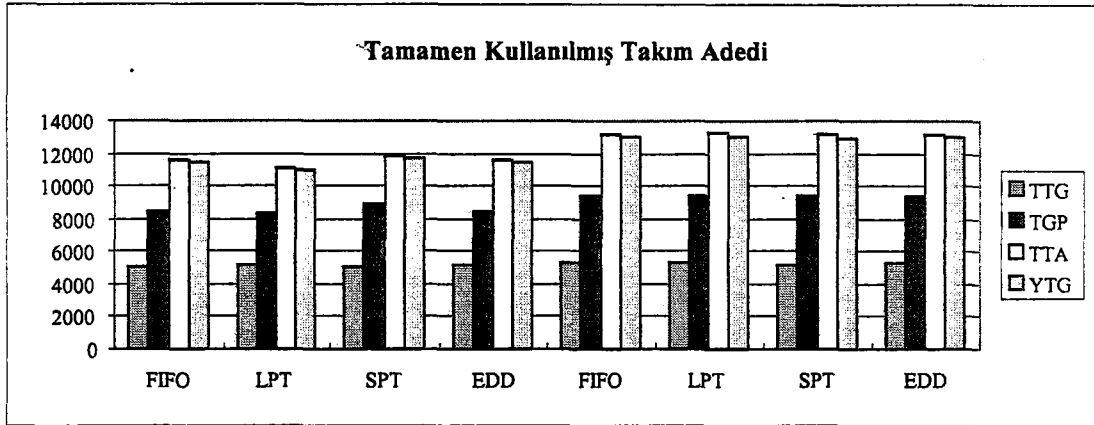
Tablo 6.10 1.konfigrasyonun takım performans değerleri

FIFO	TKA	TKO	TKTA	TTA	TOT
TTG	23731	50	5101	18630	5101
TGP	16362	67	8412	11742	4620
TTA	11677	100	11591	8574	3103
YTG	12008	99	11413	8774	3234
LPT					
TTG	22895	51	5224	17671	5224
TGP	15532	67	8305	10868	4664
TTA	11162	100	11098	7935	3227
YTG	11495	99	10947	8148	3347
SPT					
TTG	24917	50	5126	19791	5126
TGP	16074	69	8955	11486	4588
TTA	11871	100	11797	8786	3085
YTG	12201	99	11663	9001	3200
EDD					
TTG	23785	50	5143	18642	5143
TGP	16460	66	8443	11809	4651
TTA	11686	100	11613	8552	3134
YTG	12013	99	11447	8759	3254

Takım kullanım adedi; her iki konfigrasyonda da takım yönetim stratejileri arasında oluşan oransal farklar birbirine yakın çıkmaktadır (Şekil 6.27). Takım adedi olarak oluşan farklar ise sistemde işlenen parça adetlerindeki (Şekil 6.25) farklılardan oluşmaktadır.

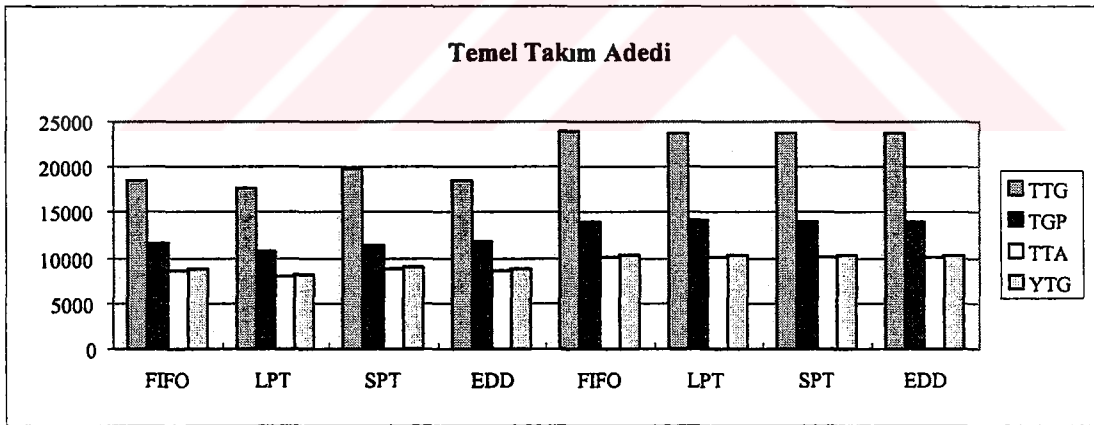


Şekil 6.28 Senaryo 2'de takım kullanım oranı

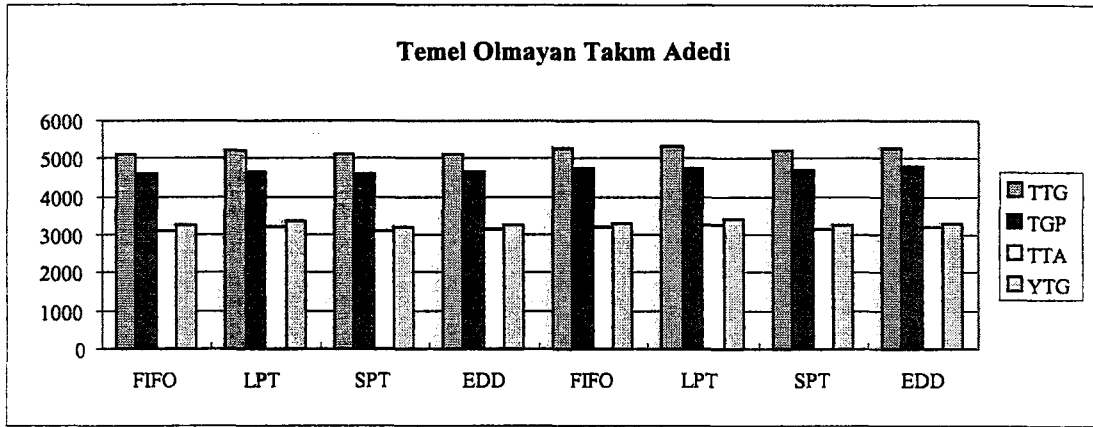


Şekil 6.29 Senaryo 2'de tamamen kullanılmış takım adedi

Her iki konfigürasyonda da takım yönetimi stratejilerinde, **takım kullanı oranları** (Şekil 6.28) ve **tamamen kullanılmış takım adedi** (Şekil 6.29) değerleri birbirine çok yakın çıkmaktadır. 1. konfigürasyonda SPT stratejisindeki TGP değeri, diğer çizelgeleme stratejilerinden elde edilen TGP değerlerinden daha önceden belirtilen nedenle daha iyi çıkmıştır.



Şekil 6.30 Senaryo 2'de temel takım adedi



Şekil 6.31 Senaryo 2'de temel olmayan takım adedi

Temel takım adedi; her iki konfigasyondan elde edilen takım yönetimi stratejileri arasındaki oransal farklar burada da birbirine yakın çıkmaktadır(Şekil 6.30). 1.

konfigasyondaki SPT stratejisinde işlenen parça adedi(Şekil 6.25) en fazla olduğu için takım yönetimi stratejilerinden elde edilen temel takım adedi değerleri de biraz daha yüksektir.

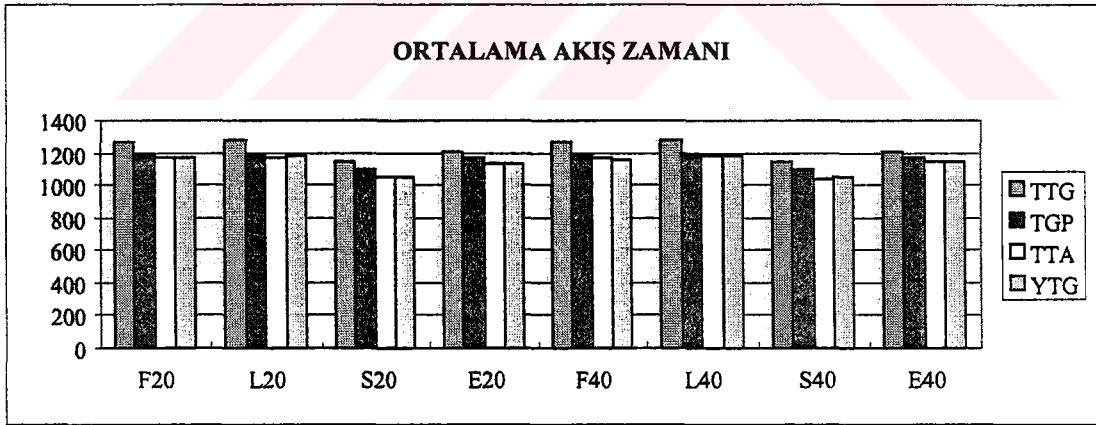
6.8.3. Senaryo3 (magazin kapasitesinin etkisi)

Bu senaryoda aşağıda sistem elemanları verilen EİS'ne tezgahlardaki magazin kapasitelerinin sistem performansına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla diğer sistem elemanları sabit olmak üzere sistemde 20 ve 40 takım kapasiteli magazinelere göre sistemin performans değerleri belirlenmiştir.

<u>Sistemim elemanları</u>	<u>Adetleri</u>
Küçük prizmatik parça tezgahı	2
Büyük prizmatik parça tezgahı	4
Küçük silindirik parça tezgahı	3
Büyük silindirik parça tezgahı	1
Silindirik parça taşlama tezgahı	2
Prizmatik parça taşlama tezgahı	2
Kontrol elemanı	2
OTA sayısı	2
Magazin Kapasitesi	20 ve 40
Palet kapasitesi	40
Giriş-Çıkış ara stok kapasitesi	6

Tablo 6.11 20 takım kapasiteli magazine göre elde edilen sistem performans değerleri

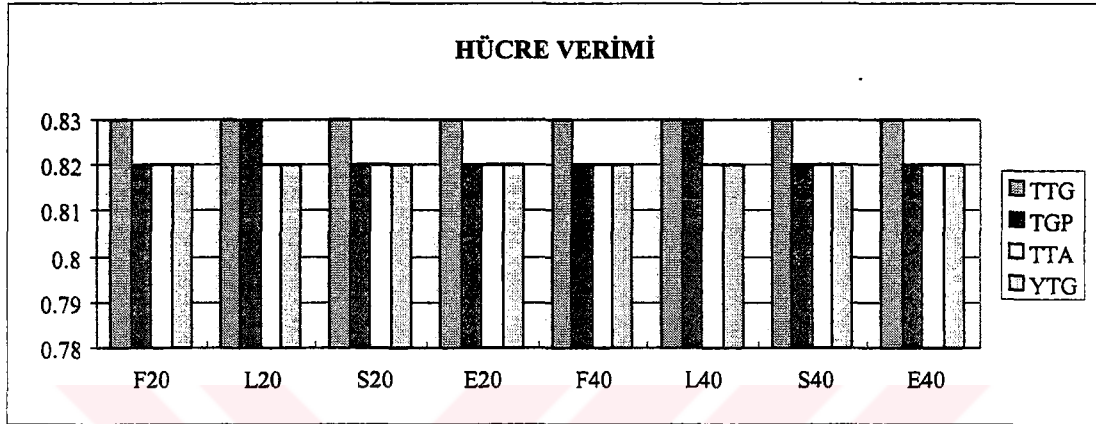
M 20	Ort.Ak. Zam(dk)	Sistem Verimi	OTA Verimi	Ort. Palet Kul(adet)	Ort.Bek. Par.(adet)	Ort.Gec. (dk)	Parti Ad. (adet)	Ort.Gec. Par (adet)	Parça Ad. (adet)
FIFO									
TTG	1261.44	0.83	0.61	7.57	4.1	32.25	2598	29	5674
TGP	1191.09	0.82	0.605	7.18	3.98	5.9	2600	17	5683
TTA	1168.19	0.82	0.605	6.98	3.88	2.64	2603	14	5700
YTG	1166.38	0.82	0.6	6.91	3.89	1.86	2604	13	5708
LPT									
TTG	1283.78	0.83	0.605	7.89	4.37	65.16	2596	39	5664
TGP	1199.32	0.83	0.605	7.43	4.18	39.72	2598	39	5677
TTA	1173.43	0.82	0.6	7.14	4.1	38.88	2603	35	5708
YTG	1187.9	0.82	0.6	7.33	4.1	47.15	2601	27	5698
SPT									
TTG	1141.13	0.83	0.605	7.14	3.63	11.6	2589	17	5662
TGP	1098.93	0.82	0.6	6.83	3.57	11.63	2596	18	5698
TTA	1052.46	0.82	0.595	6.48	3.45	4.4	2600	10	5702
YTG	1055.33	0.82	0.595	6.53	3.45	19.28	2599	10	5701
EDD									
TTG	1210.44	0.83	0.605	7.26	4.09	9.77	2589	17	5666
TGP	1171.43	0.82	0.605	7.13	3.94	4.46	2590	13	5674
TTA	1134.9	0.82	0.6	6.74	3.95	3.53	2592	10	5693
YTG	1135.29	0.82	0.6	6.79	3.87	4.78	2594	11	5702



Şekil 6.32 Senaryo 3'de ortalama akış zamanı

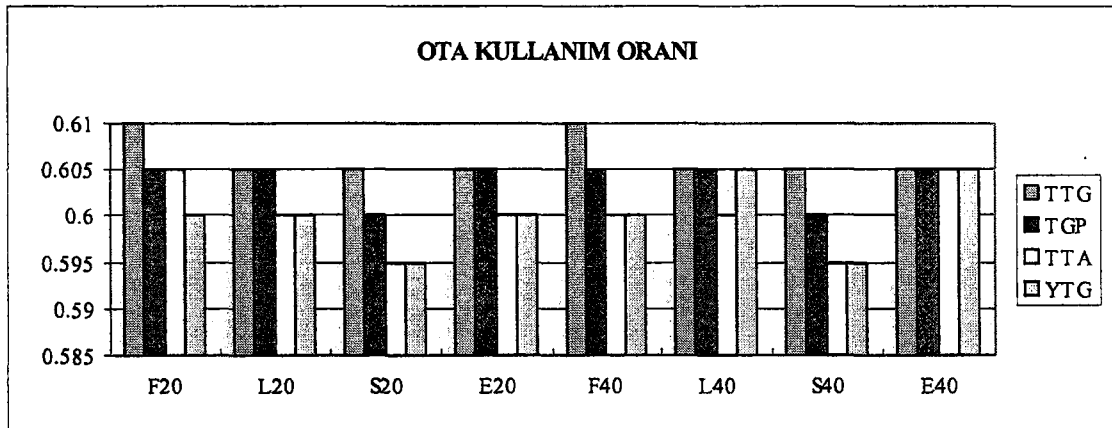
Ortalama akış zamanı; 20 ve 40 magazin kapasiteli sistemlerden elde edilen değerler arasında; her iki sistemde de kullanılan takım yönetimi stratejilerinde ortaya çıkan takım grubu sayılarının birbirine çok yakın olmasıyla hazırlık zamanlarının birbirine yakın çıkmasından kaynaklanmakta ve sonuçta büyük farklılıklar görülmemektedir (Şekil 6.32). Çizelgeleme stratejilerine bakıldığında;

SPT stratejisi kısmen daha iyi değerler vermiştir; takım yönetimi stratejileri ise daha az takım grubuna ihtiyaç duyan TTA ve YTG stratejileri hangi çizelgeleme stratejisi ile kullanılırsa kullanılsın diğer takım yönetimi stratejilerinden daha iyi sonuçlar vermiştir.



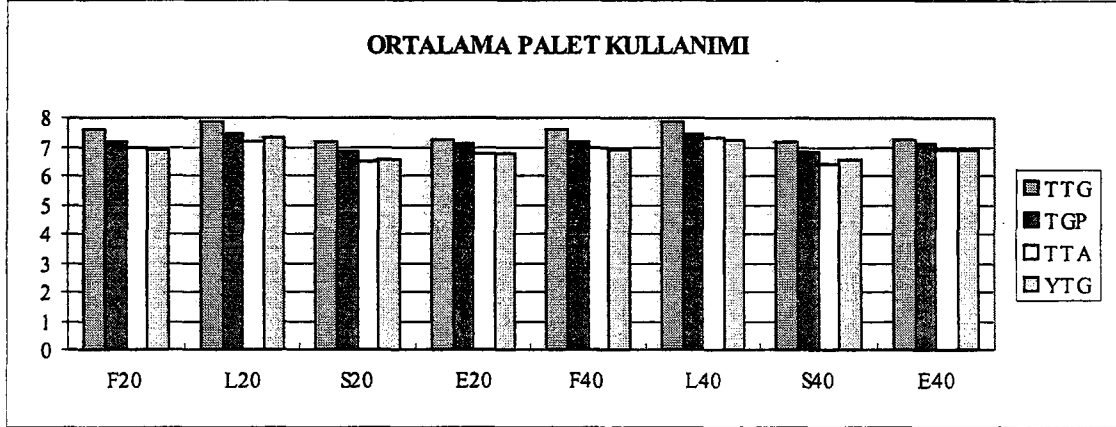
şekil 6.33 Senaryo 3'de sistem verimi

Sistemin verimi; Sistemin takım yükünü her iki magazin kapasitesi de taşıyabildiği için hücre verimlerine bir etkisi yoktur (şekil 6.33). TTG ve TGP takım yönetimi stratejilerinin verimlerinin yüksek çıkması; hazırlık zamanlarının verimin içerisinde kabul edilmesinden kaynaklanmaktadır. Birinci senaryoda da açıklandığı üzere; bu iki takım yönetimi stratejisinin daha çok hazırlık zamanına ihtiyaç duyması sistem verimini daha yüksek göstermektedir.



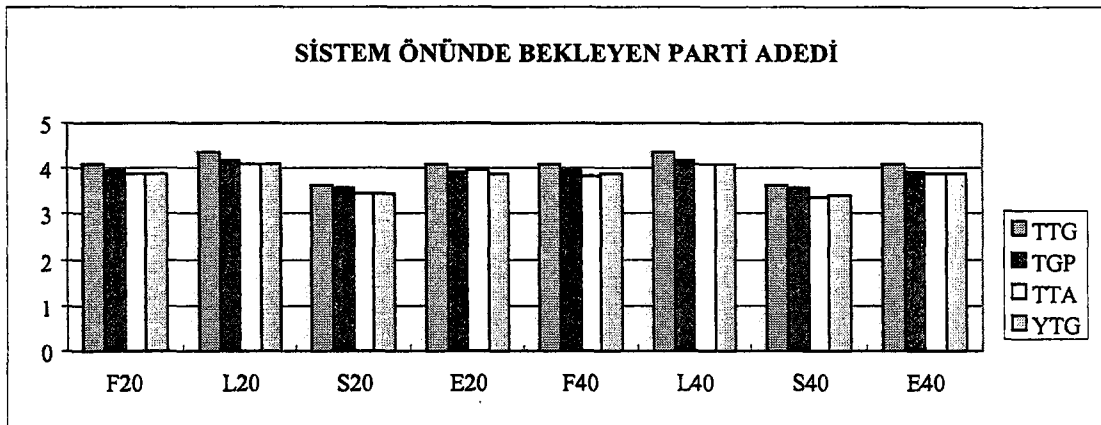
şekil 6.34 Senaryo 3'de OTA kullanım oranı

OTA kullanım oranı; AS/RS kullanımı sonucu küçük farklılıklar görülmekle birlikte, OTA kullanım oranlarında bir birine çok yakın sonuçlar vermiştir (Şekil 6.34). AS/RS'i daha az kullanan SPT'de OTA kullanım oranı en düşük olmuştur.



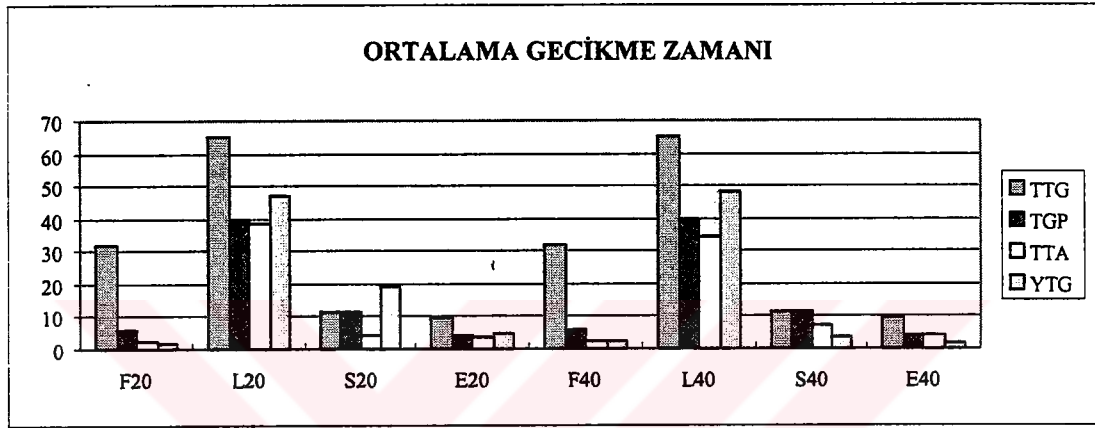
Şekil 6.35 Senaryo 3'de ortalama palet kullanımı

Ortalama palet kullanımı; kullanılan her iki magazin kapasitesi sistemin gereklerini aynı oranda karşılayabildiği için elde edilen değerler hemen hemen aynıdır (Şekil 6.35). Burada da çizelgeleme stratejisi olarak SPT, takım yönetimi stratejisi olarak ise TTA ve YTG stratejilerinde daha önceki performans kriterleri yorumlanırken verilen nedenlerle daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

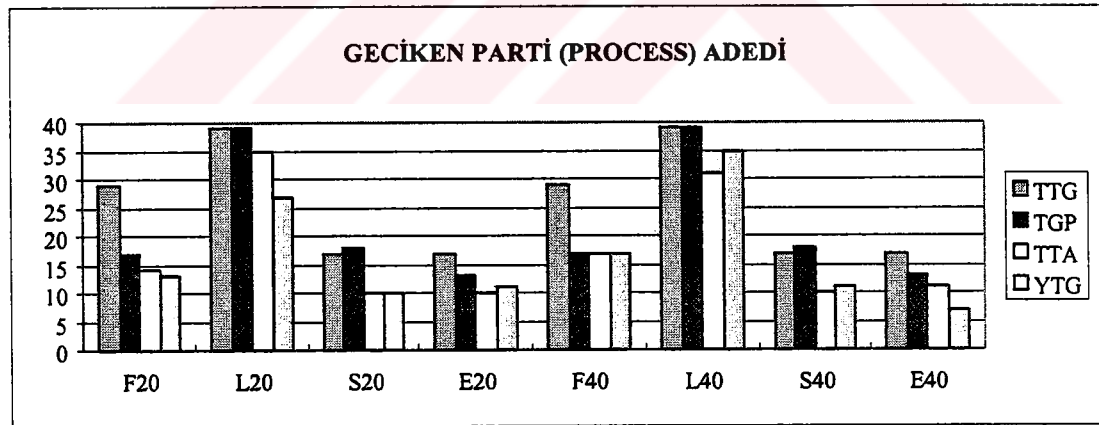


Şekil 6.36 Senaryo 3'de sistem önünde bekleyen iş sayısı

Sistem önünde bekleyen iş sayısı; hem 20'lik hem de 40'lık magazinden elde edilen çizelgeleme strateji değerleri birbirine çok yakın sonuçlar vermiştir (Şekil 6.36). Burada da çizelgeleme stratejisi olarak SPT, takım yönetimi stratejisi olarak ise TTA ve YTG stratejileri ortalama akış zamanlarının diğer stratejilerden düşük oluşu, sistem önünde bekleyen iş sayılarının diğer stratejilere göre elde edilen değerlerden daha düşük olmasına neden olmuştur.



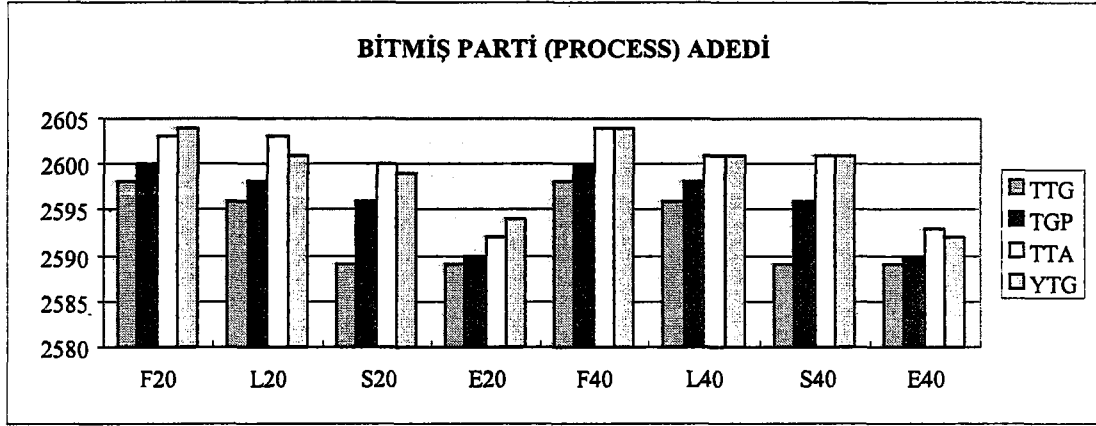
Şekil 6.37 Senaryo 3'de ortalama gecikme zamanı



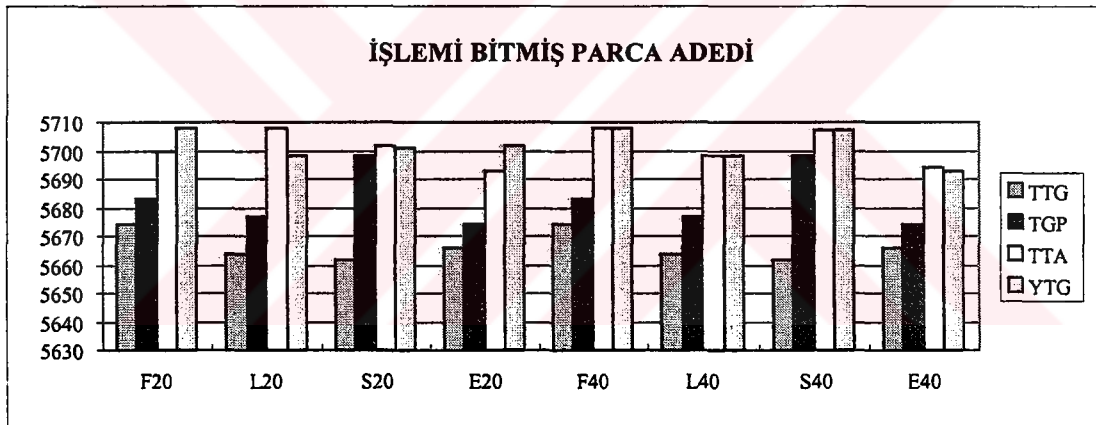
Şekil 6.38 Senaryo 3'de ortalama gecikme adedi

Ortalama geçikme zamanı ve adedi; LPT'de ortalama akış süresinin en yüksek değerleri alması; en büyük gecikmenin ortaya çıkmasına neden olmuştur, en iyi değerler ise ortalama akış zamanları (Şekil 6.32) daha düşük olan EDD ve SPT çizelgeleme stratejilerinden elde edilmiştir. Takım yönetimi stratejileri açısından

bakılacak olursa; daha az hazırlık zamanı gerektiren TTA ve YTG stratejileri burada da daha iyi sonuçlar vermiştir (Şekil 6.37 ve Şekil 6.38).



Şekil 6.39 Senaryo 3'de bitmiş parti adedi

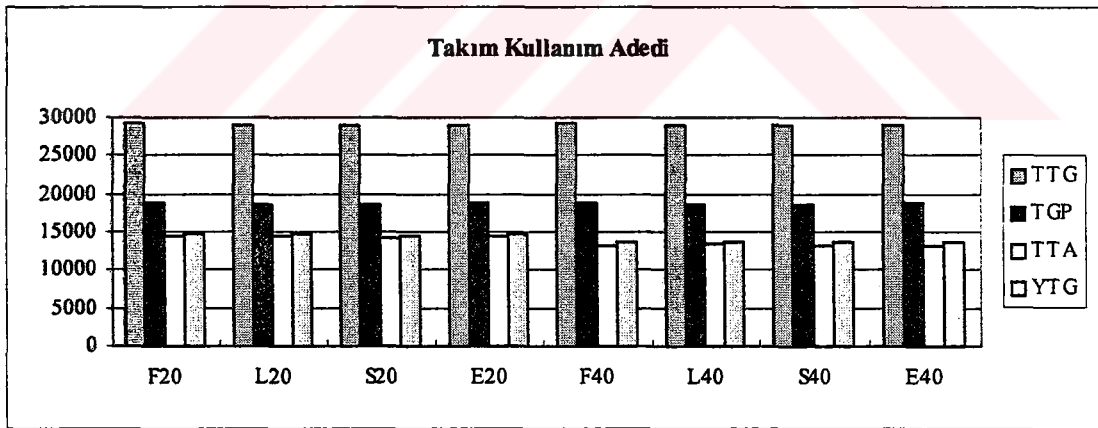


Şekil 6.40 Senaryo 3'de işlemi bitmiş parça adedi

İşlemi bitmiş parça adedi; 20 ve 40 takım kapasiteli magazinler sistemin ihtiyaçlarını hemen hemen aynı oranda karşılabildikleri için, çizelgeleme stratejilerinde işlemi bitmiş parçaların sayısı birbirlerine çok yakın çıkmaktadır (Şekil 6.40). Burada da çizelgeleme stratejisi olarak SPT ve daha az hazırlık zamanına neden olan TTA ve YTG takım yönetimi stratejilerinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 6.12 Takım performans değerleri

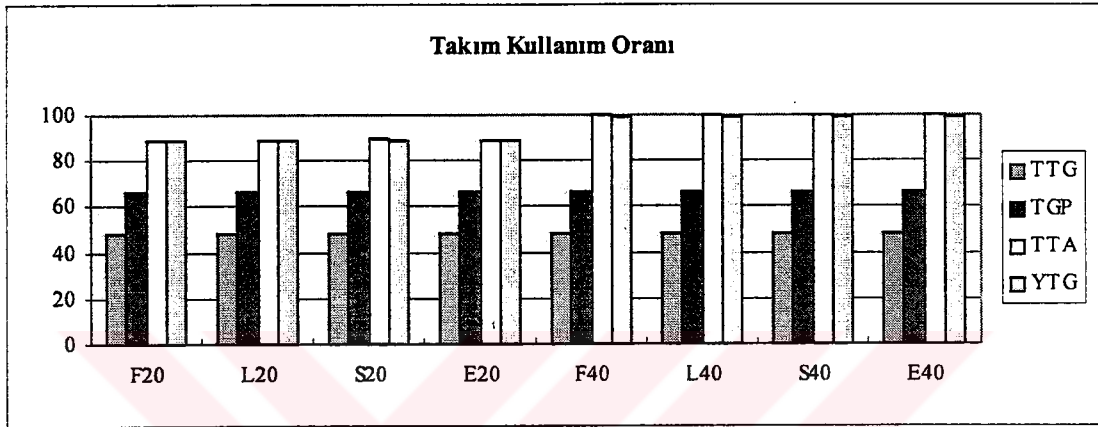
FIFO	TKA	TKO	TKTA	TTA	TOT
TTG	29108	48	5265	5265	23843
TGP	18850	66	9370	4776	14074
TTA	14439	89	11212	3545	10894
YTG	14646	89	11686	3738	10908
LPT					
TTG	29078	48	5324	5324	23754
TGP	18693	66	9437	4827	13866
TTA	14518	89	11208	3628	10890
YTG	14700	89	11727	3817	10883
FIFO					
TTG	29002	48	5185	5185	23817
TGP	18701	66	9378	4642	14059
TTA	14320	90	11160	3462	10858
YTG	14539	89	11665	3651	10888
EDD					
TTG	29068	48	5264	5264	23804
TGP	18861	66	9365	4818	14043
TTA	14466	89	11244	3529	10937
YTG	14626	89	11672	3728	10898



Şekil 6.41 Senaryo 3'de toplam takım kullanım adedi

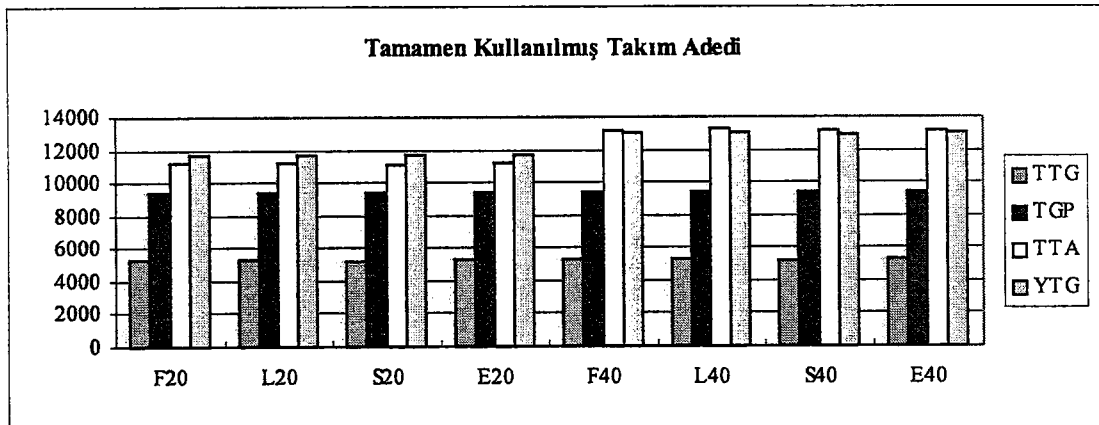
Kullanılan toplam takım adedi; parçaların işlenmesi için gerekli olan takımların sayısı magazin kapasitelerinden düşük olduğundan her iki magazin kapasitesinde de tüm TTG ve TGP stratejilerinde bulunan değerler aynı çıkmaktadır, fakat TTA ve YTG stratejilerinde ömürleri bitmemiş takımlar magazinde tutulduğundan magazin kapasitesi ile doğrudan ilgilidir. 20 takım kapasiteli magazinde yeni atanacak takımlar için ömrü bitmemiş takımların magazinden çıkartılması 40 takım kapasiteli

magazinlerden daha çok tekrarlandığı için, 20 takım kapasiteli sistemde elde edilen TTA ve YTG değerleri 40 takım kapasiteli sisteme göre daha yüksek olmuştur ve 40 magazin kapasiteli sistemde TTG stratejisine göre % 55 ve %53 'lük takım tasarrufu sağlanırken, 20 magazin kapasiteli sistemde TTG stratejisine göre %51 ve %50'lik tasarruflar sağlanmıştır (Şekil 6.41).



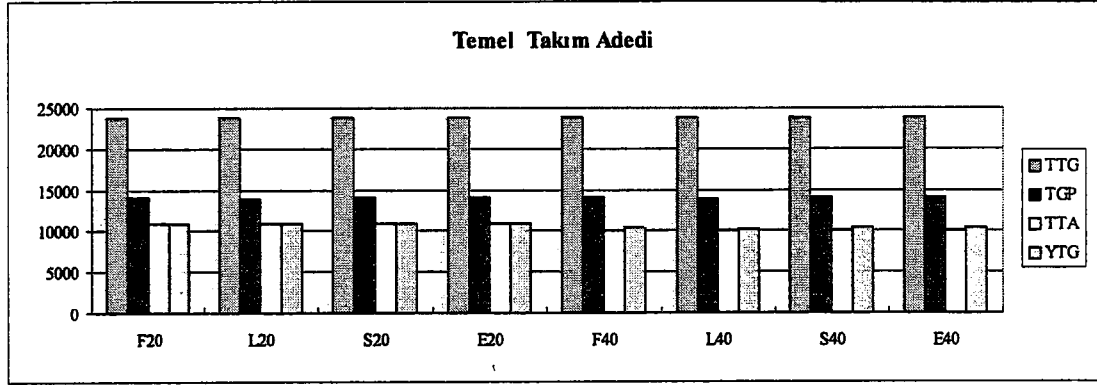
Şekil 6.42 Senaryo 3'de takım kullanım oranı

Takım kullanım oranı; TTG ve TGP stratejilerinde kullanılan toplam takım adedi değeri değişmediği için takım kullanım oranları da aynı olmuştur. 20 magazin kapasiteli sistemde TTA ve YTG stratejilerinde aynı parçaları işleyebilmek için daha çok takıma ihtiyaç duyulduğundan, takım kullanım oranlarında azalma ortaya çıkmıştır (Şekil 6.42).

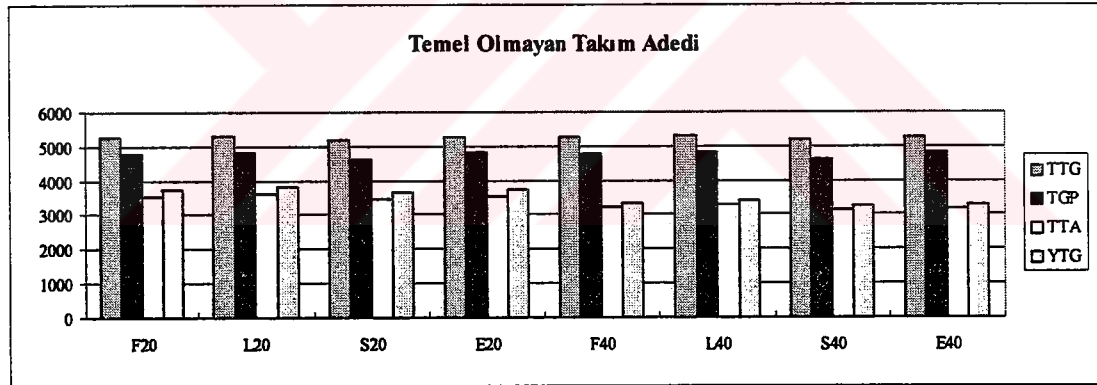


Şekil 6.43 Senaryo 3'de tamamen kullanılmış takım adedi

Tamamen kullanılmış takım adedi; 20 magazin kapasiteli sistemlerde magazin kapasitesinin daha düşük oluşu TTA ve YTG stratejilerinde ömrü bitmeden çıkartılan takımların sayısını artmakta ve bu da tamamen kullanılmış takım sayılarını azaltmaktadır (Şekil 6.43).



Şekil 6.44 Senaryo 3'de temel takım adedi



Şekil 6.45 Senaryo 3'de temel olmayan takım adedi

Temel takım adedi; gerek 20 gerekse 40 takım magazin kapasitesi, TTG ve TGP stratejilerinde oluşan takım sayısının üzerinde oluşu nedeniyle her iki durumda da elde edilen değerler aynı olmuştur. TTA ve YTG stratejilerinde ise ömrü kalan takımlar magazinde tutulduğu için elde edilen değerler farklı olmuş ve 20 takım kapasiteli sistemden elde edilen değerler biraz daha artmıştır (Şekil 6.44).

6.8.4 Senaryo 4 (parti büyüklüğü ve palet kapasitesinin etkisi)

Bu senaryoda optimal sistem konfigrasyonunda sistemin performans değerleri sisteme gelen partilerin parti büyüklükleri arttırıldığında veya sistemde kullanılan palet kapasitelerinde bir artma sağlandığında belirlenmiş ve bu amaçla iki yaklaşım uygulanarak, diğer senaryolarda baz alınan parti büyüklüğü ve palet kapasitesi kullanıldığında elde edilen değerlerle birlikte sunulmuş ve yorumlanmıştır. Bu senaryoda uygulanan iki yaklaşımla ilgili palet kapasiteleri ve parti büyüklük değerleri Tablo 6.13'de verilmiştir.

Tablo 6.13 Senaryo 4'deki yaklaşımlarda kullanılan değerler

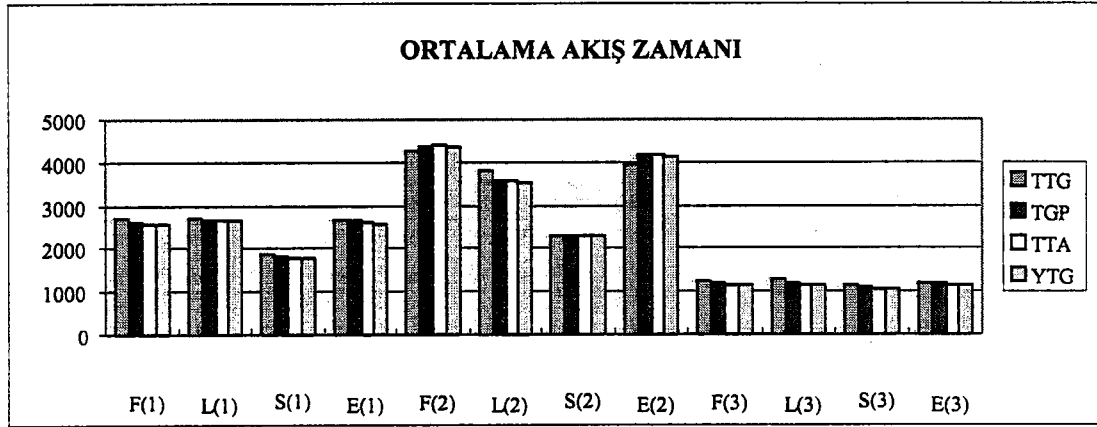
Parça Tipi	Birinci Yaklaşım		İkinci Yaklaşım		Üçüncü Yaklaşım	
	Palet Kapasitesi	Parti Büyüklüğü	Palet Kapasitesi	Parti Büyüklüğü	Palet Kapasitesi	Parti Büyüklüğü
Parça 1	7	14	5	15	5	10
Parça 2	6	18	4	16	4	12
Parça 3	10	20	8	24	8	16
Parça 4	10	20	8	24	8	16
Parça 5	6	18	4	16	4	12
Parça 6	7	14	5	15	5	10
Parça 7	7	14	5	15	5	10
Parça 8	7	14	5	15	5	10
Parça 9	6	18	4	16	4	12
Parça 10	10	20	8	24	8	16
Parça 11	10	20	8	24	8	16
Parça 12	10	20	8	24	8	16
Parça 13	4	12	2	12	2	10
Parça 14	10	20	8	24	8	16
Parça 15	4	12	2	12	2	10
Parça 16	10	20	8	24	8	16
Parça 17	4	12	2	12	2	10
Parça 18	10	20	8	24	8	16
Parça 19	1	10	1	10	1	10
Parça 20	1	10	1	10	1	10
Parça 21	1	10	1	10	1	10
Parça 22	1	10	1	10	1	10
Parça 23	1	10	1	10	1	10
Parça 24	1	10	1	10	1	10
Parça 25	1	10	1	10	1	10
Parça 26	1	10	1	10	1	10
Parça 27	1	10	1	10	1	10
Parça 28	1	10	1	10	1	10
Parça 29	1	10	1	10	1	10
Parça 30	1	10	1	10	1	10

Tablo 6.14 1. yaklaşımdan elde edilen performans değerleri

(1)	Ort.Ak. Zam(dk)	Sistem Verimi	OTA Verimi	Ort. Palet Kul(adet)	Ort.Bek. Par.(adet)	Ort.Gec. . (dk)	Parti Ad. (adet)	Ort.Gec. Par (adet)	Parça Ad. (adet)
FIFO									
TTG	2712.44	0.92	0.625	13.06	43.02	585.08	2468	360	5844
TGP	2595.51	0.91	0.605	13.85	41.37	743.33	2422	348	5807
TTA	2560.55	0.91	0.615	13.93	40.43	640.32	2451	352	5846
YTG	2561.85	0.91	0.615	14.04	40.54	655.41	2449	354	5854
LPT									
TTG	2703.77	0.93	0.63	11.83	53.79	516.03	2507	205	5875
TGP	2669.41	0.92	0.62	12.72	51.76	615.41	2478	211	5842
TTA	2648.75	0.92	0.62	12.54	50.12	411.6	2493	209	5866
YTG	2668.47	0.91	0.605	13.23	50.96	443.95	2424	228	5808
SPT									
TTG	1868.42	0.9	0.64	12.98	35.13	120.44	2539	129	6014
TGP	1853.97	0.9	0.64	12.61	35.02	140.46	2545	139	6020
TTA	1804.54	0.89	0.64	13.27	33.73	175.27	2550	146	6045
YTG	1810.08	0.89	0.635	13.45	33.68	153.52	2530	140	6025
EDD									
TTG	2678.79	0.92	0.625	12.78	42.87	489.05	2481	354	5864
TGP	2661.41	0.9	0.61	13.46	41.5	672.63	2412	346	5815
TTA	2596.39	0.9	0.605	13.56	40.73	759.9	2409	320	5815
YTG	2588.65	0.91	0.615	13.36	40.63	598.23	2435	314	5834

Tablo 6.15 2. yaklaşımdan elde edilen performans değerleri

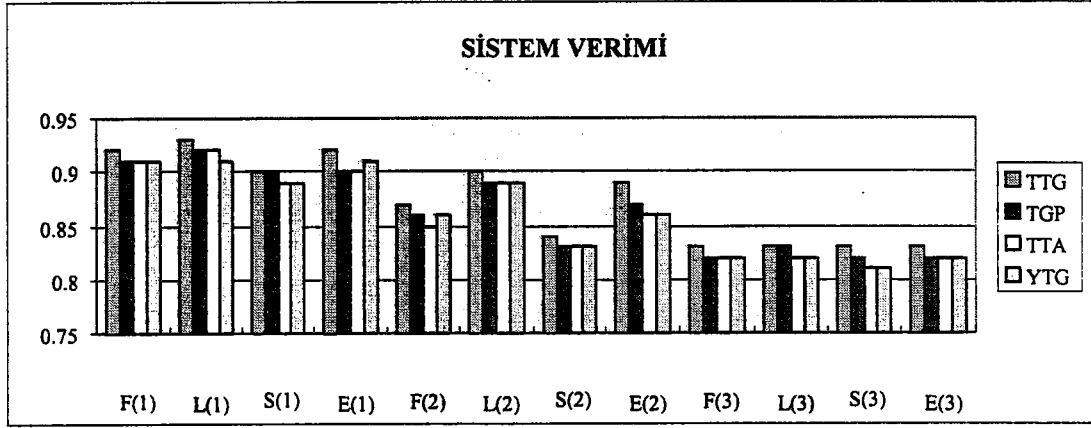
(2)	Ort.Ak. Zam(dk)	Sistem Verimi	OTA Verimi	Ort. Palet Kul(adet)	Ort.Bek. Par.(adet)	Ort.Gec. (dk)	Parti Ad. (adet)	Ort.Gec. Par (adet)	Parça Ad. (adet)
FIFO									
TTG	4263.16	0.87	0.635	15.83	65.72	1713.81	2554	710	5614
TGP	4342.66	0.86	0.63	16.3	65.82	1610.05	2564	710	5651
TTA	4405.97	0.85	0.62	16.28	65.88	1776.67	2509	804	5619
YTG	4362.2	0.86	0.625	16.62	65.53	1592.4	2550	748	5651
LPT									
TTG	3802.17	0.9	0.595	14.67	80.26	820.76	2332	478	5581
TGP	3566.94	0.89	0.6	15.03	77.62	667.3	2371	455	5619
TTA	3558.06	0.89	0.595	15.24	77.03	678.84	2349	464	5602
YTG	3528.63	0.89	0.595	15.15	76.79	856.01	2365	463	5618
SPT									
TTG	2290.56	0.84	0.655	16.96	52.48	405.14	2721	234	5841
TGP	2301.79	0.83	0.655	16.9	52.02	408.64	2730	230	5854
TTA	2301.52	0.83	0.66	16.95	51.76	436.95	2748	231	5891
YTG	2307.98	0.83	0.66	17.05	51.69	561.97	2738	226	5875
EDD									
TTG	3952.03	0.89	0.655	14.62	64.17	1312.58	2657	614	5745
TGP	4191.93	0.87	0.625	15.59	64.93	1605.17	2566	623	5653
TTA	4172.85	0.86	0.63	15.99	64.05	1596.05	2554	635	5679
YTG	4123.47	0.86	0.63	15.89	63.47	1649.43	2556	643	5660



Şekil 6.46 Senaryo 4'de ortalama akış zamanı

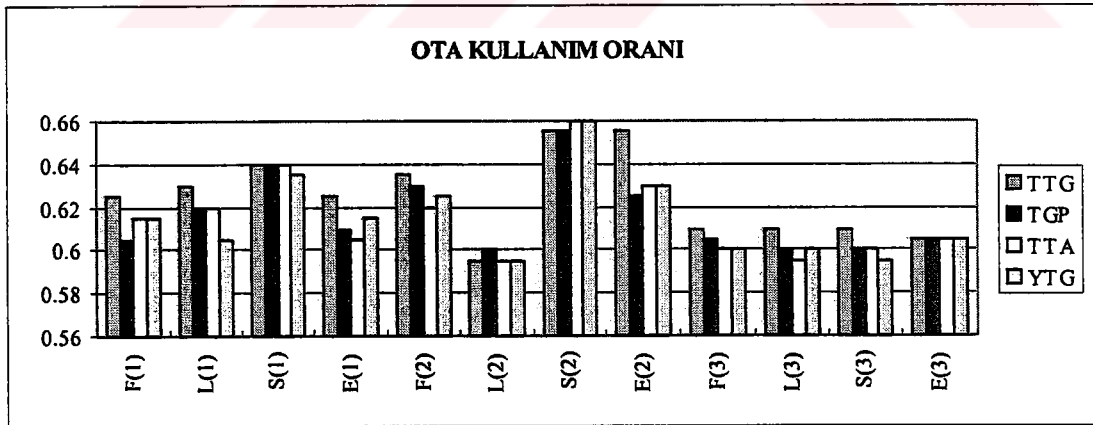
Ortalama akış zamanı; birinci yaklaşımda palet kapasitelerinde sağlanan 2 birimlik artma ve ona bağlı olarak sisteme gelen parti hacmindeki ayarlama neticesinde işlem süreleri ve gelen parça sayılarının artmasıyla sistem önünde bekleme süreleri artmış bu da ortalama akış süresini arttırmıştır. İkinci yaklaşımda ise, sisteme gelen parti hacminde palet kapasite miktarındaki artış gelen parça sayısını artırmış ve böylece partinin işleminin bitirilmesi için gerekli olan işlem süresi de artarak sistem önünde bekleyen partilerin sayısı ve bekleme süresini arttırmıştır bu da ortalama akış sürelerinde de bir artma meydana getirmiştir (Şekil 6.46).

Her iki yaklaşımda sisteme gelen parça adetlerinde bir artış ortaya çıkarmakla beraber, ikinci yaklaşımdaki parça adetlerinin daha fazla olması ortalama akış zamanlarının daha yüksek olmasına neden olmuştur. Her iki yaklaşımda da çizelgeleme stratejileri arasında SPT stratejisinden daha düşük ortalama akış zamanları elde edilmiştir.



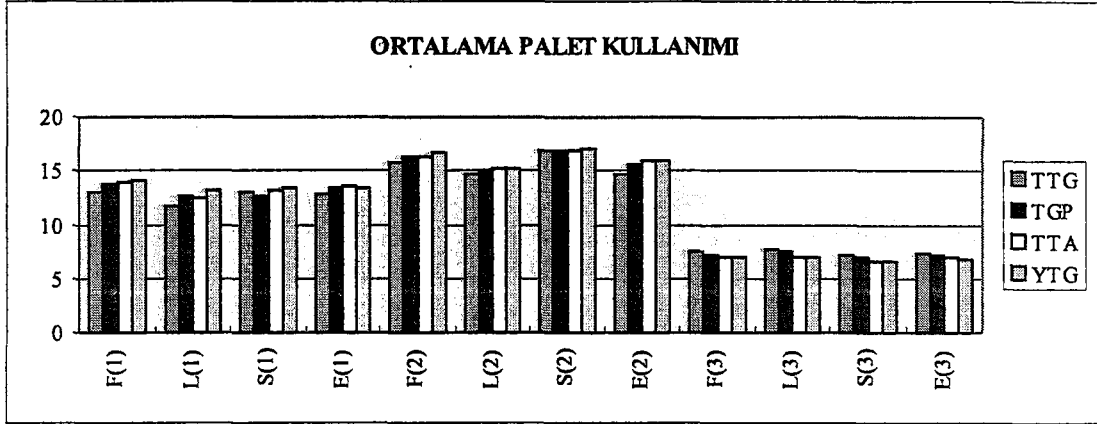
Şekil 6.47 Senaryo 4' sistemin verimi

Hücre verimi; 2 yaklaşım arasında ortalama akış zamanı daha iyi olan birinci yaklaşım, sistemi daha etkin kullandığı için elde edilen değerler daha yüksektir. Birinci yaklaşımdaki silindirik parçaların sisteme giriş yaptığı hücrelerdeki verimin düşmesi sonucu SPT stratejisi daha düşük verim değerleri vermiştir (Şekil 6.47). Bu düşmenin nedeni ise bu tezgahı besleyen parçalardan 6 ile 11 arası parçaların işlem sürelerinin daha düşük olması nedeniyle sisteme daha az girme şansı bulmalarından kaynaklanmaktadır.



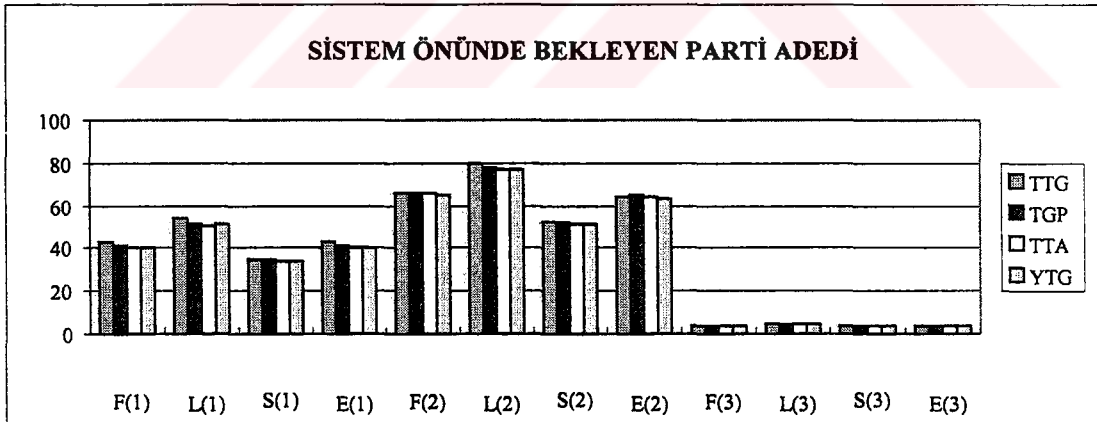
Şekil 6.48 Senaryo 4'de OTA kullanım oranı

OTA kullanım oranı; sistemde bulunan partilerin adedine bağlı olarak ortaya çıkar; birinci ve ikinci yaklaşımda sistem içinde en çok hareketin görüldüğü SPT'de en yüksek değeri alır (Şekil 6.48).



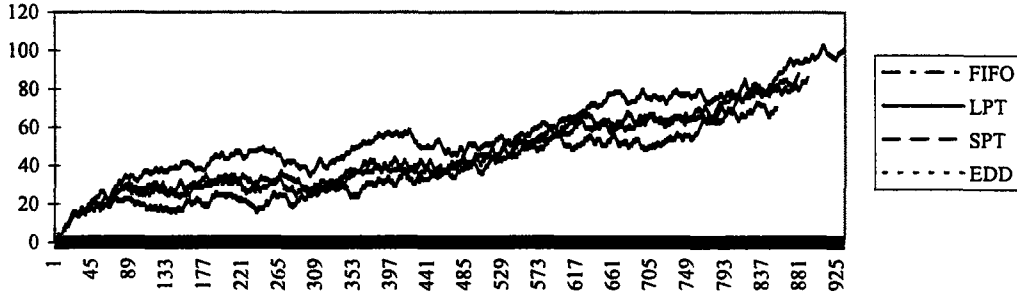
Şekil 6.49 Senaryo 4'de ortalama palet kullanımı

Ortalama palet kullanımı; birinci yaklaşıma göre ikinci yaklaşımda sisteme gelen prizmatik parçaları sisteme sokmak için daha çok palete ihtiyaç olduğu için ve birinci yaklaşıma göre ikinci yaklaşımda AS/RS kullanım oranının daha yüksek olmasıyla ortalama palet kullanım adedinin en yüksek değerleri ikinci yaklaşımda bulunmuştur (Şekil 6.49).



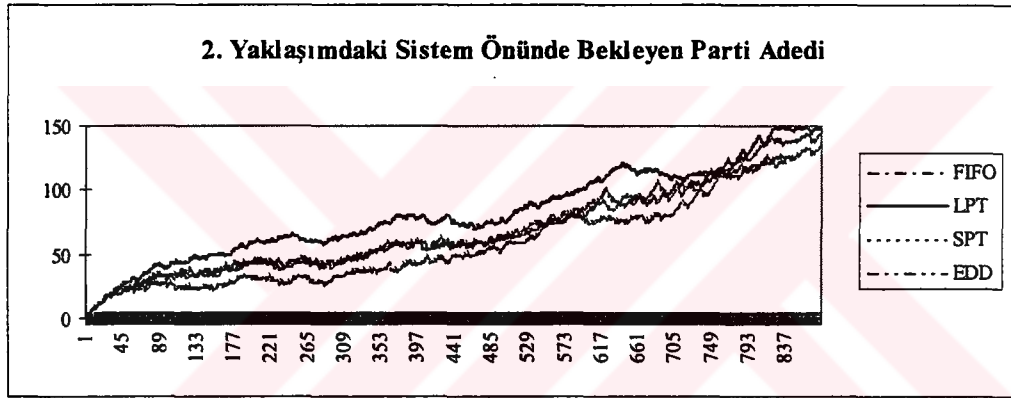
Şekil 6.50 Senaryo 4'de sistem önünde bekleyen parti adedi

1. Yaklaşımında Sistem Önünde Bekleyen Parti Adedi



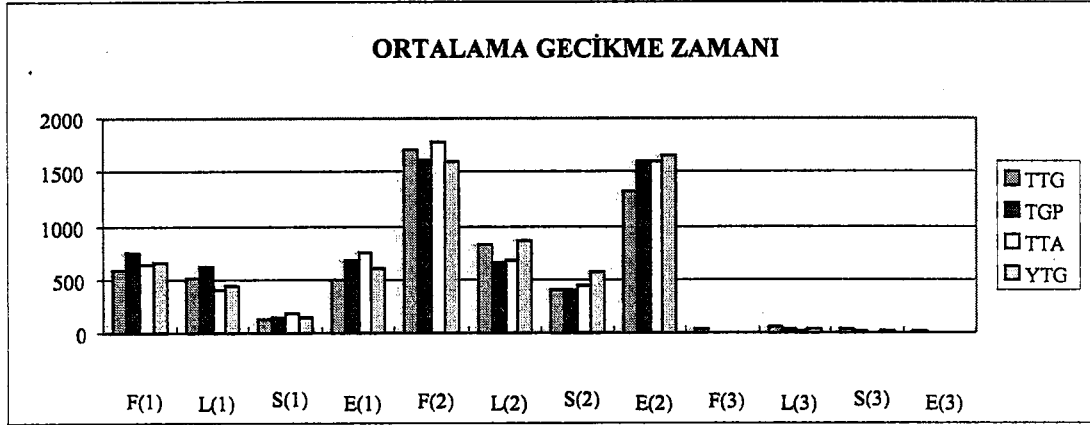
Şekil 6. 51 a Birinci yaklaşımda sistem önünde bekleyen partilerin durumu

2. Yaklaşımdaki Sistem Önünde Bekleyen Parti Adedi

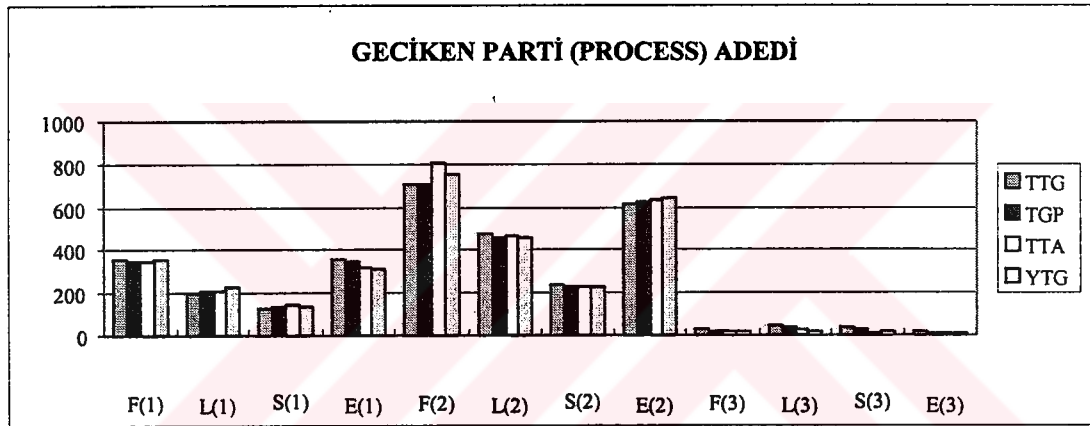


Şekil 6.51 b İkinci yaklaşımda sistem önünde bekleyen partilerin durumu

Sistem önünde bekleyen parti adedi; her iki yaklaşımda da daha önceden belirtilen nedenlerle ortalama akış zamanındaki artmalar, sisteme parça çekme hızını azaltmış ve sistem önünde bekleyen parti adetlerinde artan bir trend meydana gelmiştir (Şekil 6.51 a ve Şekil 6.51 b) ve böylece; sistemden daha hızlı parça geçişine imkan tanıyan SPT stratejisinde daha düşük değerler elde edilmiştir. İkinci yaklaşımdaki partilerin işlenmesi için gerekli zamanın daha yüksek olması, sistem önünde bekleyen parti adetlerini arttırmıştır (Şekil 6.50).

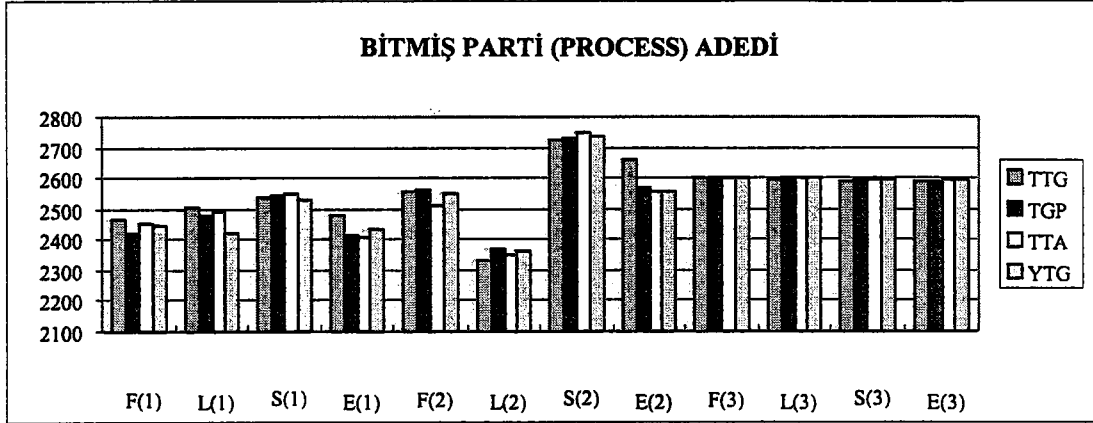


Şekil 6. 52 Senaryo 4'de ortalama gecikme zamanı

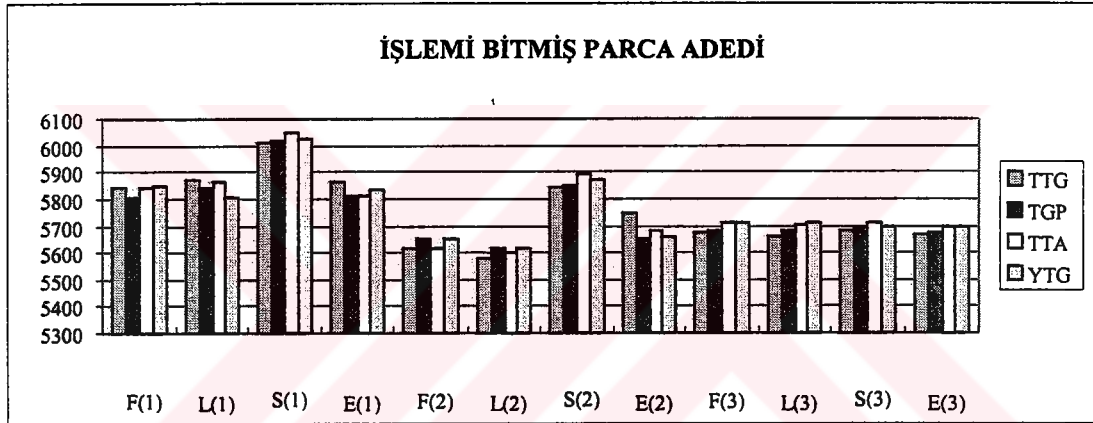


Şekil 6.53 Senaryo 4'de ortalama geciken parti adedi

Ortalama geçikme zamanı ve adedi; her iki yaklaşımda da geciken parti adetlerinde bir artış görülmekte (Şekil 6.53) ve bu artış ortalama akış zamanı (Şekil 6.46) ile bir paralellik göstermektedir. Sistem önünde bekleyen partiler devamlı bir artış içinde olduğundan sistem daha uzun süreli çalıştığında geciken parti adetleri daha da çoğalır.



Şekil 6.54 Senaryo 4'de işlemi bitmiş parti adedi



Şekil 6.55 Senaryo 4'de işlemi bitmiş parça adedi

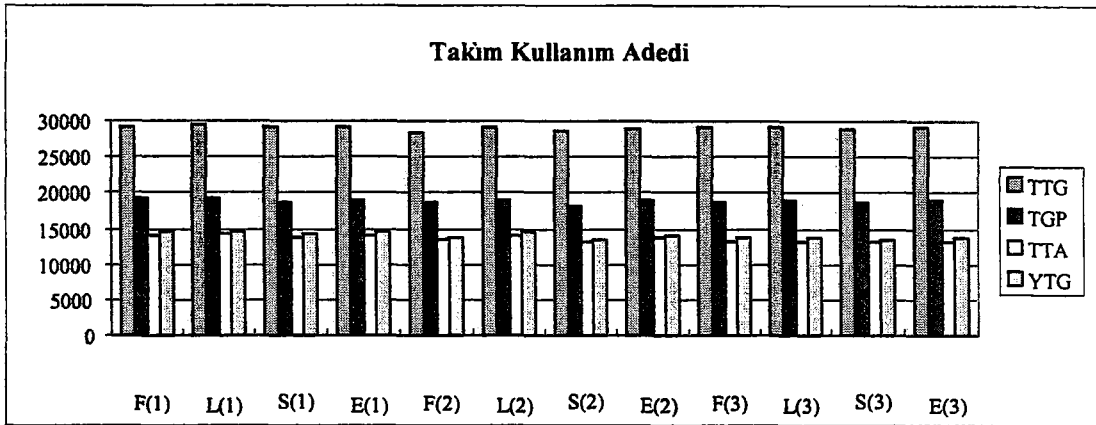
Bitmiş parça adedi; birinci yaklaşımın bütün çizelgeleme stratejileri, diğer yaklaşımlardan daha iyi neticeler vermektedir. Sistemin dengeli olduğu üçüncü yaklaşımda ise, tüm çizelgeleme stratejilerinden birbirine yakın değerler elde edilmesine karşılık; sistemin dengeli olmadığı birinci ve ikinci yaklaşımda çizelgeleme stratejileri arasında farklılıklar oluşmaktadır. Sistemde ikinci yaklaşımın neden olduğu ek yük, sistemin akış dengesini bozduğu için FIFO, LPT ve EDD stratejilerinde en düşük değerler ortaya çıkmıştır (Şekil 6.55). SPT stratejisinden elde edilen değerler yüksek olmasına rağmen, burada da bazı parçaların sisteme hiç girememesi durumu ile karşılaşılabılır.

Tablo 6.16 1. yaklaşımdaki takım yönetimi performans değerleri

FIFO	TKA	TKO	TKTA	TTA	TOT
TTG	29162	52	7790	21372	7790
TGP	19169	70	10898	12439	6730
TTA	14145	100	14081	9393	4752
YTG	14547	99	13860	9607	4940
LPT					
TTG	29513	51	7915	21598	7915
TGP	19369	69	11161	12729	6640
TTA	14341	100	14287	9497	4844
YTG	14708	99	14070	9717	4991
SPT					
TTG	29057	51	7577	21540	7517
TGP	18786	70	10805	12481	6305
TTA	13898	100	13885	9377	4521
YTG	14271	99	13722	9569	4702
EDD					
TTG	29262	52	7778	21484	7778
TGP	19113	70	10957	12412	6701
TTA	14170	100	14097	9419	4751
YTG	14571	99	13859	9643	4928

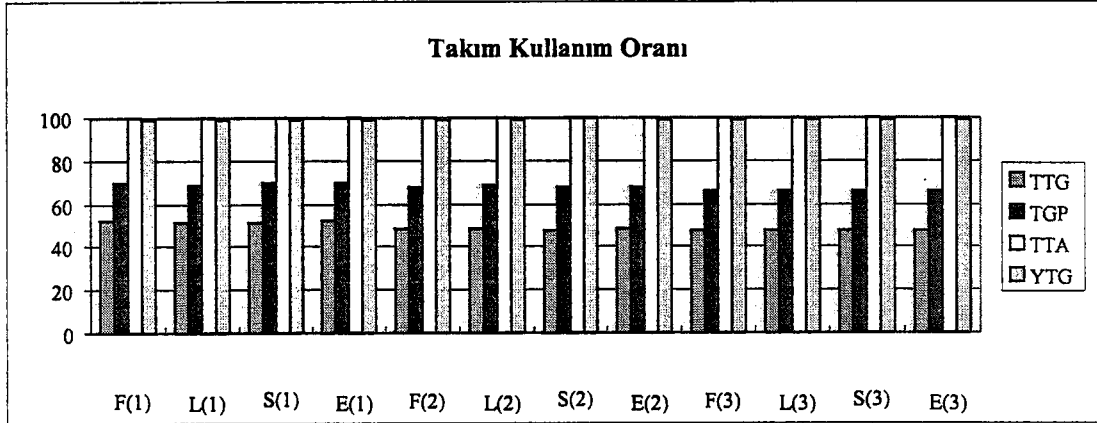
Tablo 6.17 2. yaklaşımdaki takım yönetimi performans değerleri

FIFO	TKA	TKO	TKTA	TTA	TOT
TTG	28368	49	5625	22743	5625
TGP	18619	68	9866	13776	4843
TTA	13424	100	13358	9998	3426
YTG	13815	99	13177	10260	3555
LPT					
TTG	29057	49	6644	22413	6644
TGP	19021	69	10793	13322	5699
TTA	14102	100	14048	9978	4124
YTG	14456	99	13934	10204	4252
SPT					
TTG	28749	48	5156	23709	5040
TGP	18124	68	9849	13918	4206
TTA	13129	100	13309	10199	2930
YTG	13454	100	13243	10436	3018
EDD					
TTG	28959	49	5700	23259	5700
TGP	18898	68	9944	13940	4958
TTA	13638	100	13587	10160	3478
YTG	14038	99	13377	10416	3622



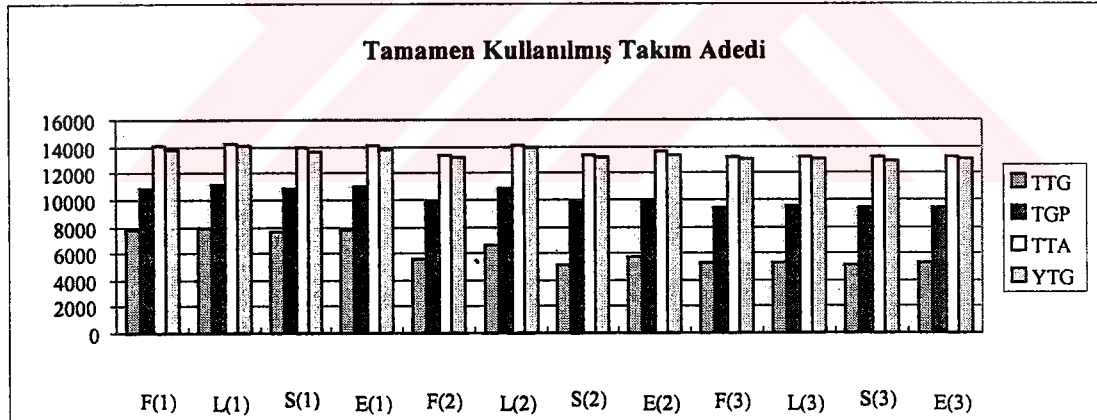
Şekil 6.56 Senaryo 4'de kullanılan toplam takım adedi

Her üç yaklaşımda, sistemde işlenen parça adetlerinden kaynaklanan farklılıklar olmakla beraber, kullanılan toplam takım adetleri birbirine yakın çıkmıştır (Şekil 6.56).



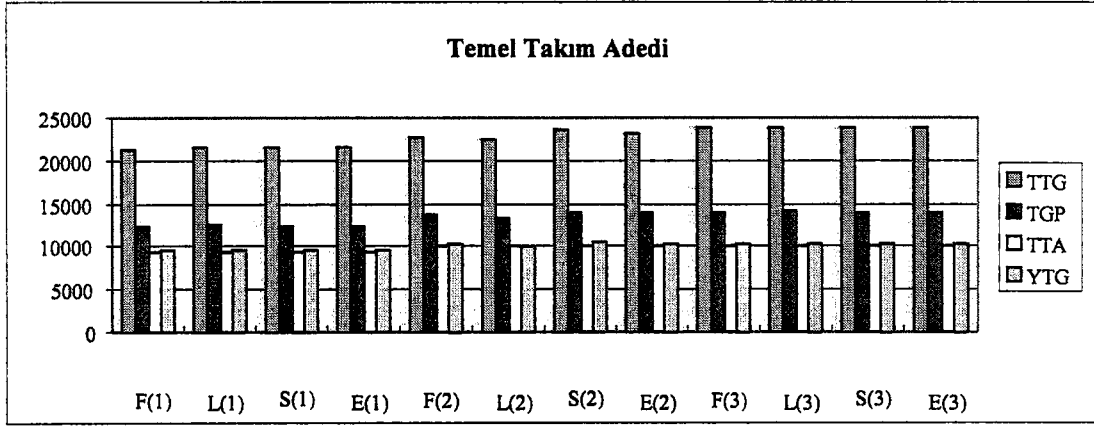
Şekil 6.57 Senaryo 4'de takım kullanım oranı

Takım kullanım oranları açısından, TTA ve YTG takım yönetimi stratejileri tüm stratejiler de aynı değerleri vermiştir. Fakat birinci yaklaşımda palet kapasitesindeki artış, takımların kullanılmayan zamanlarını daha çok kullanıldığı için takım kullanım oranları artmıştır (Şekil 6.57).

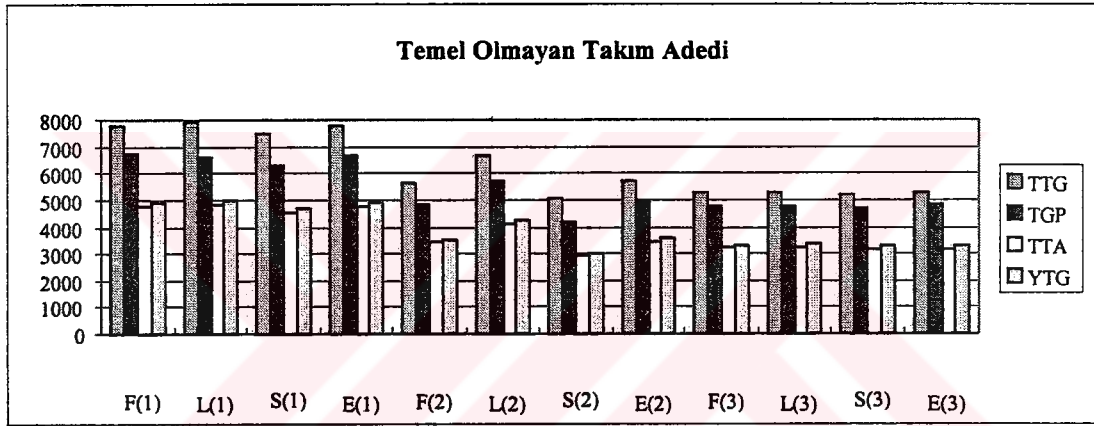


Şekil 6.58 Senaryo 4'de tamamen kullanılmış takım adetleri

Tamamen kullanılmış takım adetlerinde ise; TTA ve YTG stratejilerinde işlenen parça adetlerinden kaynaklanan farklılıklar oluşurken, TTG ve TGP stratejilerinde parçaların işlenmesi için gereken zamanın birinci yaklaşımda artması nedeniyle tamamen kullanılmış takım adetlerinde belirgin bir artış olmuştur (Şekil 6.58).



Şekil 6.59 Senaryo 4'de temel takım adedi



Şekil 6.60 Senaryo 4'de temel olmayan takım adedi

Temel takım adedi; birinci yaklaşımda palet kapasitelerindeki artışla sistemden geçen parça sayısında artışa rağmen işlenen parti sayısında bir azalma sağlamış ve dolayısıyla temel takım adetlerinde bir düşüş olmuş (Şekil 6.59), partilerin işlenmesi için gereken takım grubu sayısı fazlaştığından temel olmayan takım adedi artmıştır (Şekil 6.60). İkinci ve üçüncü yaklaşımlarda sistemde işlenen parti sayısına bağlı olarak temel takım adetleri ortaya çıkmıştır.

6.8.5. Senaryo 5 (palet sayısının etkisi)

Bu senaryoda, kullanılan paletlerin kapasitelerinin aşağıda sistem elemanları verilen EİS üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla diğer sistem elemanları sabit olmak

üzere kullanılan beş palet çeşidinden herbirinin sayısı 10'ar, 20'şer ve 40'ar adet olduğunda sistemin performans değerleri belirlenmiştir.

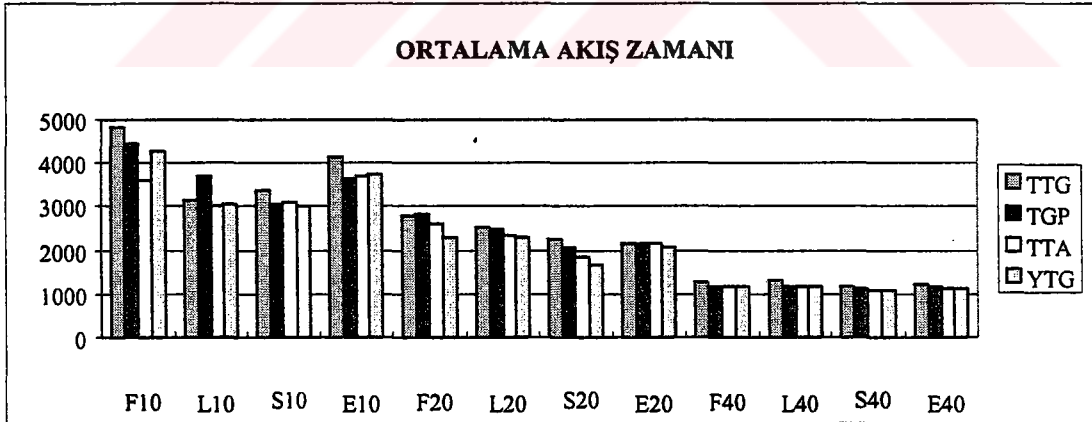
<u>Sistemim elemanları</u>	<u>Adetleri</u>
Küçük prizmatik parça tezgahı	2
Büyük prizmatik parça tezgahı	4
Küçük silindirik parça tezgahı	3
Büyük silindirik parça tezgahı	1
Silindirik parça taşlama tezgahı	2
Prizmatik parça taşlama tezgahı	2
Kontrol elemanı	2
OTA sayısı	2
Magazin Kapasitesi	40
Palet kapasitesi	10,20,40
Giriş-Çıkış ara stok kapasitesi	6

Tablo 6.18 10'ar adet palet kullanıldığında elde edilen performans değerleri

(10)	Ort.Ak. Zam (dk)	Sistem Verimi	OTA Verimi	Ort.Palet Kul(adet)	Ort.Bek. Par.(adet)	Ort.Gec. (dk)	Parti Ad. (adet).	Ort.Gec. Par.(adet)	Parça Ad. (adet).
FIFO									
TTG	4820.37	0.82	0.585	5.43	40.46	1743.3	2547	566	5573
TGP	4470.27	0.82	0.595	5.69	35.93	1097.85	2594	574	5634
TTA	3581.6	0.81	0.59	5.54	29.4	856.33	2594	455	5647
YTG	4283.08	0.81	0.585	5.46	35.96	911.15	2591	475	5646
LPT									
TTG	3143.12	0.82	0.59	5.89	49.62	505.75	2549	320	5564
TGP	3677.87	0.82	0.59	5.91	45.08	952.7	2565	354	5595
TTA	3024.78	0.82	0.585	5.75	45.75	590.96	2585	289	5631
YTG	3042.33	0.81	0.585	5.84	46.52	563.84	2560	318	5594
SPT									
TTG	3365.25	0.82	0.59	5.45	31.35	725.88	2598	430	5650
TGP	3054.14	0.81	0.59	5.19	29.42	514.54	2580	359	5638
TTA	3108.55	0.81	0.59	5.48	30.27	528.32	2587	363	5673
YTG	3033.41	0.81	0.58	5.19	29.65	513.82	2540	369	5618
EDD									
TTG	4152.83	0.83	0.595	5.47	35.16	1122.88	2594	480	5645
TGP	3668.93	0.82	0.59	5.57	29.6	797.53	2575	412	5630
TTA	3700.69	0.82	0.585	5.43	27.41	773.51	2597	371	5659
YTG	3721.09	0.81	0.595	5.61	29.6	741.54	2585	433	5645

Tablo 6.19 20'şer adet palet kullanıldığında elde edilen performans değerleri

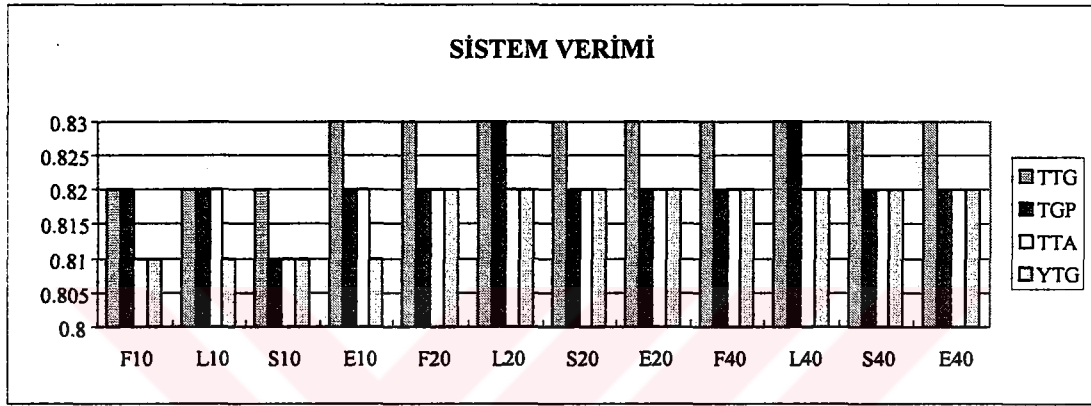
(20)	Ort.Ak. Zam (dk)	Sistem Verimi	OTA Verimi	Ort.Palet Kul(adet)	Ort.Bek. Par.(adet)	Ort.Gec. (dk)	Parti Ad. (adet).	Ort.Gec. Par.(adet)	Parça Ad. (adet).
FIFO									
TTG	2791.32	0.83	0.61	7.37	19.5	175.13	2597	226	5666
TGP	2819.87	0.82	0.605	7.03	20.51	199.83	2601	217	5691
TTA	2613.53	0.82	0.6	6.8	18.45	101.87	2604	186	5708
YTG	2306.92	0.82	0.6	6.83	16.08	115.73	2604	204	5708
LPT									
TTG	2530.47	0.83	0.61	7.26	25.51	157.83	2596	193	5664
TGP	2466.81	0.83	0.605	7.14	23.86	209.49	2598	274	5677
TTA	2348.71	0.82	0.605	6.89	21.78	144.75	2600	221	5690
YTG	2298.27	0.82	0.6	6.75	23.62	225.49	2604	194	5710
SPT									
TTG	2245.18	0.83	0.605	6.73	17.94	85.76	2595	102	5690
TGP	2085.89	0.82	0.6	6.54	16.24	65.16	2597	94	5699
TTA	1866.3	0.82	0.595	6.41	14.27	109.88	2600	64	5702
YTG	1684.98	0.82	0.595	6.46	13.57	48.61	2601	54	5703
EDD									
TTG	2184.46	0.83	0.605	7.12	17.99	62.22	2583	113	5660
TGP	2152.08	0.82	0.6	6.95	16.95	61.86	2590	103	5674
TTA	2150.48	0.82	0.595	6.52	16.88	58.06	2595	123	5706
YTG	2074.66	0.82	0.6	6.66	17.07	61.34	2593	97	5701



Şekil 6.61 Senaryo 5'de ortalama akış zamanı

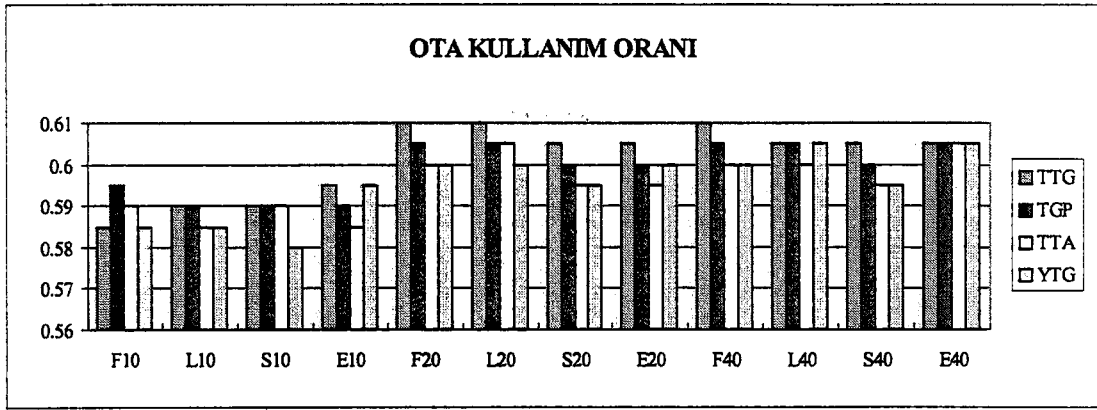
Ortalama akış zamanı; sistemde 5 tip paletten 10'ar adet bulunduğu, prizmatik parçaların taşınmasını sağlayan paletlerin sayısının yeterli olmaması sistemin yeterince parça ile beslenememesine neden olmakta ve parçaların sistem önünde bekleme zamanları da artmaktadır. Genelde iyi neticeler veren SPT çizelgeleme stratejisinde de ortalama akış zamanlarının yüksek olduğu görülmektedir. 20 ve

40'ar palet kullanılan sistemlerde, palet eksikliğinden kaynaklanan aksamaların giderildiği elde edilen değerlerin çizelgeleme stratejileri açısından birbirine yakın çıkmasından anlaşılmaktadır. 20'şer palet kullanılan sistemde, az da olsa aksamaların ortaya çıktığı, ortalama akış sürelerinin biraz daha yüksek olmasından anlaşılmaktadır. 20'şer ve 40'ar adet palet kullanımında, çizelgeleme stratejisi olarak SPT ve daha az hazırlık zamanı gerektiren TTA ve YTG takım yönetimi stratejilerinin ön plana çıktığı görülmektedir (Şekil 6.61).



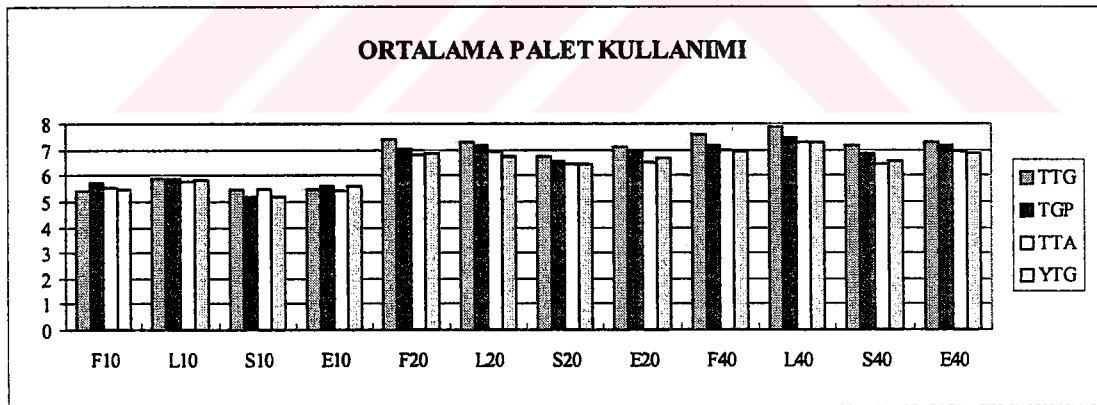
Şekil 6.62 Senaryo 5'de sistem verimi

Sistem verimi; sistemde prizmatik parçaların taşınması için gerekli olan 5 tip paletin herbirinden 10'ar adet bulunduğu, sistem yeterli sayıda parça ile beslenemediğinden tezgahların parça beklemesi durumu ortaya çıkmakta ve bu da sistem verimi olumsuz yönde etkilenmektedir. Sistemde 20'şer ve 40'ar adet palet bulunduğu zaman, palet eksikliğinden kaynaklanan aksaklıklar büyük ölçüde çözülmekte, sistem verimleri birbirine yakın gerçekleşmekte ve hazırlık zamanı sistem verimlerine dahil edildiğinden TTG ve TGP takım yönetimi stratejilerinin değerleri biraz daha yüksek gibi görülmektedir (Şekil 6.62).



Şekil 6.63 Senaryo 5'de OTA kullanım oranı

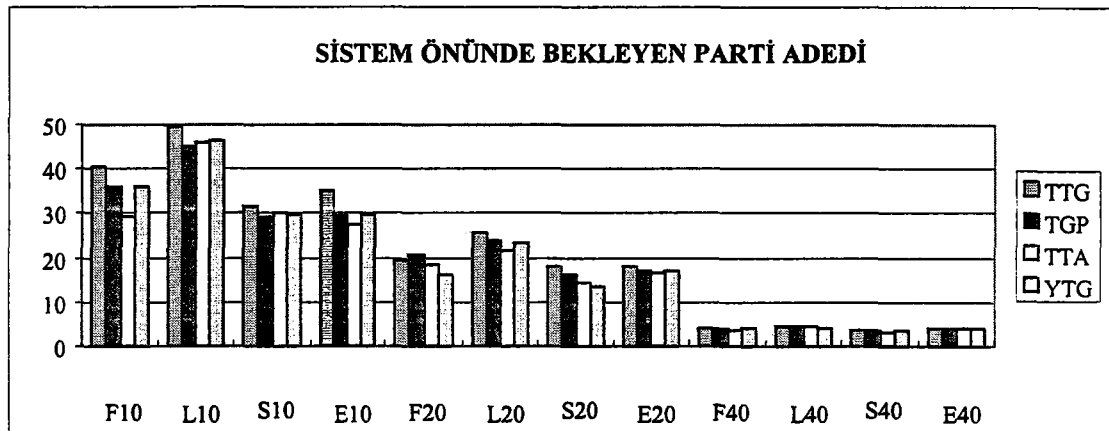
OTA kullanımı; sistemde yeterince palet olmadığı zaman sistem içindeki palet adetleri azaldığından taşıma sayısı düşmekte, bu da 10 palet kullanımında görüldüğü gibi OTA kullanımını düşürmektedir. Sistemde palet yönünden çok fazla sıkıntı olmadığında OTA kullanımı birbirine yakın çıkmaktadır. Burada da çizelgeleme stratejisi olarak SPT, takım yönetimi stratejisi olarak TTA ve YTG stratejilerinde OTA daha etkin kullanılmıştır (Şekil 6.63).



Şekil 6.64 Senaryo 5'de ortalama palet kullanımı

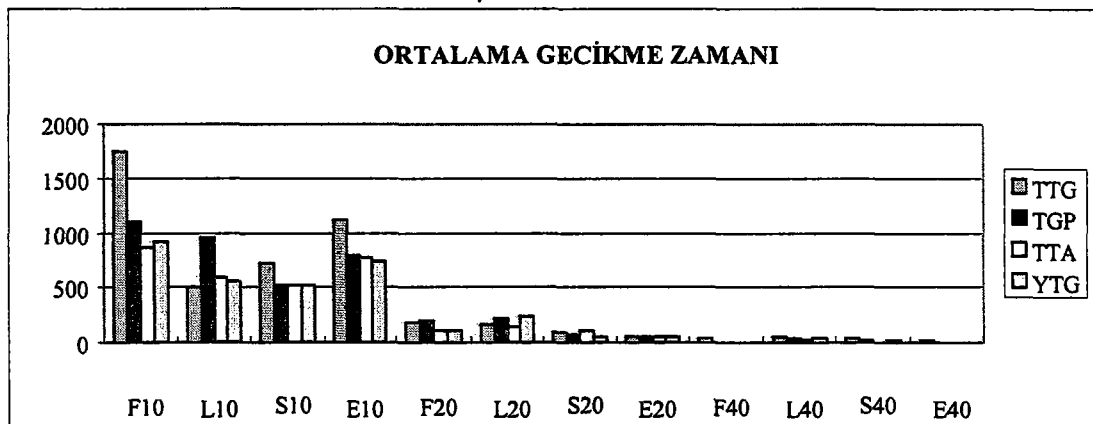
Ortalama palet kullanımı; 10 paletli sistemde parça girişlerindeki sıkıntılar nedeniyle sistem yeterince parçayla beslenememekte, bu da ortalama palet kullanımını düşürmektedir. Sistemde 20 palet kullanıldığında da az da olsa palet eksikliği durumu ortaya çıkmakta ve ortalama palet kullanım değerleri, 40 paletle oranla daha düşük çıkmaktadır. Sistem dengeli olduğu zaman çizelgeleme stratejisi

olarak SPT, takım yönetimi stratejisi olarak TTA ve YTG stratejileri ön plana çıkmaktadır (Şekil 6.64).

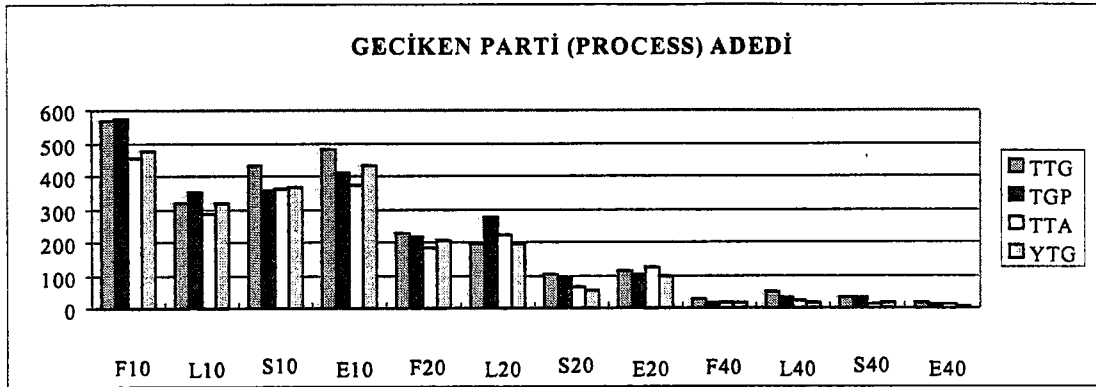


Şekil 6.65 Sistem önünde bekleyen parti adedi

Sistem önünde bekleyen iş sayısı; 10 palet sistemin gereklerini karşılayamadığından sistem yeterince parça ile beslenememekte böylece sistemin önündede bekleyen iş sayısı artmaktadır. Palet yönünden sistemin gerekleri sağlandığı zaman (40 paletli sistem) sistem önünde bekleyen işlerin sayısı benzer çıkmaktadır. Burada da çizelgeleme stratejisi olarak SPT ve takım yönetimi stratejisi olarak TTA ve YTG stratejilerinde sistem önünde bekleyen iş sayısı biraz daha az olmaktadır (Şekil 6.65).



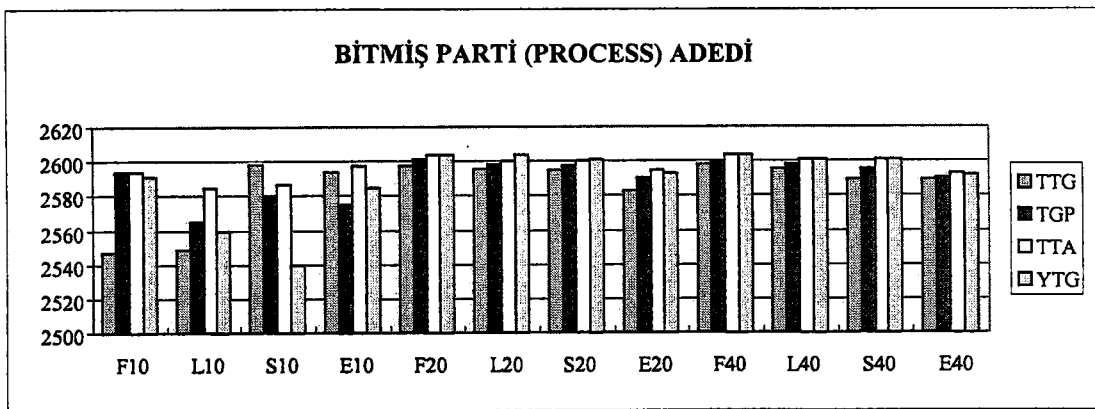
Şekil 6.66 Senaryo 5'de ortalama gecikme zamanı



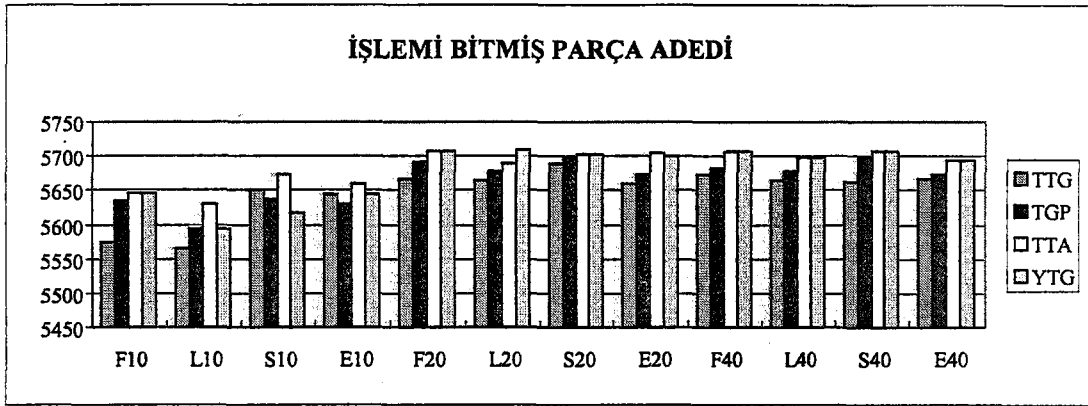
Şekil 6.67 Senaryo 5'de geciken parti adedi

Ortalama geçikme zamanı ve adedi; sistemde yeterince palet olmadığında ortalama akış süreleri daha düşük olan EDD ve SPT daha iyi neticeler vermekte, fakat yeterli palet olması durumunda ise ortaya çıkan teslim zamanındaki geçikmelerden fazla olmaktadır. Sistemde yeterince palet olduğunda en fazla geçikme, ortalama akış zamanı en yüksek olan LPT'de görülmekte, buna karşılık en az geçikmeler ise EDD ve SPT'de görülmektedir. 40'ar adet palet kullanımının olduğu sistemlerden elde edilen değerler birbirine yakın çıkmaktadır.

Sisteme genel olarak bakıldığı zaman, yeterince palet bulunmaması sistemin performans kriterlerini olumsuz yönde etkilemekte, sistemde yeterince palet bulunduğu zaman ise çizelgeleme stratejisi olarak SPT, takım yönetimi stratejisi olarak TTA ve YTG stratejilerinden daha iyi neticeler alınmaktadır (Şekil 6.67).



Şekil 6.68 Senaryo 5'de bitmiş parti adedi



Şekil 6.69 Senaryo 5'de işlemi bitmiş parça adedi

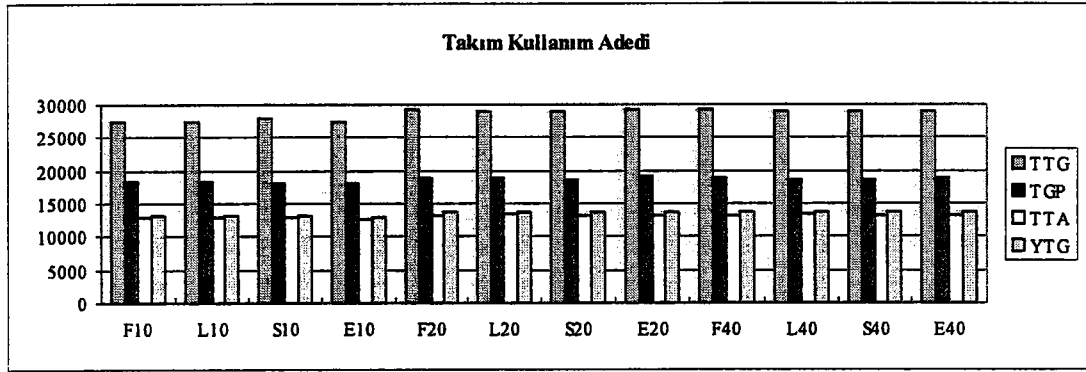
İşlemi bitmiş parça adedi; sistemde yeterince palet bulunmaması, yeterince parça ile beslenememesine neden olduğu için sistemde işlemi bitmiş parçaların sayısı düşmüştür. Sistemin problemsiz olarak çalışması için gerekli şartlar sağlandığında, elde edilen değerler birbirine yakın çıkmıştır (Şekil 6.69).

Tablo 6.20 10'ar paletli sistemde takım yönetimi performans değerleri

FIFO	TKA	TKO	TKRA	TTA	TOT
TTG	27530	49	5228	5228	22302
TGP	18296	66	8945	4721	13575
TTA	12808	100	12732	3189	9619
YTG	13193	99	12545	3327	9866
LPT					
TTG	27501	49	5322	5322	22179
TGP	18370	66	8988	4844	13526
TTA	12867	100	12793	3251	9616
YTG	13240	99	12606	3389	9851
SPT					
TTG	27909	48	5142	5142	22767
TGP	18111	67	9064	4593	13518
TTA	12839	100	12763	3107	9732
YTG	13218	99	12590	3233	9985
EDD					
TTG	27375	48	5194	5194	22181
TGP	18083	66	8783	4703	13380
TTA	12673	100	12619	3164	9509
YTG	13060	99	12418	3307	9753

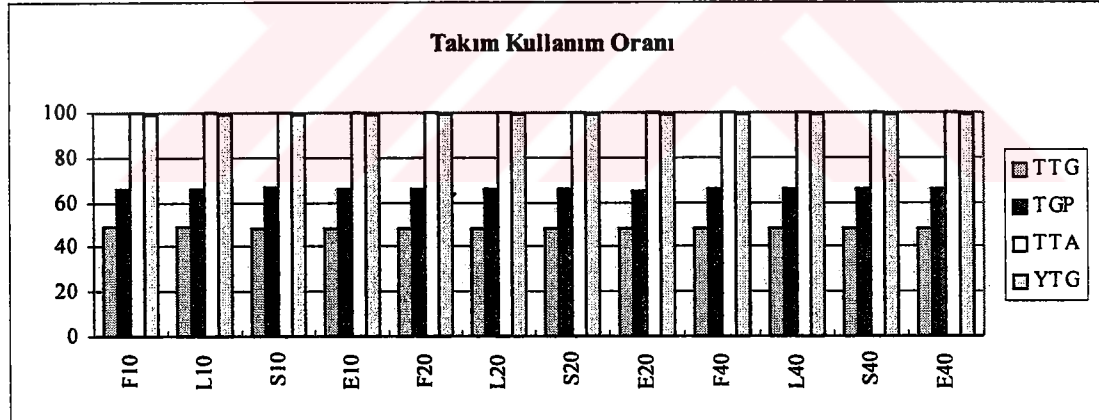
Tablo 6.21 20'ar paletli sistemde takım yönetimi performans değerleri

FIFO	TKA	TKO	TKTA	TTA	TOT
TTG	29109	48	5267	5267	23842
TGP	18881	66	9327	4775	14106
TTA	13289	100	13203	3227	10062
YTG	13672	99	13007	3358	10314
LPT					
TTG	29070	48	5319	5319	23751
TGP	18922	66	9307	4820	14102
TTA	13327	100	13262	3277	10050
YTG	13711	99	13043	3414	10297
SPT					
TTG	29000	48	5185	5185	23815
TGP	18682	66	9271	4631	14051
TTA	13205	100	13132	3116	10089
YTG	13585	99	12958	3253	10332
EDD					
TTG	29133	48	5259	5259	23874
TGP	19043	65	9250	4798	14245
TTA	13279	100	13206	3212	10067
YTG	13663	99	13016	3332	10331



Şekil 6.70 Senaryo 5'de kullanılan toplam takım adedi

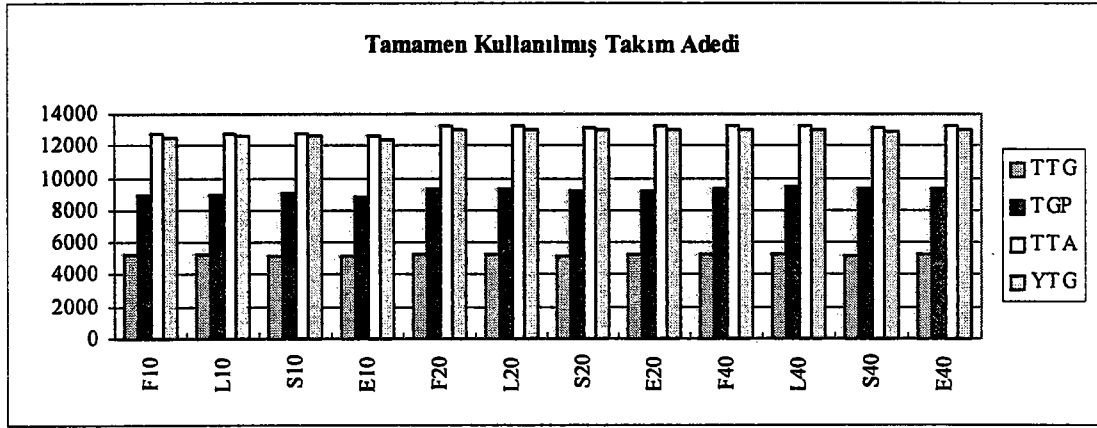
Kullanılan toplam takım adedi; sistemlerde 10, 20 ve 40'ar adet palet bulunduğu varsayılarak yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen değerler arasında oransal olarak benzerlikler görülmekte değerlerdeki farklılıklar ise büyük ölçüde üretim hacmi ve palet eksikliği nedeniyle değişen iş sıralarından kaynaklanmaktadır (Şekil 6.70).



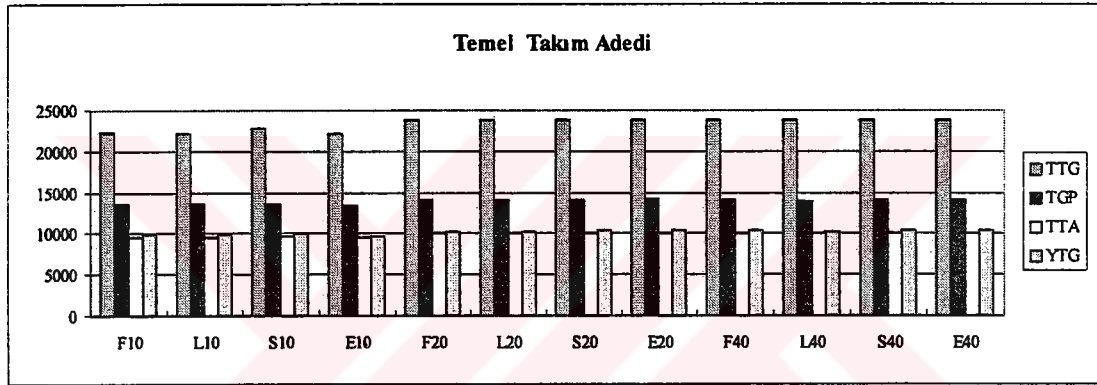
Şekil 6.71 Senaryo 5'de takım kullanım oranı

Takım kullanım oranı; sistemde palet eksikliği nedeniyle ortaya çıkan aksaklıkların takım kullanım oranlarına büyük bir etki yaptığı söylenemez (Şekil 6.71).

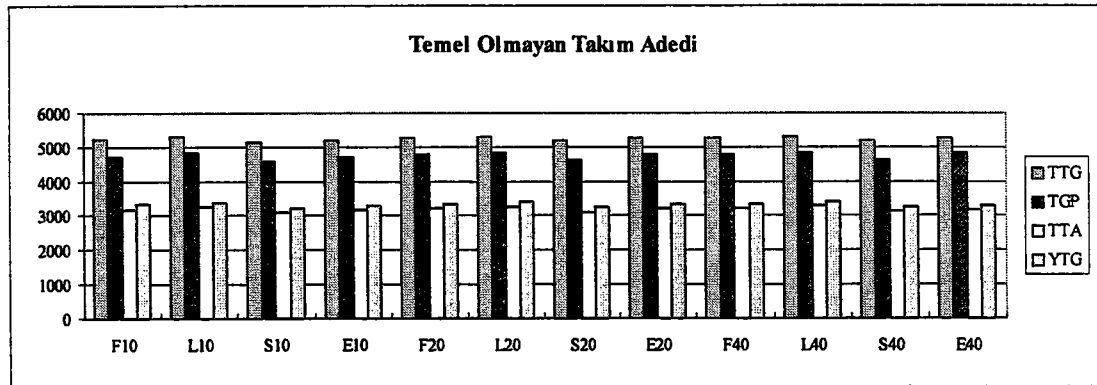
Tamamen kullanılmış takım adedi; elde edilen değerlerdeki farklılıklar (Şekil 6.72) sistemler arasındaki üretim miktarı (Şekil 6.69) farklılıklarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.72 Senaryo 5'de tamamen kullanılmış takım adedi



Şekil 6.73 Senaryo 5'de temel takım adedi



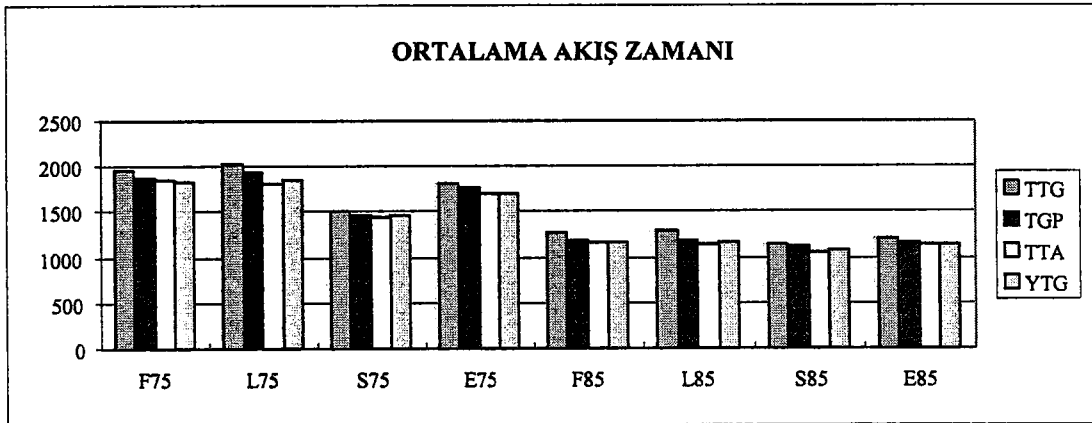
Şekil 6.74 Senaryo 5'de temel olmayan takım adedi

Temel takım adedi; işlenen parti adedine bağlı olduğu için daha az partinin işlendiği 10 paletli sistemde en düşük değerler elde edilmiştir. 20 ve 40 paletli sistemde işlenen parti adetleri birbirine yakın olduğu için, temel takım adetleri de birbirine yakın çıkmıştır (Şekil 6.73).

6.8.6 Senaryo 6 (gelişler arası sürenin etkisi)

Bu senaryoda sisteme parti gelişler arası süre 75 dk'ya indirildiği zaman optimal sistem konfigrasyonunda sistemin performans değerleri belirlenmiştir. Bu amaçla aşağıda sistem elemanları verilen EİS incelenmiş ve gelişler arası süre 85 dk olduğunda elde edilen değerlerle birlikte sunulmuş ve yorumlanmıştır.

<u>Sistemim elemanları</u>	<u>Adetleri</u>
Küçük prizmatik parça tezgahı	2
Büyük prizmatik parça tezgahı	4
Küçük silindirik parça tezgahı	3
Büyük silindirik parça tezgahı	1
Silindirik parça taşlama tezgahı	2
Prizmatik parça taşlama tezgahı	2
Kontrol elemanı	2
OTA sayısı	2
Magazin Kapasitesi	40
Palet kapasitesi	40
Giriş-Çıkış ara stok kapasitesi	6



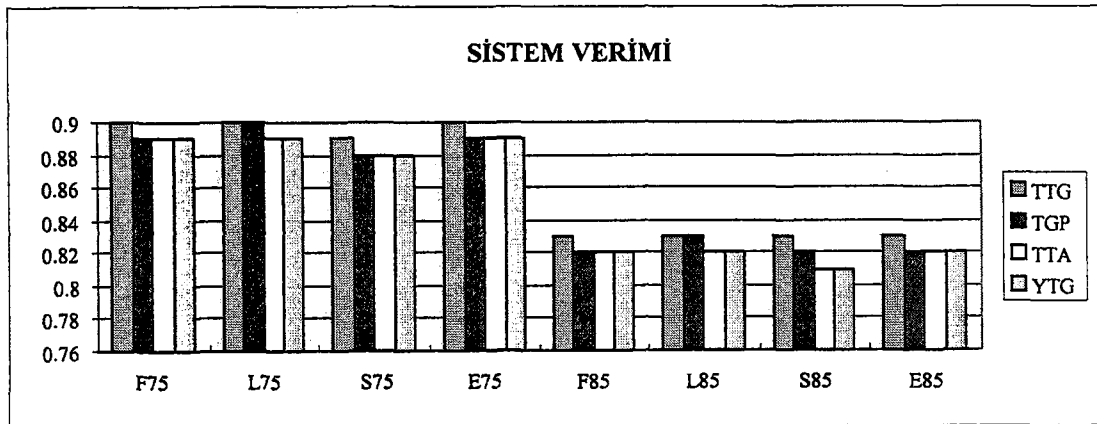
Şekil 6.75 Senaryo 6'da ortalama akış zamanı

Ortalama akış zamanı; sisteme gelişler arası süre 75 dk indirildiği zaman, artan üretim hacmi nedeniyle sistem önünde bekleyen partilerin adetlerinde bir artış görülmekte ve sistem içindeki hücrelerin giriş ve çıkış stoklarının doluluk oranının

yükselmesiyle AS/RS kullanımını da artmaktadır. Bu nedenlerle parçaların sistemde kalma süreleri arttığı için ortalama akış süresi de artmaktadır (Şekil 6.75). Sisteme gelişler arası süre 75 dk'ya indirildiği zaman, sistemden daha hızlı parça çıkışını sağlayan SPT değerleri en düşüktür.

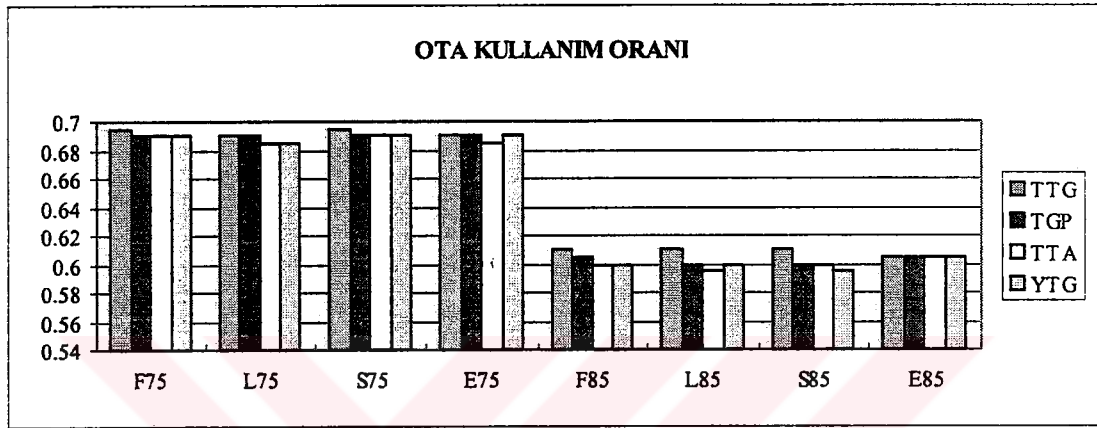
Tablo 6.22 Sisteme gelişler arası süre 75 dk. olduğunda elde edilen performans değerleri

75 dk.	Ort.Ak. Zam(dk)	Sistem Verimi	OTA Verimi	Ort. Palet Kul(adet)	Ort.Bek. Par.(adet)	Ort.Gec. .(dk)	Parti Ad. (adet)	Ort.Gec. Par (adet)	Parça Ad. (adet)
FIFO									
TTG	1951.85	0.9	0.695	13.71	15.13	113.83	2815	98	5900
TGP	1877.63	0.89	0.69	13.76	14.65	109.08	2822	98	5912
TTA	1845.94	0.89	0.69	13.31	14.16	90.68	2826	97	5932
YTG	1842.56	0.89	0.69	13.38	14.27	115.86	2827	98	5935
LPT									
TTG	2027.92	0.9	0.69	13.81	17.77	128.55	2799	89	5844
TGP	1930.75	0.9	0.69	13.68	17.11	131.05	2808	87	5857
TTA	1814.47	0.89	0.685	12.97	16.55	89.88	2819	77	5893
YTG	1849.96	0.89	0.685	13.19	16.6	91.22	2810	79	5877
SPT									
TTG	1501.81	0.89	0.695	11.69	12.84	42.31	2833	46	5931
TGP	1475.18	0.88	0.69	11.94	12.37	38.61	2840	44	5946
TTA	1444.08	0.88	0.69	11.58	12.1	49.31	2847	54	5962
YTG	1459.34	0.88	0.69	12.06	12.18	85.86	2840	50	5959
EDD									
TTG	1816.97	0.9	0.69	12.23	15.13	142.61	2826	105	5918
TGP	1764.36	0.89	0.69	12.29	14.8	102.95	2825	96	5925
TTA	1700.76	0.89	0.685	11.75	14.42	103.23	2841	100	5954
YTG	1706.56	0.89	0.69	11.56	14.48	111.29	2840	96	5959



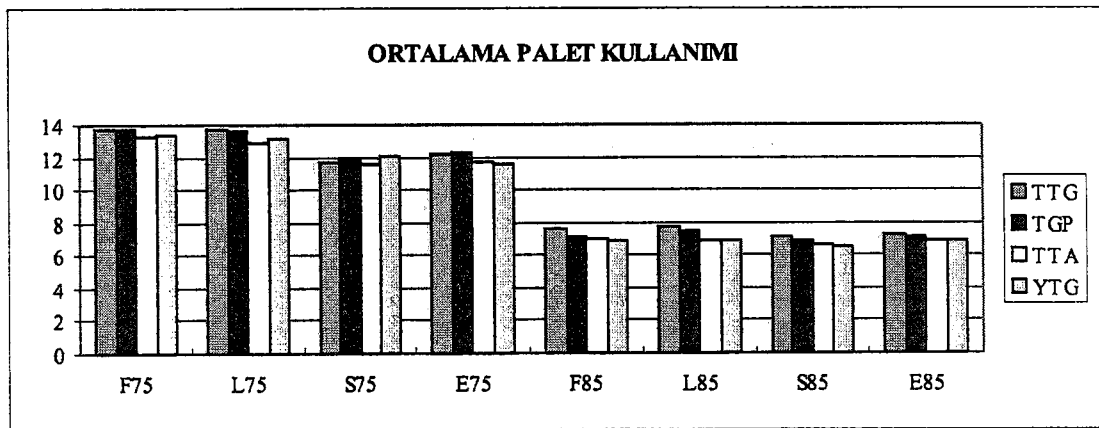
Şekil 6.76 Senaryo 6'da sistem verimi

Sistem verimi; gelişler arası süre 85 dk. olduğu zaman , silindirik parçaları işleyen tezgahlarda parça eksikliğinden dolayı düşme oluşmaktadır. Gelişler arası süre 75 dk indirildiği zaman, sistemde bulunan atıl beklemler bertaraf edilmekte bu da verimin artmasına neden olmaktadır (Şekil 6.76). Verimdeki bu artmalar; büyük prizmatik parçalar, küçük silindirik parçalar, büyük silindirik parçalar ve silindirik parça taşlama hücresindeki verim artışlarından kaynaklanmaktadır.



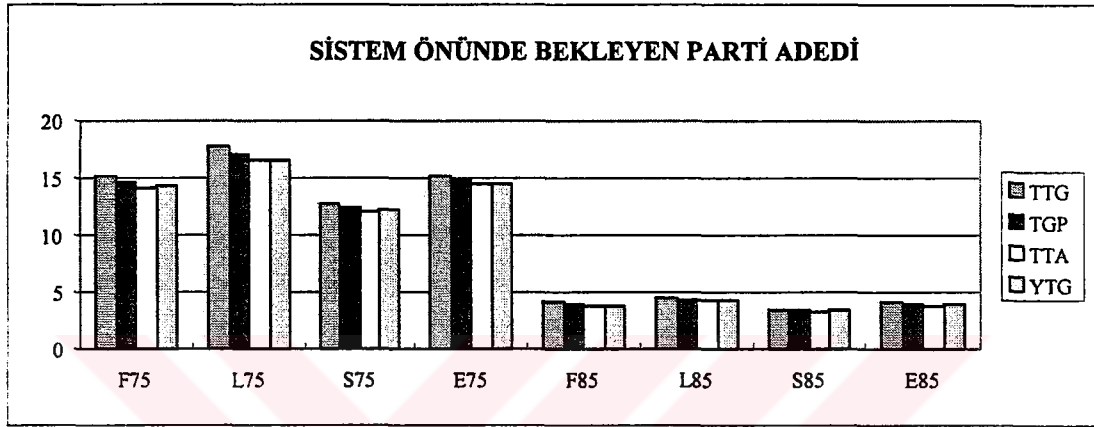
Şekil 6.77 Senaryo 6'da OTA kullanım oranı

OTA kullanım oranı; gelişler arası süre 75 dk. olduğu zaman, sistemdeki parti adetlerinin ve AS/RS kullanımının artışıyla dolayı OTA kullanım oranı da artmıştır (Şekil 6.77).

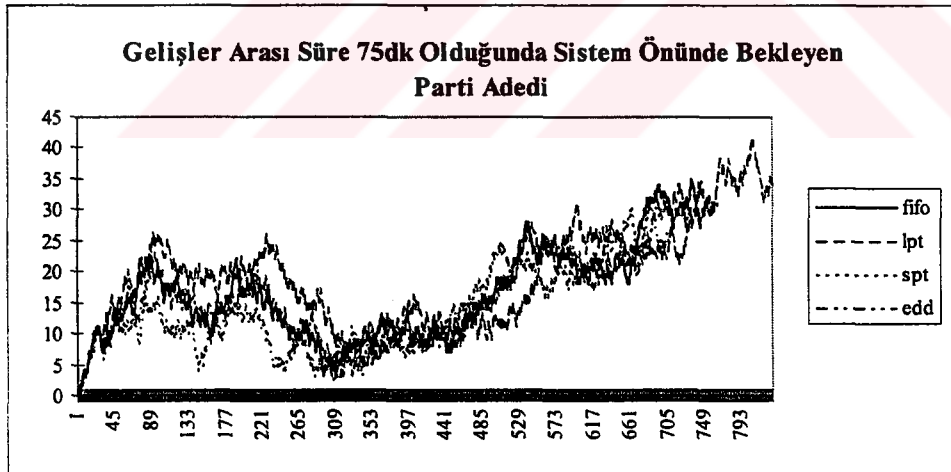


Şekil 6.78 Senaryo 6'da ortalama palet kullanımı

Ortalama palet kullanımı; gelişler arası süre 75 dk. olduğu zaman, sistem içindeki prizmatik partilerin sayısının artmasına bağlı olarak bir artma görülmüştür. Sistem içinde daha çok prizmatik parti bulunmasına ve daha uzun süre kalmasına neden olan FIFO ve LPT stratejilerinde bu değerler biraz daha yüksek çıkmıştır (Şekil 6.78).



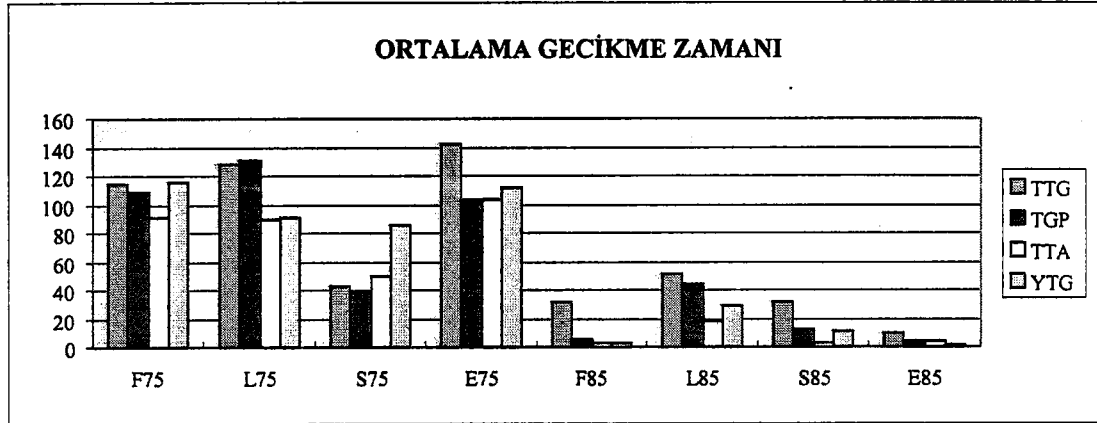
Şekil 6.79 Senaryo 6'da sistem önünde bekleyen parti adedi



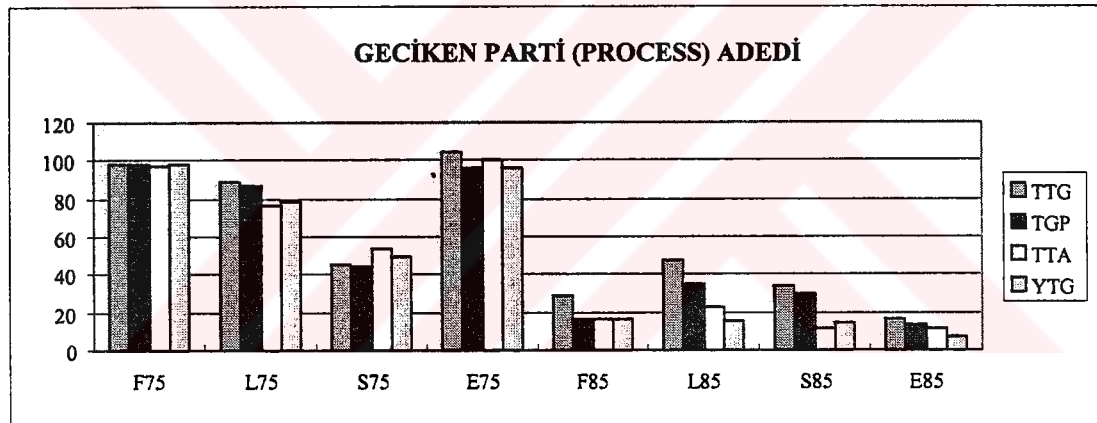
Şekil 6.80 Senaryo 6'da sistem önünde bekleyen partilerin durumu

Sistem önünde bekleyen parti adedi; sistemin besleme hızının artması sonucunda sistemin yükünde de bir artma oluşmuştur. Bu artan yükün bir bölümü sistemdeki atıl durumları bertaraf ederken bir bölümünde sistem önünde bekleyen partilerin artmasına neden olmuştur (Şekil 6.79). Genel görünümün tüm üretim periyodu boyunca

yavaş bir artma göstermektedir. (Şekil 6.80). Burada da en düşük değer sistemden parça çıkışının daha hızlı olduğu SPT'den elde edilmiştir.



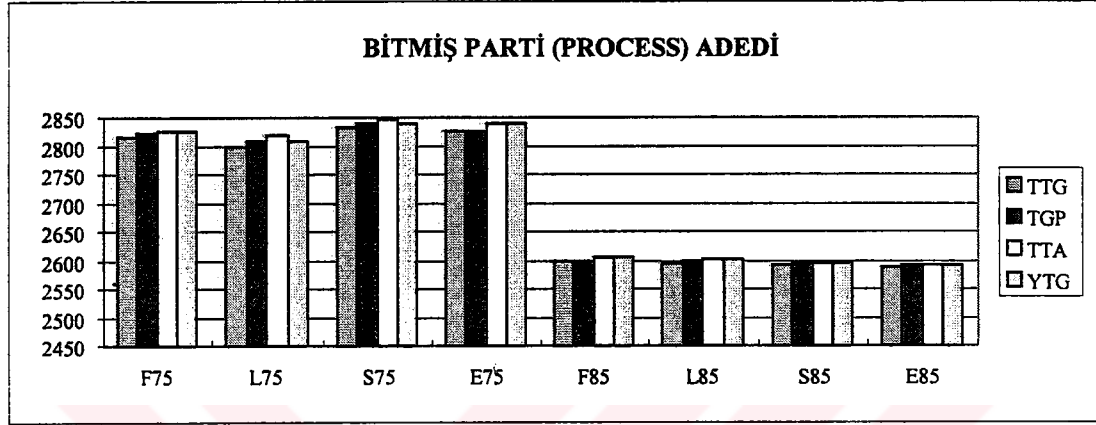
Şekil 6.81 Senaryo 6'da ortalama gecikme zamanı



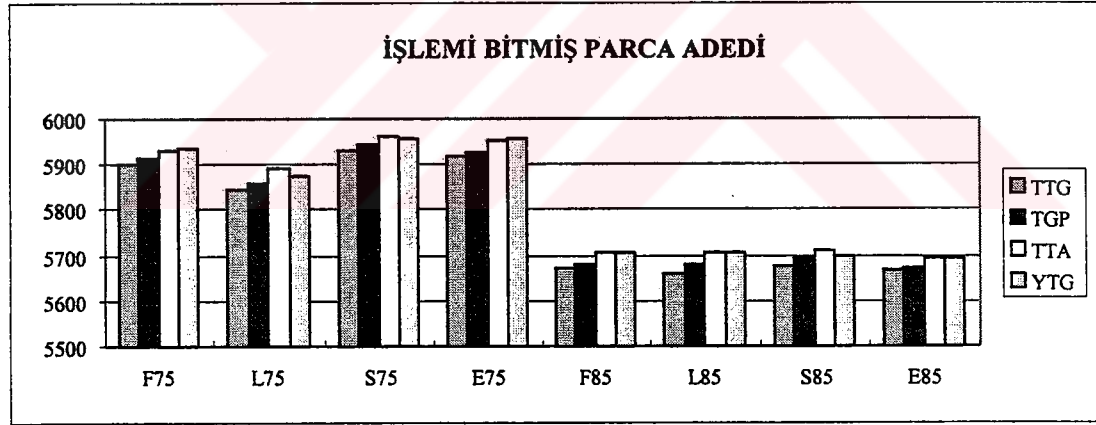
Şekil 6.82 Senaryo 6'da geciken parti adedi

Ortalama gecikme zamanı ve adedi; daha önceden nedenleri belirtilen sistem önündeki ve içindeki beklemelemlerden kaynaklanan ortalama akış zamanlarındaki artışlar, işlemi biten partilerin gecikmelerinde de artışlar doğurmuştur; hatta daha iyi sonuçlar vermesi beklenen EDD'de sistem içindeki beklemelemlerden kaynaklanan yüksek değerler elde edilmiştir. Gelişler arası süre 75 dk'ya indirilmesi durumunda, sistemden daha hızlı parça çıkışını sağlayan SPT stratejisi en düşük değerleri vermiştir (Şekil 6.82).

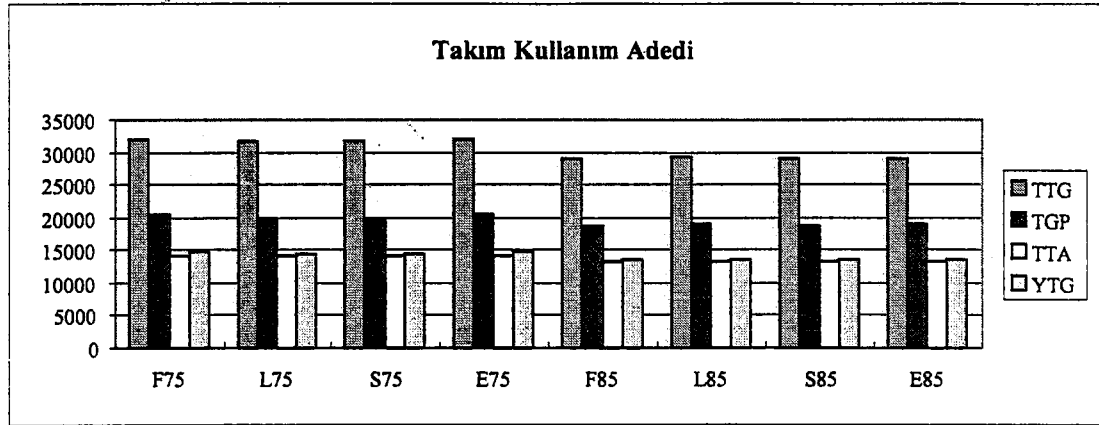
Bitmiş parça adedi; gelişler arası süre 75 dk'ya indirildiğinde, sisteme yeterince parça gönderememekten kaynaklanan atıl durumlar ortadan kaldırıldığı için bulunan değerlerde bir artma görülmektedir. Burada da en iyi değerler SPT'den elde edilmiştir (Şekil 6.84).



Şekil 6.83 Senaryo 6'da bitmiş parti adedi



Şekil 6.84 Senaryo 6'da işlemi bitmiş parça adedi

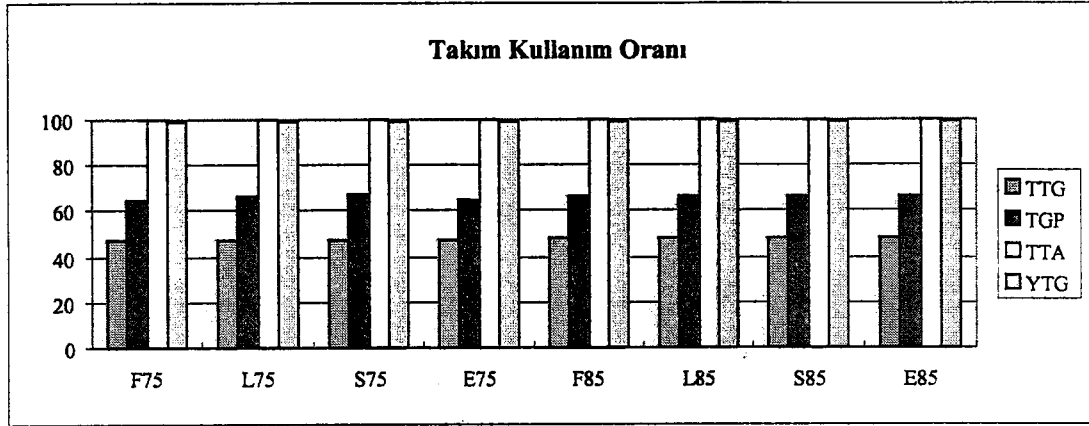


Şekil 6.85 Senaryo 6'da toplam takım kullanım adedi

Kullanılan takım adedi; her iki sistemde de stratejiler arasında oluşan farklar işlenen parça adetlerinden kaynaklanmaktadır. Gelişler arası süre 75 dk. olduğunda daha çok parça işlendiği için bulunan değerler artmıştır (Şekil 6.85).

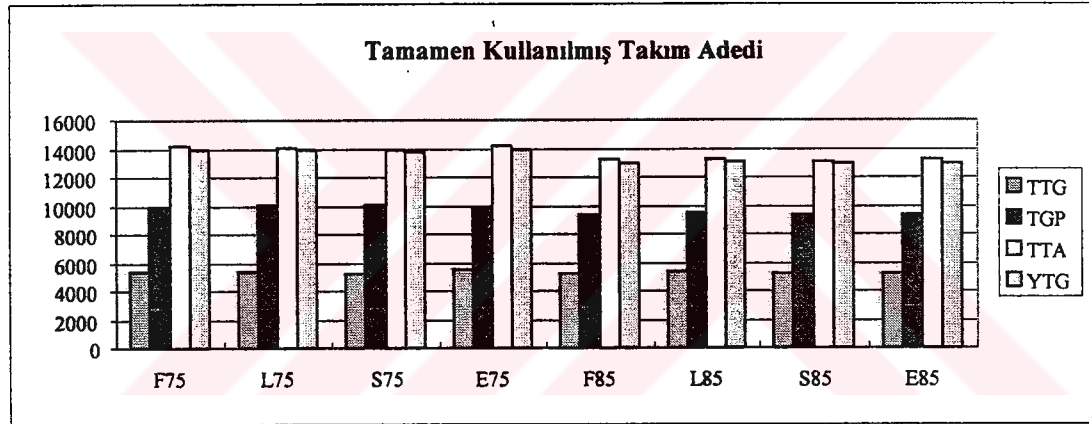
Tablo 6.23 Gelişler arası süre 75dk olduğunda elde edilen takım yönetimi performans değerleri

FIFO	TKA	TKO	TKTA	TTA	TOT
TTG	31982	47	5448	26534	5448
TGP	20433	65	9921	15503	4930
TTA	14296	100	14205	10982	3314
YTG	14692	99	13974	11229	3463
LPT					
TTG	31583	47	5416	26167	5416
TGP	20010	66	10111	15162	4848
TTA	14200	100	14135	10812	3388
YTG	14566	99	13924	11065	3501
SPT					
TTG	31757	47	5222	26535	5222
TGP	19881	67	10038	15266	4615
TTA	14076	100	13996	10969	3107
YTG	14446	99	13844	11220	3226
EDD					
TTG	31948	47	5466	26482	5466
TGP	20466	65	9929	15543	4923
TTA	14297	100	14219	10989	3308
YTG	14677	99	13983	11247	3430

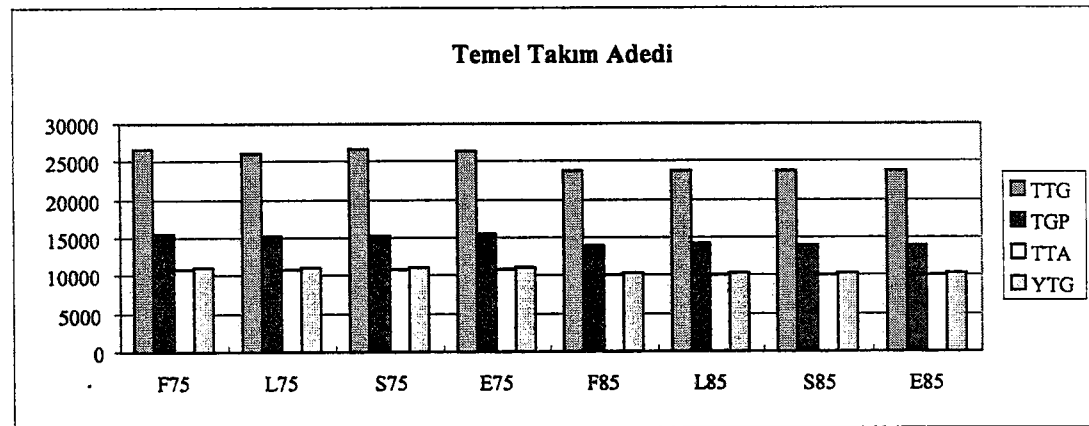


Şekil 6.86 Senaryo 6'da takım kullanım oranı

Takım kullanım oranları ise, her iki yaklaşımda da aynı olmuştur (Şekil 6.86).

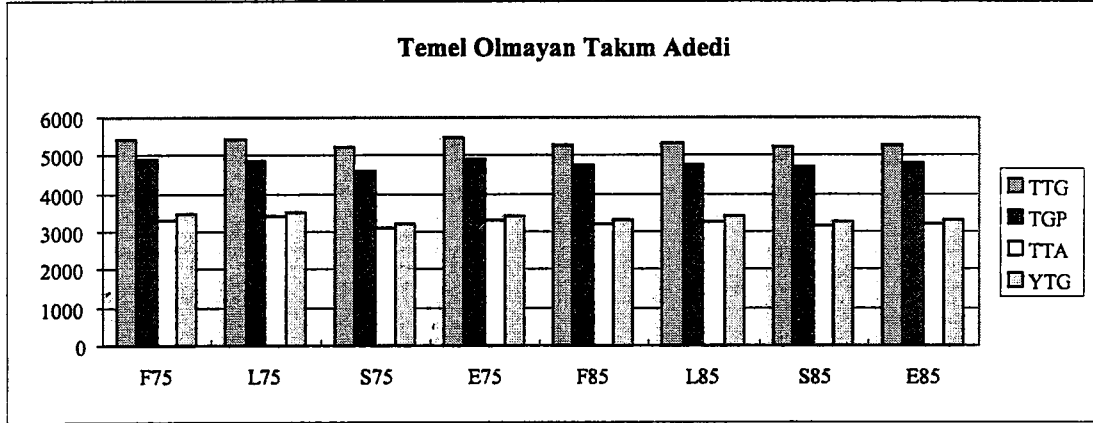


Şekil 6.87 Senaryo 6'da tamamen kullanılmış takım adedi



Şekil 6.88 Senaryo 6'da temel takım adedi

Her iki sistemde de elde edilen **tamamen kullanılmış takım adedi** ve **temel takım adedi** ; işlemi bitmiş parti sayısına (Şekil 6.83), dolayısıyla parça adedine (Şekil 6.84) paralel değerler elde edilmiştir (Şekil 6.87 ve Şekil 6.88).



Şekil 6.89 Senaryo 6'da temel olmayan takım adedi

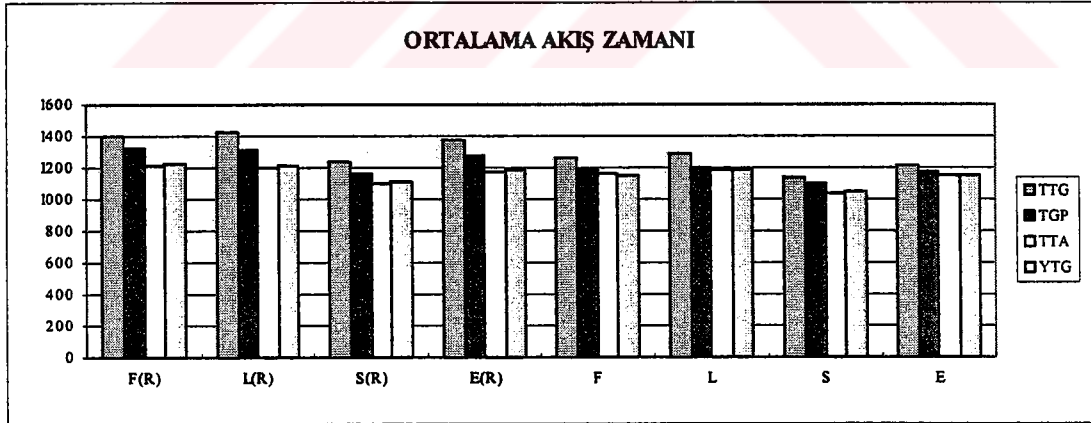
6.8.7 Senaryo 7 (yeniden dönüşüm yaklaşımının etkisi)

Bu senaryoda aşağıda sistem elemanları verilen EİS takım paylaşımına izin verilmiş ve bazı takımların bilenerik tekrar sistemde kullanılabileceği kabul edilmiştir. Bu yaklaşımların ışığında sistem performanslarının aldığı değerler bulunmuş ve analizi yapılmıştır.

<u>Sistemim elemanları</u>	<u>Adetleri</u>
Küçük prizmatik parça tezgahı	2
Büyük prizmatik parça tezgahı	4
Küçük silindirik parça tezgahı	3
Büyük silindirik parça tezgahı	1
Silindirik parça taşlama tezgahı	2
Prizmatik parça taşlama tezgahı	2
Kontrol elemanı	2
OTA sayısı	2
Magazin Kapasitesi	40
Palet kapasitesi	40
Giriş-Çıkış ara stok kapasitesi	6

Tablo 6.24 Yeniden dönüşüme izin verilen sistemden elde edilen performans değerleri

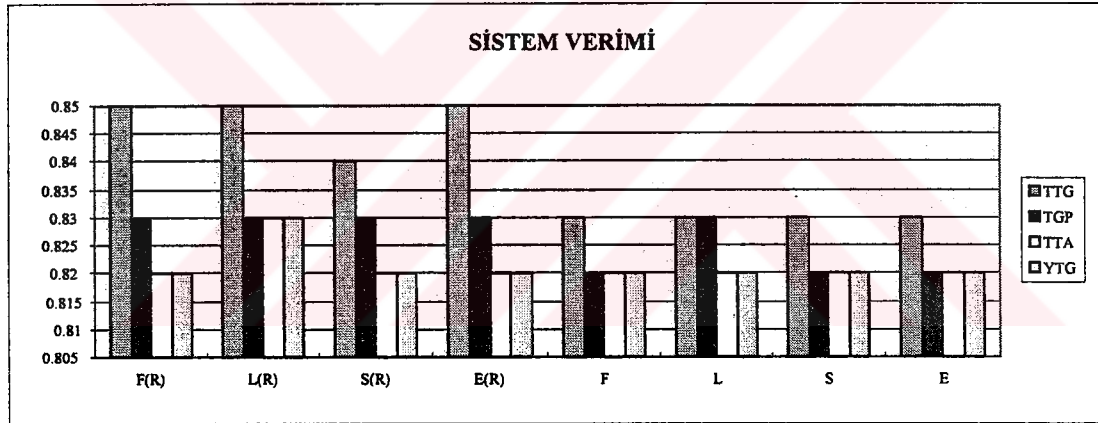
	Ort.Ak. Zam(dk)	Sistem Verimi	OTA Verimi	Ort. Palet Kul(adet)	Ort.Bek. Par.(adet)	Ort.Gec. (dk)	Parti Ad. (adet)	Ort.Gec. Par (adet)	Parça Ad. (adet)
FIFO									
TTG	1405.83	0.85	0.625	9.2	4.88	60.09	2584	24	5588
TGP	1329.16	0.83	0.65	8.26	4.55	90.62	2587	38	5616
TTA	1214.94	0.82	0.6	7.4	4.1	15.1	2598	28	5674
YTG	1222.89	0.82	0.605	7.41	4.13	22	2598	29	5674
LPT									
TTG	1418.76	0.85	0.63	9.26	4.96	90.97	2577	48	5584
TGP	1317.93	0.83	0.615	8.45	4.66	55.72	2585	42	5611
TTA	1206.14	0.83	0.605	7.65	4.31	53.5	2596	39	5664
YTG	1207.88	0.83	0.6	7.54	4.38	45.59	2594	39	5662
SPT									
TTG	1241.68	0.84	0.615	7.99	4.23	41.86	2575	40	5587
TGP	1168.57	0.83	0.61	7.52	3.94	26.54	2587	32	5630
TTA	1104.39	0.82	0.6	6.79	3.69	5.21	2596	16	5687
YTG	1117.95	0.82	0.6	6.95	3.8	12.4	2594	18	5672
EDD									
TTG	1371.19	0.85	0.62	8.5	4.68	76.18	2585	33	5600
TGP	1271.91	0.83	0.61	7.99	4.42	83.04	2591	43	5632
TTA	1175.02	0.82	0.605	7.14	4.06	6	2596	17	5680
YTG	1182.59	0.82	0.605	7.27	4.06	7.38	2596	19	5673



Şekil 6.90 Senaryo 7'de ortalama akış zamanı

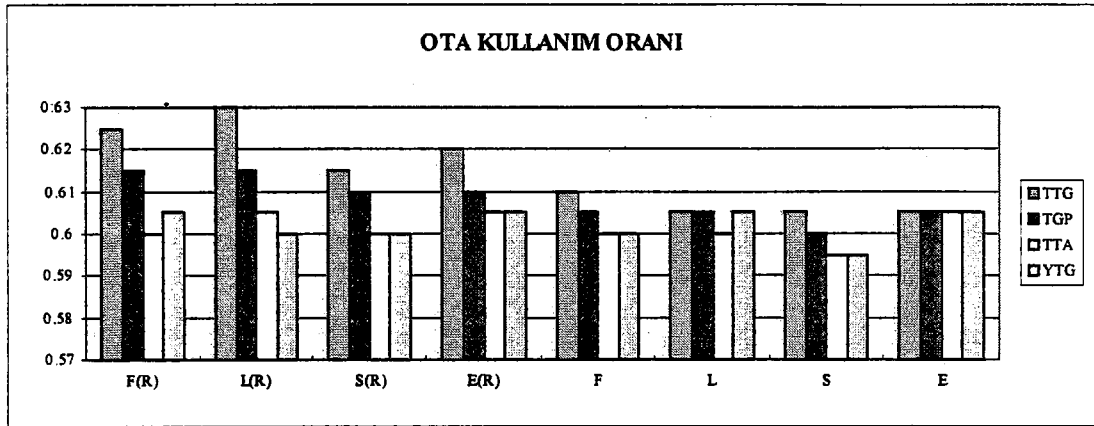
Ortalama akış zamanı; yeniden dönüşümlü takım yönetimi stratejisinde, ömrü kısmen kullanılmış takımlar sistemden çıkarılmayıp ömürleri bitene kadar kullanıldığı için ve takım ömürleri bitmiş fakat bilerek tekrar kullanılan takımların orjinal ömürlerinde azalmalar olmasıyla, parçaların işlenmesi için oluşturulan takım grubundaki takımların sayında artmalara neden olmakta ve buda

takım değişiminden kaynaklanan hazırlık zamanını arttırmaktadır. Bu nedenle tekrar dönüşümlü takım yönetimi stratejisinden elde edilen değerler daha yüksek olarak gerçekleşmektedir. Ortalama akış süresindeki bu artmalar TTGve TGP stratejilerinde daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. TTA ve YTG stratejilerinde takım ömürlerinin büyük bölümü zaten kullanıldığı için yeniden dönüşümsüz sistemle büyük farklar oluşmamaktadır. Bu stratejilerde oluşan farklar ise, yeniden bilenerak sisteme giren takımların orjinal ömürlerindeki azalmalardan kaynaklanan takım grubundaki takımların sayısındaki artışla ortaya çıkan hazırlık zamanındaki artıştan kaynaklanmaktadır. Gerek yeniden dönüşümlü ve gerekse yeniden dönüşüme izin vermeyen stratejilerde çizelgeleme stratetisi olarak SPT ve daha az hazırlık zamanına gerek duyan TTA ve YTG stratejileri daha düşük ortalama akış zamanları vermişlerdir (Şekil 6.90).



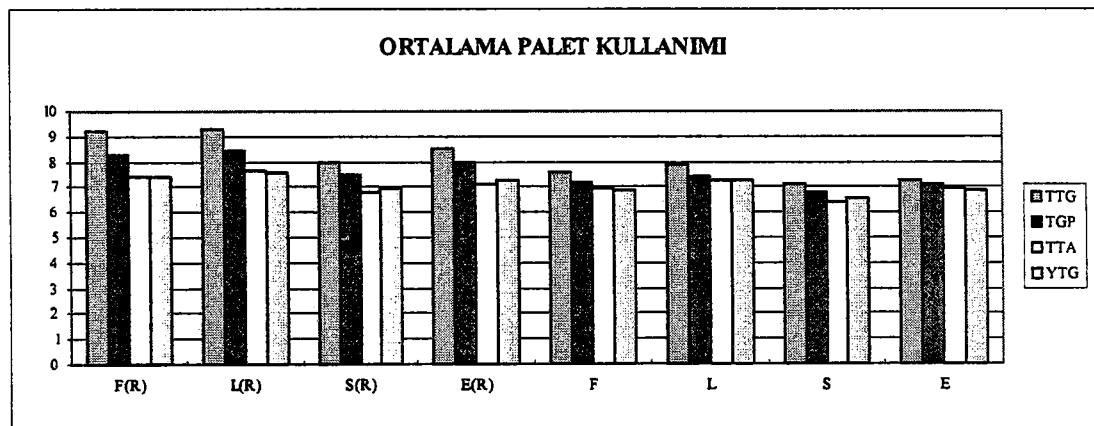
Şekil 6.91 Senaryo 7'de sistem verimi

Sistem verimi; daha önce nedeni belirtildiği gibi daha fazla hazırlık zamanına ihtiyaç duyan stratejilerde sistemin verimi daha yüksek olmaktadır. Yeniden dönüşümlü stratejideki hazırlık zamanı artışlarıyla, yeniden dönüşüme izin vermeyen strateji arasındaki artışlar arasında %1 veya %2'lik farklar oluşturmaktadır ve bu nedenle tezgahlar, simülasyon süresinin % 1 veya %2'lik süresi kadar, yeniden dönüşüme izin vermeyen stratejiden daha çok hazırlık zamanı kullanmaktadırlar (Şekil 6.91).



Şekil 6.92 Senaryo 7'de OTA kullanım oranı

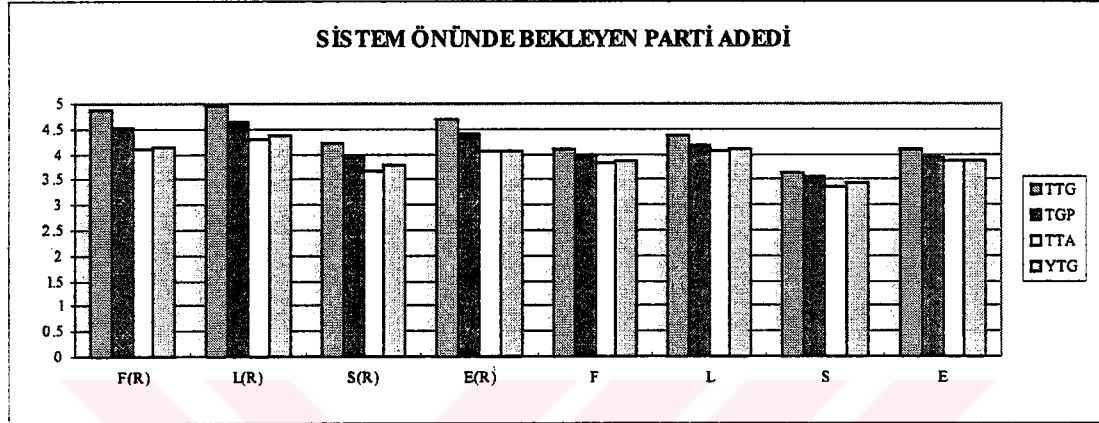
OTA kullanım oranı; yeniden dönüşümlü stratejide daha önce belirtilen nedenlerle, hazırlık zamanındaki artışlardan dolayı parçaların tezgahlarda kalma süreleri artmakta, tezgahların önündeki kuyruklar daha çabuk dolmakta, bu da AS/RS kullanımını arttırmakta ve tezgahlarla AS/RS arasındaki taşımalarından dolayı OTA kullanım oranları daha yüksek çıkmaktadır. Bu nedenle en uzun hazırlık zamanlarına ihtiyaç duyan TTG stratejilerinde OTA kullanım oranı en yüksek çıkmaktadır. Burada da ortalama akış zamanları daha düşük olan çizelgeleme stratejisi olarak SPT ve takım yönetimi stratejisi olarak TTA ve YTG stratejilerinin daha az OTA kullandıkları görülmektedir (Şekil 6.92).



Şekil 6.93 Senaryo 7'de ortalama palet kullanımı

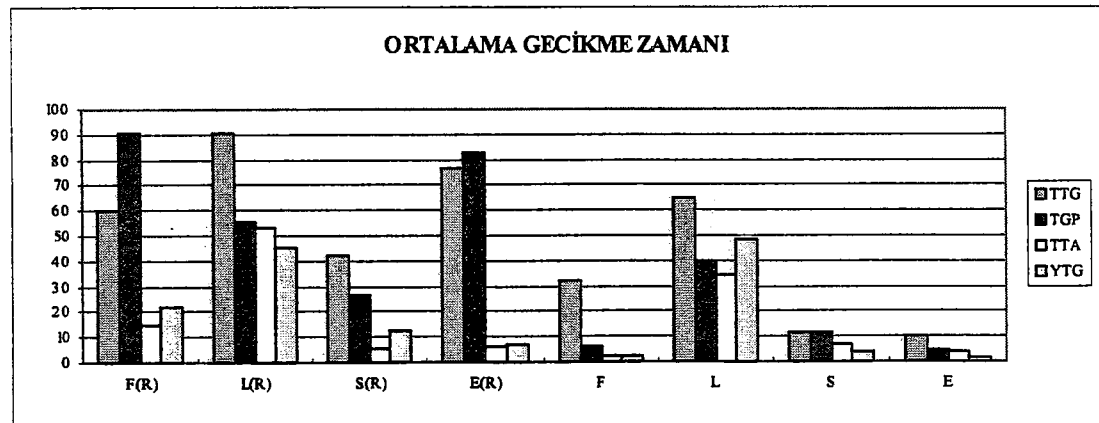
Ortalama palet kullanımı; sistem içindeki parçaların ortalama akış süresi ile ilgili olduğundan, parçaların sistem içinde daha az kalmalarını sağlayan stratejilerde

ortalama palet kullanımı daha düşük olmaktadır. Yeniden dönüşümlü stratejide, önceki stratejilerde belirtilen nedenlerle hazırlık zamanlarındaki artışlar, parçaların sistem içindeki kalış süresini arttırmakta, bu da ortalama palet kullanım oranını yükseltmektedir (Şekil 6.93).

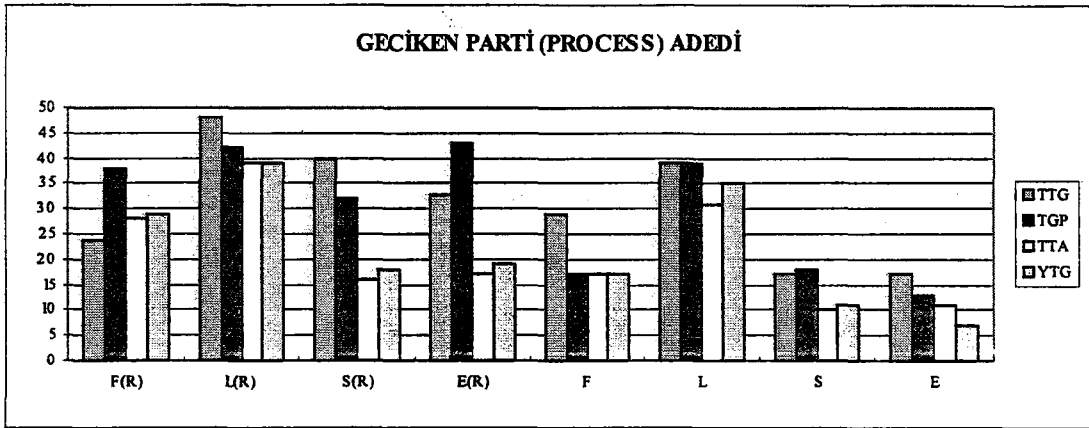


Şekil 6.94 Senaryo 7'de sistem önünde bekleyen parti adedi

Sistem önünde bekleyen parti adedi; EİS, sistem içindeki tezgahların durumuna göre sisteme parça aldığı için, sistemde parçaların kalma süresi arttığında, sisteme parça giriş hızı azalmakta ve bu da yeniden dönüşümlü sistemde olduğu gibi sistem önünde bekleyen partilerin sayısını arttırmaktadır. Sistem önünde bekleyen partilerin sayısı, ortalama akış süreleri ile tam bir paralellik göstermektedir (Şekil 6.94).

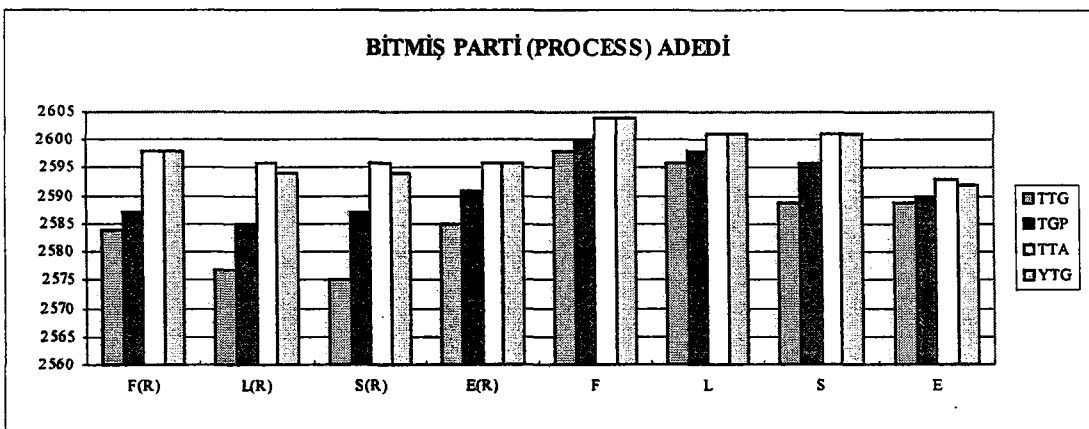


Şekil 6.95 Senaryo 7'de ortalama gecikme zamanı

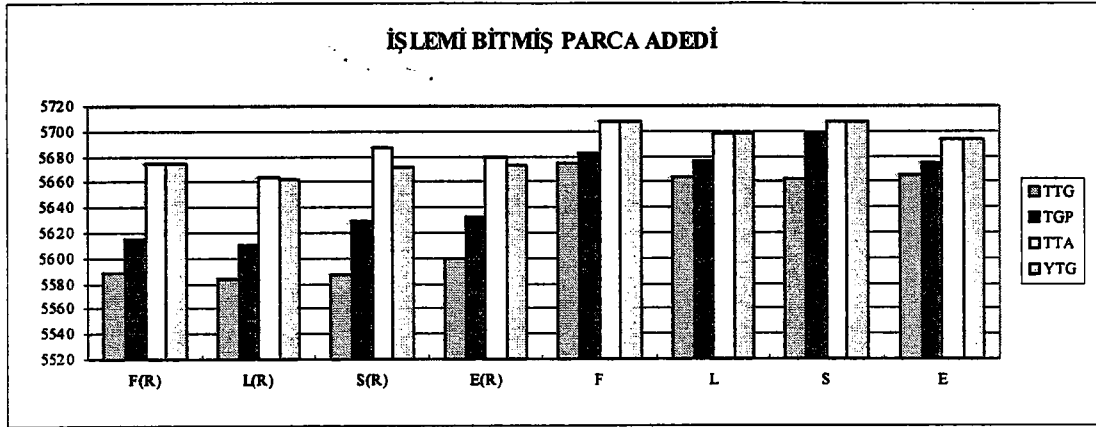


Şekil 6.96 Senaryo 7'de geciken parti adedi

Ortalama geçikme zamanı ve adedi; gerek yeniden dönüşümlü gerekse yeniden dönüşüme izin vermeyen stratejide sistem içinde en fazla geçikme en uzun kalmalara neden olan LPT stratejisinde gözlenmiştir. En az geçikmeler teslim zamanına dayalı EDD'de ve parçaların sistem içerisinde en kısa süre kalmalarını sağlayan SPT'de ortaya çıkmıştır (Şekil 6.96). TGP stratejisi, işlerin tegaha geliş sıralarından büyük ölçüde etkilendiği için ve yeniden dönüşümlü strateji ile yeniden dönüşüme izin vermeyen stratejideki takım grubundaki takımların sayısı arasında büyük farkların bulunması nedeniyle, FIFO çizelgeleme kuralındaki TGP stratejisi arasında büyük bir fark oluşmuştur (Şekil 6.96).



Şekil 6.97 Senaryo 7'de bitmiş parti adedi

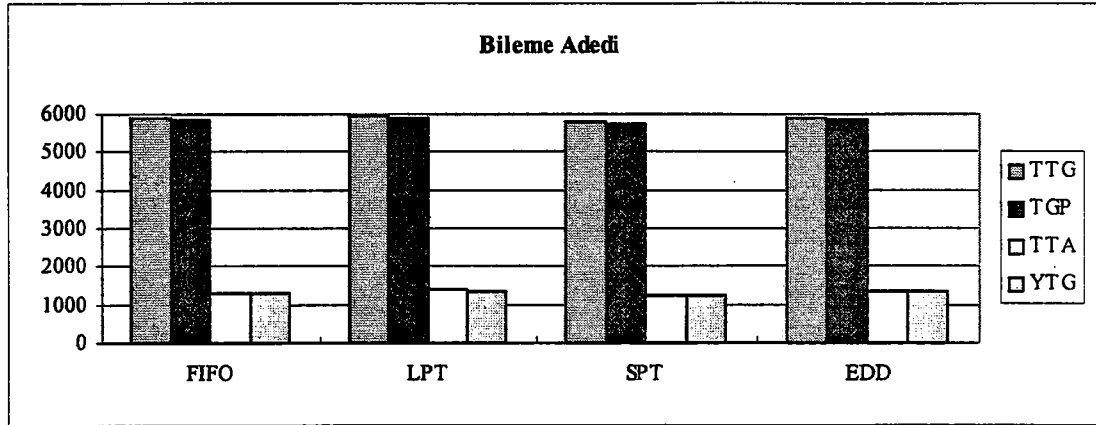


Şekil 6.98 Senaryo 7'de işlemi bitmiş parça adedi

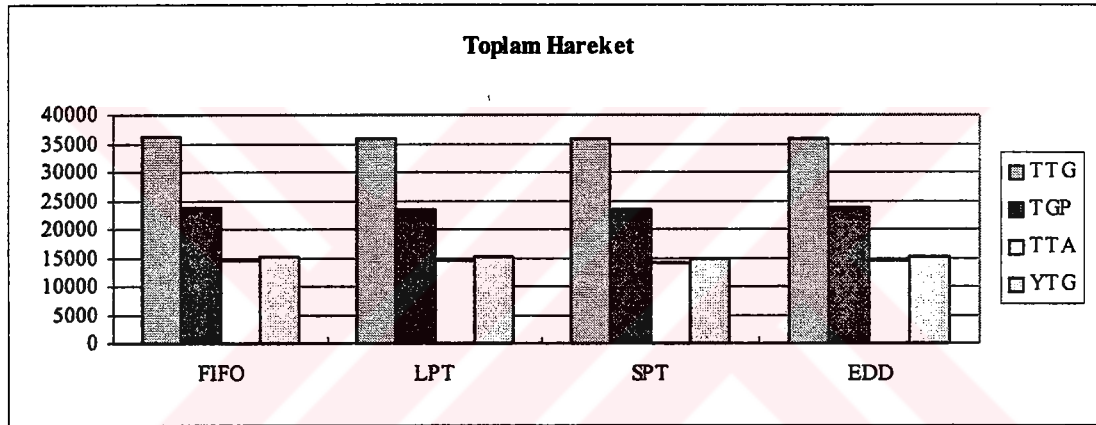
İşlemi bitmiş parça adedi; sistem içindeki akış hızı ne kadar fazla olursa işlemi bitmiş parçaların sayısı da o kadar fazla olmaktadır ve böylece yeniden dönüşülü stratejide işlemi bitmiş parçaların sayısında bir düşüş görülmektedir; bu düşüş, parçaların işlenmesi için oluşturulan takım grubundaki takımların sayısı daha da fazla olan TTG ve TGP stratejilerinde daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 6.98).

Tablo 6.25 Yeniden dönüşüme izin verilen sistemden elde edilen takım yönetimi performans değerleri

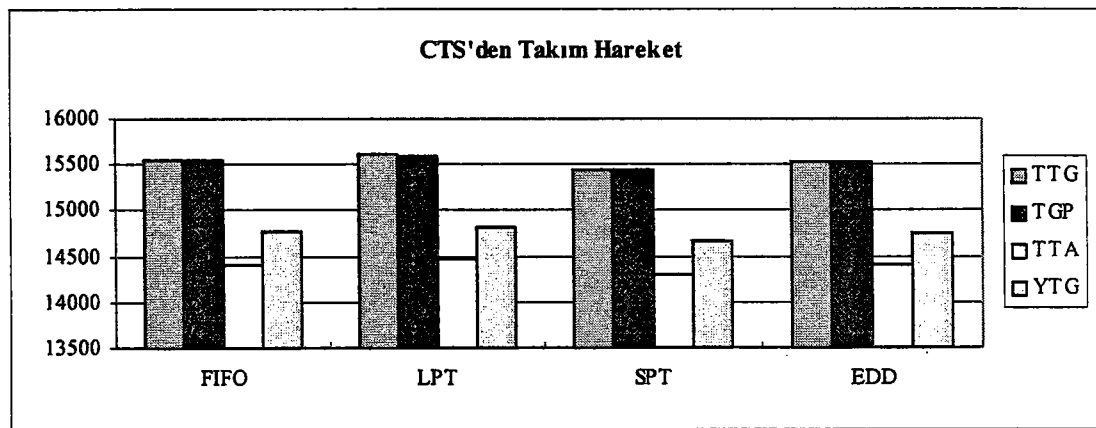
	BİL. AD	TOPLAM HAR.	CTS HAR.	STS HAR.	TKA	TOT	TTA	TKTA
FIFO								
TTG	5910	36116	15551	20565	9792	12273	23727	9398
TGP	5869	23718	15548	8170	9732	8213	15436	9366
TTA	1300	14409	14409	0	8581	3822	10587	8356
YTG	1297	15090	14766	324	8620	4176	10914	8405
LPT								
TTG	5942	36022	15608	20414	9818	12268	23664	9411
TGP	5916	23513	15598	7915	9763	8209	15279	9377
TTA	1399	14473	14473	0	8605	3899	10574	8366
YTG	1367	15127	14817	310	8631	4243	10884	8387
SPT								
TTG	5788	35963	15439	20524	9802	12146	23685	9392
TGP	5738	23395	15443	7952	9746	8040	15310	9364
TTA	1242	14304	14304	0	8585	3730	10574	8361
YTG	1235	14967	14655	312	8633	4069	10898	8396
EDD								
TTG	5908	36028	15524	20504	9767	12224	23712	9361
TGP	5870	23674	15532	8142	9708	8246	15383	9335
TTA	1351	14402	14401	1	8584	3828	10574	8346
YTG	1360	15079	14754	325	8607	4175	10904	8375



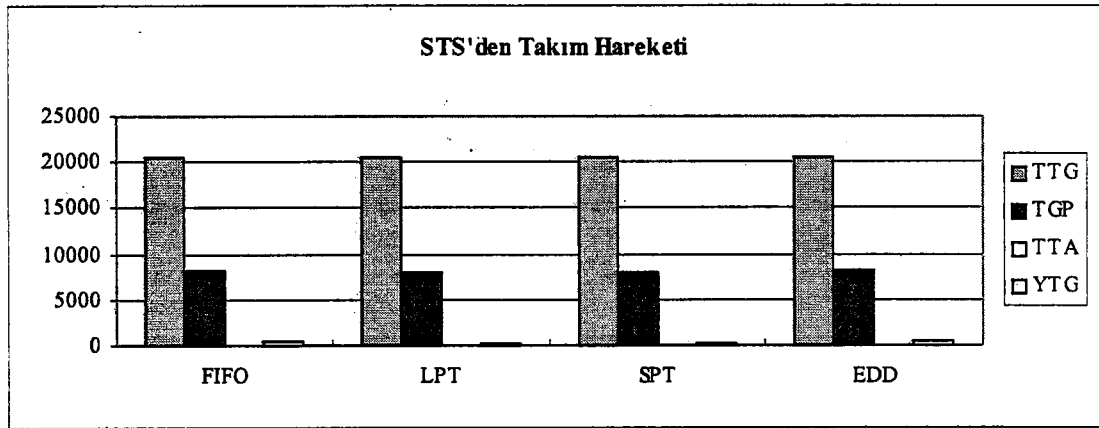
Şekil 6.99 Bileme adedi



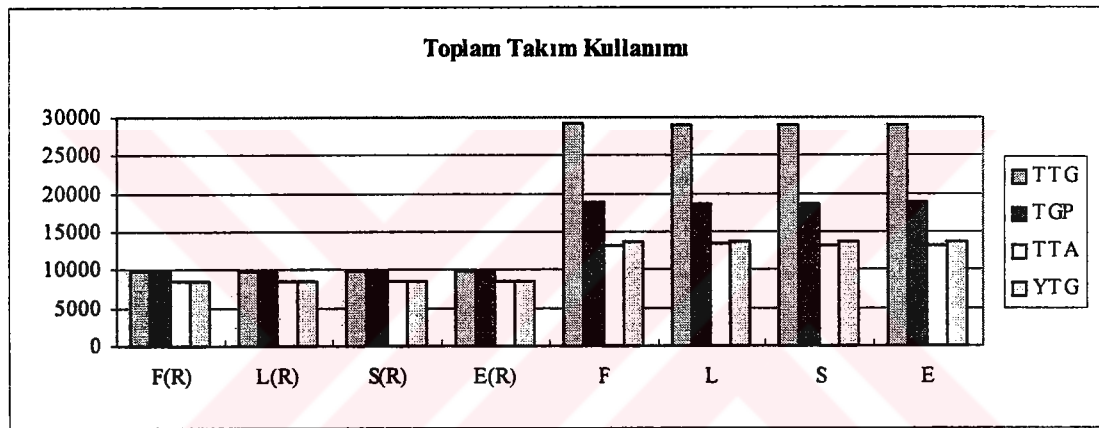
Şekil 6.100 Toplam takım hareketi



Şekil 6.101 CTS'den takım hareketi



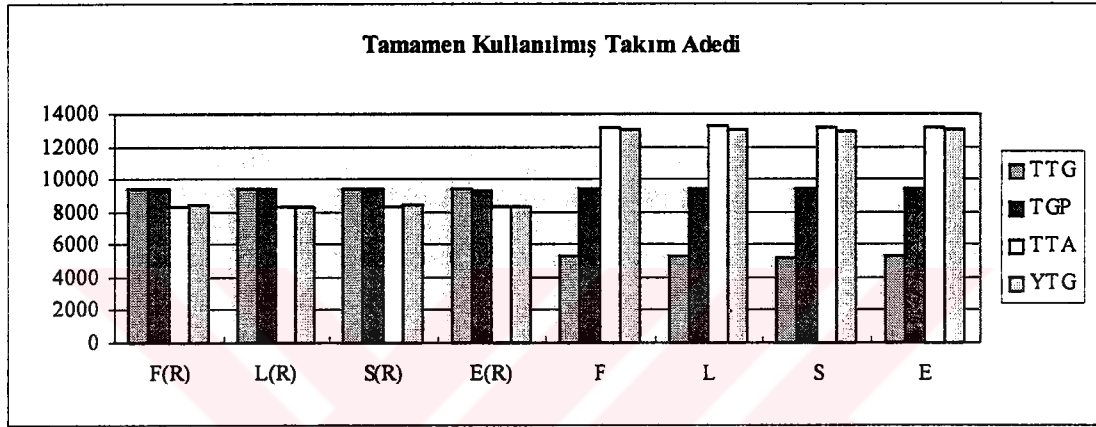
Şekil 6.102 STS'den takım hareketi



Şekil 6.103 Senaryo7'de toplam takım kullanımı

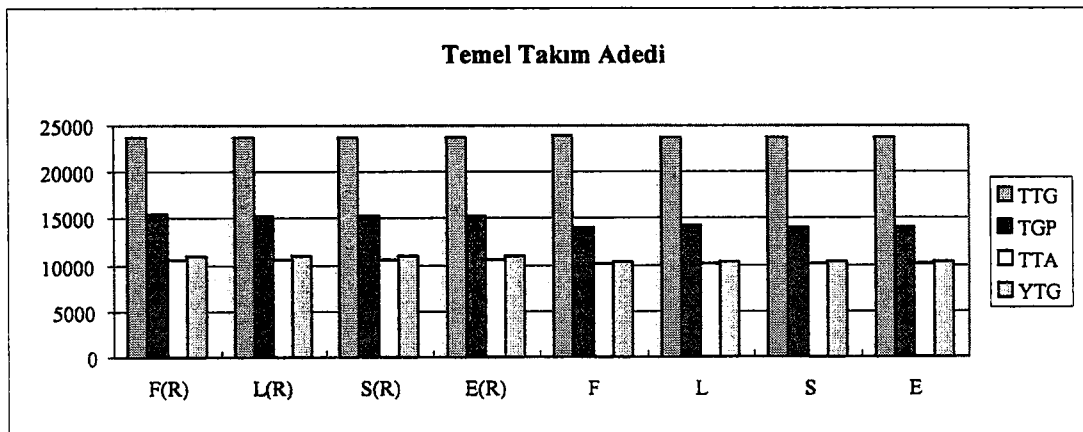
Kullanılan toplam takım adedi; yeniden kullanıma izin veren stratejide sistem içerisinde takım alış verişlerine izin verildiğinden, parçaların işlenebilmesi için gerekli olan takım adetlerinde büyük düşüşler görülmektedir. Burada da parçaların işlenebilmesi için gerekli olan takım sayısı en yüksek değerlerini TTG stratejisinde almıştır. TGP stratejisinde gerekli olan takım sayısında, TTG stratejisine göre biraz daha düşük değerler elde edilmiş ve çizelgeleme stratejilerinde de en çok parça işleyen strateji SPT olmasına karşılık en az takım ihtiyacı bu stratejide bulunmuştur. TTA ve YTG stratejilerinden en iyi sonuçlar elde edilmiş olup magazin kullanımında daha etkili olan TTA stratejisi en iyi sonuçları vermiştir. Yapılan tüm denemeler sonucunda en iyi neticeler çizelgeleme stratejisi olarak SPT ve takım yönetimi stratejisi olarak TTA stratejisinde elde edilmiştir (Şekil 6.103).

Yeniden dönüşüme izin veren stratejiler arasındaki kullanılan toplam takım adetleri arasında büyük farklılıklar olmamakla beraber, sistem içindeki takım hareketleri açısından büyük farklılıklar meydana gelmekte ve en çok takım hareketi (Şekil 6.100) TTG stratejisinde ortaya çıkmaktadır. Sistem içerisinde bulunan takımların sayıları TTG ve TGP stratejilerde daha yüksek olduğu için takım bileme adetleri (Şekil 6.99) TTA ve YTG stratejilerine göre daha yüksektir.

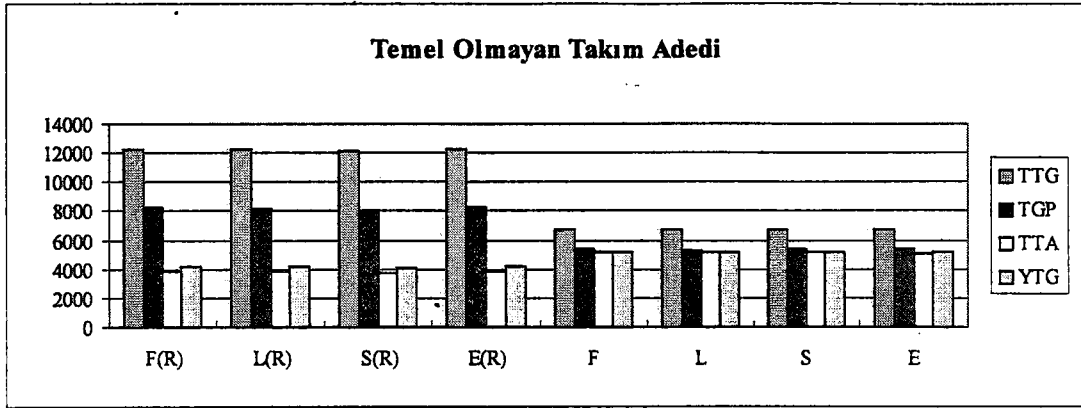


Şekil 6.104 Senaryo 7'de tamamen kullanılmış takım adedi

Tamamen kullanılmış takım adedi; takım paylaşımına izin verildiğinden ve bazı takımların bilenip tekrar kullanıldığından, takımın sistemden çıkarılması için ömrünün tamamının kullanılması gerektiği için tamamen kullanılmış takım adetleri sistem içinde kullanılan toplam takım adetlerine yakın değerler almıştır (Şekil 6.104).



Şekil 6.105 Senaryo 7'de temel takım adedi



Şekil 6.106 Senaryo 7'de temel olmayan takım adedi

Temel takım adedi; yeniden dönüşüme izin verildiğinde TGP, TTA ve YTG takım yönetimi stratejilerinde magazinde kalan takımların; gerek bilemeden ve gerekse yeniden kullanımdan kaynaklanan ömürlerindeki azalmadan dolayı temel takım adetlerinde bir artış olmuştur (Şekil 6.105). Her iki yaklaşım çizelgeleme stratejileri açısından kendi içerisinde birbirine yakın değerler vermiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada EİS içerisinde iş parçaları ve kesici takımların eşzamanlı akışının tasarım ve analizi amacıyla daha önceki çalışmalarda kullanılan gerçek verilere göre, simülasyon ve yapay sinir ağı birlikte kullanılarak optimal sistem konfigürasyonu tespit edilmiştir. Ana ekipmanların yanında yardımcı ekipmanların (paletler ve tezgah magazinleri) sisteme etkisi, sistem parametreleri üzerinde yapılan bazı değişikliklerin sonucunda sistemin nasıl etkilendiğini ve takım yönetiminde yeniden dönüşüme izin verildiğinde sistemin durumunu tespit etmek amacıyla bazı senaryolar düzenlenmiş ve simülasyonları yapılarak aşağıda verilen değerler elde edilmiştir:

- Tezgahların kullanım oranları
- OTA kullanım oranı
- Partilerin sistemde geçirdikleri ortalama süre
- Bitmiş, bölünmüş parti adedi ve işlemi bitmiş parça adedi
- Bölünmüş partilerin ortalama gecikme zamanı ve adedi
- Sistemde işlem görmek amacıyla bekleyen partilerin sayısı
- Sistemde kullanılan ortalama palet miktarı
- Partilerin AS/RS kullanım oranı
- Hücrelerin önünde bekleyen ortalama bölünmüş parti adedi
- Herbir tezgahın işlediği partilerin listesi
- Herbir tezgahta parçaları işlemek için ihtiyaç duyulan takımlar ve adetleri (takım grubu)
- Sistemde kullanılmış takımların kalan ömürleri
- Sistemde ömürleri tamamen kullanılmış takımların sayısı

- Temel takım adedi, temel olmayan (kardeş) takımlar ve adedi

Bu değerlerin analizi sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Simülasyon temel olarak bir optimizasyon tekniği değildir ve bir imalat sisteminin tasarımında kontrol edilmesi gereken bir çok durum ortaya çıkmakta ve analizci bazen optimal olmayan fakat optimale çok yakın bir değerde işlemi sonuçlandırabilmektedir. Çalışmamızda optimal sistem konfigrasyonunun 7776 ($6^4 \times 2 \times 3$) adet konfigrasyon içinden seçilmesi gerektiğinden optimal sonuca ulaşamama durumu ortaya çıkabilir. Bu dezavantajı gidermek için simülasyon, bir yapay zeka tekniği olan yapay sinir ağı ile birlikte kullanılarak sonuca daha etkin bir şekilde ulaşılmış ve aşağıda sunulan konfigrasyon elde edilmiştir:

Ekipman	Adedi
Küçük prizmatik parça tezgahı	2
Büyük prizmatik parça tezgahı	4
Küçük silindirik parça tezgahı	3
Büyük silindirik parça tezgahı	1
Prizmatik parçalar için taşlama tezgahı	2
Silindirik parçalar için taşlama tezgahı	2
Hücre giriş ve çıkış kuyrukları kapasitesi	6
OTA adedi	2

2. EİS içerisinde yer alan tezgah sayılarının doğru olarak tespitinin yanısıra, bu tezgahlar arasındaki parça trafiğini sağlayan taşıma sisteminin kapasitesinin de yeterli olması gerekmektedir. Taşıma sisteminin kapasitesinin sistemi nasıl etkilediğini tespit etmek için düzenlenen senaryo 1 (Bkz. Bölüm 6.8.1) bunu açıkça ortaya çıkartmıştır. Tek bir OTA ile çalışmak hem sisteme gelen parçaların sistem içindeki istasyonlara taşınmasında, hem de sistem içinde parça rotası gereği taşınmak zorunda olan parçaların isteklerine yeterince karşılık verememektedir. Bu durum bir sistem kilitlenmesine yol açmamakla beraber, tezgah önünde ve AS/RS'de aşırı yığılmalara neden olduğu için, dolayısıyla

taşıma gecikmeleri; hem sisteme giren, hem de sistemden çıkartılması gereken parçaların akışını olumsuz olarak etkilediğinden performans değerleri olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu durum aynı konfigrasyonla değişik parça ve takım akış stratejilerinin denenmesinde de olduğu gibi kalmıştır. OTA sayısını 1'den 2'ye çıkardığımızda ise sistem önünde, tezgah önlerinde ve AS/RS'de bekleyen iş sayısında önemli bir azalma kaydedilmiş ve performans değerleri iyileşmiştir. Bu nedenle sistemde 1 OTA kullanıldığında elde edilen performans değerleri (Bkz. Tablo 6.5), 2 OTA kullanıldığında elde edilen değerlerinden (Bkz. Tablo 6.6) daha kötü olduğu görülmüştür.

3. Yapay sinir ağı yardımıyla belirlenen optimum sistem konfigrasyonundan farklı (tezgah sayısı açısından) bir konfigrasyon senaryo 2'de (Bkz. Bölüm 6.8.2) gözönüne alınmış ve sistem performanslarının nasıl etkilendiği hem parça, hem de takım akış stratejileri açısından test edilmiştir. Oluşturulan bu konfigrasyonda birim istasyon başına düşen parti adedi yükseldiği için ortalama sistem veriminde bağıl bir artış olduğu gözlenmekte; ancak tezgah sayılarındaki düşüş, sisteme giren parti adedini ve giriş aralığını etkilediğinden sistem önünde ve tezgah önlerinde bekleyen parti adetlerini artırmıştır. Bu durum genel sistem performanslarını olumsuz olarak etkilemiştir. Örneğin, ortalama bekleyen parti adedi, ortalama gecikme ve parti adetlerinde önemli derecede artışlar olmuştur (Bkz. Tablo 6.6 ,Tablo 6.9). Sistem performansının olumsuz etkilendiği en önemli nokta ortalama akış süresinde oluşmuş, partilerin ortalama sistemde kalma süresi önemli derecede artırarak ortalama üretim oranının azalmasına yol açmıştır. Senaryo parça-takım stratejileri bazında ele alındığında SPT daha hızlı parça akışı sağladığı için diğer parça çizelgeleme stratejilerine göre daha iyi sonuçlar vermiş; ancak sistemin genel performans ölçüleri optimum sistem konfigrasyonuna göre daha kötü sonuçlar vermiştir.
4. Sistemde yer alan tezgahların magazin kapasitelerinin sisteme olan etkisini inceleyebilmek için senaryo 3 (Bkz. Bölüm 6.8.3) düzenlenmiştir. Bu senaryoda; optimum sistem konfigrasyonunda 40 olan magazin kapasitesi 20 takım kapasitesine düşürülmüştür. Otomatize sistemler özellikle yeterli takım

bulundurma konusunda çok hassas olduğundan sistemin magazin kapasitesini 20'ye çekme (düşürme) reaksiyonu oldukça ilginç sonuçlar doğurmuştur. Tüm performans ölçütleri açısından 20 ve 40 magazin kapasiteleriyle çalışmak arasında önemli bir farklılık gözlemlenmemiştir. Buradan çıkarılacak en önemli sonuç böyle bir konfigrasyonda 20 magazin kapasiteli iş istasyonları ile çalışılabilir olduğudur. Sistem parça çizelgeleme stratejilerinde senaryo 1'e (optimum sistem konfigrasyonu) yakın bir reaksiyon göstermiştir. Dolayısıyla genel sistem performans kriterleri 20 ve 40 takım kapasiteli magazinlerde hemen hemen aynı olmuştur. Ancak takım stratejileri için aynı şeyi söylemek mümkün değildir, özellikle TTA ve YTG stratejilerinde sadece atanan işle ilgili takımlar değil, magazinde yer olduğu sürece daha önce atanmış ve kullanılabilir statüdeki takımları da gelecek işler için saklandığından, düşük magazin kapasiteli sistemde yeni ihtiyaç duyulan takımlara yer açılması için daha önce atanmış ancak kullanılabilir statüde olan takımlardan feragat etme zorunluluğu zorunluluğu daha çok ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle büyük magazin kapasiteli sistem daha iyi performans sergilemiş ve 20 magazin kapasiteli yaklaşımda, 40 magazin kapasiteli yaklaşıma oranla takım kullanımı ve takım tasarrufunda daha kötü sonuçlar elde edilmiştir (Bkz Tablo 6.8 ve 6.12). TTG ve TGP stratejilerinde ise, magazin kapasitesi takım grubu sayısından az olmamak şartıyla magazin kapasitesinin bir etkisi görülmemektedir.

5. Sistemde kullanılan palet kapasitelerini ve parçaların sisteme geliş parti büyüklüklerini arttırmak suretiyle sistem yükü arttığında sistemin nasıl etkilendiğini inceleyebilmek için senaryo 4 (Bkz. Bölüm 6.8.4) düzenlenmiştir. Bu senaryoda; palet kapasiteleri artırılıp parçaların sisteme geliş parti büyüklüğü ona göre ayarlandığında (1. yaklaşım) veya parçaların sisteme geliş parti büyüklükleri palet kapasitesi miktarında artırıldığında (2. Yaklaşım) (Bkz. Tablo 6.13), sistem yükünde meydana gelen artmalar, atıl beklemlerin yaşandığı tezgahların verimlerinin yükselmesini ve sistem veriminin artmasını sağlamaktadır. Fakat sistem önünde bekleyen partilerin sayısı üretim periyodu boyunca artan bir trend meydana getirdiğinden (Bkz. Şekil 6.51 a ve 6.51 b) ortalama akış zamanı, ortalama bekleyen parti adedi, geciken işlerin sayısı gibi

performans değerleri (Bkz. Tablo 6.14 ve 6.15), optimum sistemimizden elde edilen değerlerden (Bkz Tablo 6.6) daha kötü sonuçlar vermiştir. 2. yaklaşım, hem sistemin yükünü daha fazla arttırdığından ve hem de sistem içindeki parça taşıma trafiğini fazlalaştırdığından en kötü sonuçlar burada elde edilmiştir. Parti büyüklüğü artışının test edildiği bu senaryonun ortaya koyduğu en önemli sonuç, uygulanan parça ve takım çizelgeleme stratejilerine bakılmaksızın büyük hacimli partilerin sistemin temel performans kriterlerini olumsuz yönde etkilediği şeklinde-dir. Sistemde kullanılan paletlerin kapasitesindeki artışların TTA ve YTG takım yönetimi stratejilerine bir etkisi olmamıştır. TTG ve TGP stratejilerinde ise; aynı takımları kullanan parça adedi arttığından takım ömürlerinin daha etkin kullanımına imkan sağlamış ve takım kullanım oranları (Bkz. şekil 6.57) yükselmiştir ve tamamen kullanılmış takım adetleri de (Bkz. şekil 6.58) artmıştır.

6. EİS içinde hareket eden paletlerin sisteme etkisini inceleyebilmek ve sistemimiz için gerekli palet sayısını tespit etmek için senaryo 5 (Bkz. Bölüm 6.8.5) düzenlenmiştir. Bu senaryoda diğer tüm sistem elemanları sabit tutulmuş, sistem içinde kullanılan 5 çeşit paletin herbirisinden sırasıyla 10'ar, 20'şer ve 40'ar adet bulundurulmak şartıyla sistem her bir çizelgeleme ve takım atama stratejileri için çalıştırılmıştır. Sistemin 10'ar adet paletle çalıştırıldığı durumda, sistemi yeterince beslemediği dolayısıyla tüm sistem performans kriterlerinde belirgin bir olumsuzluk gözlenmiş, ortalama akış süresinin uzadığı, bekleyen parça adetlerinin ve ortalama gecikme sürelerinin de arttığı gözlenmiştir. Ortalama retim miktarında belirgin bir azalma olduğu bir diğer olumsuz durumdur. Palet adetlerini 20 ve 40'ar adete çıkardığımızda ise sistemin normale döndüğü gecikmelerin ve bekleme sürelerinin düştüğü ortalama akış süresinin kısaldığı gözlemlenmiştir. Takım yönetim performansı sistem yüküne göre davranmakta, besleme problemlerinin olduğu 10 paletli denemede, üretilen parça sayısı düştüğü için, kullanılan takım sayısında dşmştir. Sonuç olarak sistemin normal olarak çalışabilmesi ve yeterince parça ile beslenebilmesi için her bir paletten en az 20'şer adet bulundurulması gerekmektedir.

7. Sisteme gelişler arası süre azaltıldığında dolayısıyla sistemin yükü arttırıldığında sistemin durumunu incelemek amacıyla senaryo 6 (Bkz. Bölüm 6.8.6) düzenlenmiştir. Bu senaryoda, parçaların sisteme gelişler arası süresi 75 dk'ya düşürüldüğünde, tüm stratejilerde sistemin veriminde % 7'lik bir iyileşmenin meydana geldiği görülmektedir. Sistem önünde bekleyen partilerin üretim periyodunca durumuna bakıldığında (Bkz. Şekil 6.80); sisteme 310. parti girinceye kadar sistem dengede görülmekte ve bu noktadan itibaren artan bir trend göstermiş sistemin dengeleri bozulduğu için uzun üretim periyodunda ortalama akış zamanı, sistem önünde bekleyen ortalama parti adedi, geciken iş sayısı gibi performans değerlerinde daha kötü değerler gözlenmektedir (Bkz. Tablo 6.6 ve 6.22). Sürpriz olmayarak, parça çizelgeleme stratejilerinden SPT eniyi sonucu vermiştir. Bunun nedeni enkısa işlem süreli işlerin sistemde kalma sürelerinin kısa olması olarak açıklanabilir. Takım yönetimi performans kriterleri ise çizelgeleme stratejilerine olan reaksiyonları ile orantılıdır. Yani, sisteme daha çok parça yollayan ve sistemde o oranda parça işlenmesini sağlayan SPT en fazla takıma ihtiyaç duymuş, tamamen kullanılan takım adedi ve kullanılan takım adedi performanslarında belirgin bir artış gözlenmiştir. Parça çizelgeleme stratejilerinde olduğu gibi, takım atama stratejilerinde herhangi sürpriz bir gelişme gözlemlenmemiş, TTA ve YTG stratejileri yine en iyi performans değerlerini vermiştir.
8. Sistemde, takım paylaşımına izin verildiğinde ve bilenebilir takımların bilenip tekrar sisteme alındığında sistemin performansını incelemek amacıyla senaryo 7 (Bkz. Bölüm 6.8.7) düzenlenmiştir. Uygulanan bu yaklaşım sonucunda tüm takım yönetimi stratejilerinde parçaların işlenmesi için gerekli olan takım grubu sayılarında bir artma meydana getirmiş, bu da hazırlık zamanlarının artmasına neden olmuş ve sistem performans değerlerini az da olsa olumsuz yönde etkilemekle birlikte bu olumsuzluk gözardı edilebilir bir boyutta kalmıştır ve sistemin dengesi bozulmamıştır. Uygulanan yeniden dönüşüm yaklaşımının, TTG stratejisinde % 64'lük, TYG stratejisinde % 50'lik, TTA ve YTG stratejilerinde % 35'lik bir takım tasarrufu sağladığı görülmüştür. Bununla beraber sistem içindeki takım hareketlerinde TTG ve TGP stratejilerinde yaklaşık

%25, TTA ve YTG stratejilerinde yaklaşık % 9'lık bir artış meydana gelmiştir(Bkz. Tablo 6.8 ve 6.25). Hiçbir yatırım yapmaya gerek duymadan sadece daha etkili bir kontrol mekanizmasıyla bu oranda bir tasarrufun sağlanabileceği bu senaryonun en önemli sonucudur.

9. Sistem önünde bekleyen parçaların adetleri artan bir trend göstermediği dengeli sistemlerde (Bkz. Bölüm 6.8.2' 2 OTA'lı sistem ve Bölüm 6.8.7) elde edilen sistem performans değerlerinin (Bkz. Tablo 6.6 ve 6.24) çizelgeleme stratejileri arasında büyük farklılıklar oluşturmadığı görülmekle birlikte, SPT çizelgeleme stratejisi daha hızlı parça akışı sağladığı için en iyi neticeleri vermektedir.
10. Dengeli sistemlere takım yönetimi stratejileri açısından bakıldığında, daha az takım grubuna ihtiyaç duyan stratejiler daha az hazırlık zamanına gerek duyduğu için sistem performans değerleri daha iyi çıkmakta ve en iyi sistem performans değerleri TTA ve YTG'den elde edilmektedir.
11. Dengeli olmayan sistemlerde (Bkz. 6.8.1. 1 OTA'lı sistem, Bölüm 6.8.2 ve 6.8.4), çizelgeleme stratejileri arasındaki farklar büyümektedir. Sistemin dengesini bozan faktörün neden olduğu problemlere bağlı olarak beklenmedik sonuçlar ortaya çıkabilmekte buralarda da daha iyi ortalama akış değerine sahip olan SPT çizelgeleme stratejisi daha iyi sonuçlar vermektedir.
12. Takım yönetimi stratejileri ile çizelgeleme stratejileri arasındaki ilişkiye baktığımızda; TGP, TTA ve YTG stratejilerin işlenmekte olan işin, bir önceki işten direk etkilenmesinden dolayı benzer işlerin, hatta aynı işlerin arka arkaya sisteme girmelerine olanak tanıyan SPT ve LPT stratejileri ile takım yönetimi performans değerleri açısından daha iyi neticeler vermektedir, diğer tarafta TTG stratejisinde ise magazinde kalan takımların kalan ömürlerine bakılmaksızın boşaltıldığından çizelgeleme stratejileri açısından bir fark oluşturmamaktadır.

TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Gerçekleştirilen bu tez çalışması ile şu ana kadar aynı alanda yapılan çalışmalardan farkları aşağıda özetlenmiştir:

- Otomatize sistemler entegre sistemler olduğu için bir çok sistem elemanının aynı anda senkronize olarak çalışmasını gerektirir; bu nedenle, sistem elemanlarından herhangi birinin gözardı edilerek, sistem performansının ölçülmesi çok gerçekçi sonuçlar vermeyecektir. Bu çalışmada, bu durum gözönünde tutulmuş ve sistem içinde iki temel unsur olan parça ve takım akışları aynı anda (eşzamanlı) ele alınarak daha gerçekçi bir performans ölçümü sağlanmıştır. Bununla birlikte pekçok çalışmada bu iki elemandan biri ihmal edilmiş, ya da belli varsayımlar ışığında gözönüne alınarak gerçekleştirilmiştir.
- Parça ve kesici takımlar sistem içinde birlikte ele alınarak sistem daha gerçekçi olarak değerlendirilmiş ve sistem performansları bu dinamik şartlar altında incelenmiştir.
- Tasarım aşamasında sistemin optimal şartlarda çalışabileceği konfigrasyonun simülasyonla elde edilmesi hemen hemen mümkün değildir. Bu amaçla yapay zekanın bir dalı olan yapay sinir ağları optimum sistem konfigrasyonun bulunmasında kullanılarak önemli bir zaman kazancı sağlanmış ve ayrıca optimal konfigrasyonun analiz dışı kalma riski ortadan kaldırılmıştır.
- Takım maliyeti otomatize sistemlerde önemli bir kalem oluşturmasına rağmen (toplam yatırım maliyetinin % 5 ile % 15'i arasında) ya kontrol zorluğundan ya da çok karmaşık yapıdan dolayı genellikle takım akışı iyi yönetilememektedir. Bu çalışmada pratikte de uygulanabilir nitelikte takım yönetimi stratejileri ile iş

çizelgeleme stratejileri birlikte çeşitli hücre şartlarında (senaryolar) test edilmiş ve başarıyla çalıştıkları gözlenmiştir. Bu stratejilerin hangi şartlarda nasıl performans sergiledikleri Bölüm 6'da değişik senaryolar altında verilmiştir.

- Zaten çok karmaşık olan takım yönetimine, geri dönüşüm yaklaşımı da ilave edilerek, sistem içindeki takımların komple kontrolü sağlanmış ve herhangi bir nedenle tamamen kullanılmayan takımlar bu sayede yeniden kullanıma sokularak daha da ekonomik bir strateji teklif edilmiştir. Bu yaklaşımla özellikle çok ekonomik olmayan TTG ve TGP stratejileri daha etkin ve ekonomik hale gelmiştir.
- Sisteme makine bozulmaları, AS/RS, hücre tampon stokları (giriş ve çıkış) gibi detaylar ilave edilerek daha gerçekçi bir sistem tasarımı hazırlanmış ve performans kriterleri bu tasarıma göre ölçülmüştür.
- Sistemin değişik ve gerçekçi konfigrasyonlarını yansıtabilmek ancak alternatif konfigrasyonlarla çalışmakla mümkündür. Bu çerçevede sistemin farklı yapılarıdaki konfigrasyonlara olan reaksiyonu donanım, sistem parametreleri ve strateji değişiklikleri ile ölçülmüştür.

Bu çalışmaya benzer çalışma gerçekleştireceklere yapılabilecek önerileri şöyle özellebiliriz.

- Bu çalışmada sadece iş parçası yönlendirmeli stratejiler gözönüne alınmıştır. Bu çalışmanın devamı niteliğinde bir çalışmaya takım yönlendirmeli stratejilerde dahil edilerek bazı durumlarda daha fazla ekonomi elde edilebilir.
- Aynı şekilde takım yönlendirmeli stratejiler içinde "yeniden dönüşüm" yaklaşımı takip edilerek de çok daha ekonomik bir takım yönetimi elde edilebilir.

- Bu çalışmada takım akışları hiyerarşik bir yol takip etmişler, hücre bazındaki ikincil takım depoları ve makina bazındaki birincil takım depoları arasında herhangi bir takım alışverişine izin verilmemiştir. Bu durum takım yönetimini ve kontrolünü kolaylaştırmakla beraber, bazı durumlarda çok ekonomik olmayabilmektedir. İlave bir çalışmada bu tür depolar arası alışverişe izin verilerek daha hızlı ve ekonomik bir takım yönetimi elde edilebilir.
- Otomatize sistemlerde, iş atanması özellikle prizmatik parçalar için paletle mümkün olmaktadır. Paletler ise çoğunlukla parti büyüklüğünü belirlemektedir. Herhangi bir ilave çalışmada parti büyüklükleri çok daha küçültülerek, çoğu araştırmacı için ideal parti büyüklüğü olarak ifade edilen tek parçalı girişin sistem performanslarına, özellikle takım yönetimine olan etkisi ölçülebilir.
- EİS'in dengelenmesi ve sistemin verimini arttırmaya dönük çalışma sergileyecekler için sisteme gelen parçaların parti büyüklüklerinin veya palet kapasitesinin sistem verimine olan etkisi üzerinde yoğunlaşmalıdırlar
- EİS entegre bir sistem olduğundan sistem içerisinde ki etkileşimi iyi çözümleyecek ve sistemin verimini yükseltmek için bu etkileşime dayanarak parça yüklemesini yapabilecek bir algoritma üzerinde çalışma yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] WARNECKE, H. J. and SCHARF, P., "Some Criteria for the Development of Integrated Manufacturing Systems", Proceedings of 2nd International Conference on Production Research, Reprinted Material, Copenhagen, 1973.
- [2] ANON, "What is FMS? - Basic Patterns and Ideas", Metal Working Engineering and Marketing, pp. 46-52, Jan. 1984.
- [3] EDGHILL, J. S. and DAVIS, A., "Flexible Manufacturing Systems-The MYTH and the Reality", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.. 1, No. 1, 1985.
- [4] MCBEAN, D. J., et al., "Concepts of an FMS", Proceedings of 1st International Conference on FMS, pp. 497-500, 1982.
- [5] LITTLE D., "Integration of FMS with Existing Factory Systems", Proceedings of 5th International Conference on FMS, pp. 439-448, Stratford, 1986.
- [6] RANDHAWA, S. U. and BEDWORTH, D., "Factors Identified for Use in Comparing Conventional and Flexible Manufacturing Systems", Industrial Engineering, pp. 40-44, June 1985.
- [7] WILLIAMSON, D. T., "System 24 - A New Concept of Manufacture", Proceedings of 8th International Machine to Design and Research, pp. 327-376, 1967.
- [8] BELL, R., "Flexible Automation in Batch Manufacturing", 2nd International Metal Cutting Conference, Wuhan, China, 1985.
- [9] HARDLEY, J., "FMS at Work", ", Proceedings of 3th International Conference on FMS, London, 1984.
- [10] KOCHAN, A., "Holset Takes Bold But Unorthodox Approach", The FMS Magazine, pp. 133-135, July 1986.
- [11] TAKAYAMA, S., "DNC System in a Low Volume Production of a Wide Variety of Parts", Metal Working Engineering and Marketing, pp. 28-32, March 1981.

- [12] ANON, "Discussion on AI Guidance in Modelling and Simulation", AI Applied to Simulation (E. Kerckhoffs, et al.; Eds.), Simulation Series, Vol.. 18, No. 1, pp. 201-202,1985.
- [13] THORNEYCROFT, M., "Recent Advances in the Technology of Flexible Turning Cells", Proceedings of 1st International Conference on FMS, pp. 307-316, 1982.
- [14] NORTHSTROM, C., "Flexible Manufacturing Systems for Turning", Proceedings of 1st International Conference on FMS, 1982.
- [15] EVERSHEIN, W., ERHES, K. and SCHMIDT, H., "Review of German FMS Reveals Shortcomings", The FMS Magazine, pp. 159, July 1986.
- [16] ASTROP, A., " 6 Million 'Model' Balance Unit Line", Machinery and Production Engineering, pp. 31-33, February 1984.
- [17] ANON, "Rolls Royce Installs Multi-Robot Grinding", Industrial Robot, Vol.. 10, March 1983.
- [18] COWAN, D., "Holden Has First Retrofitted Flexible Machining Cell", The FMS Magazine, pp. 21-23, January 1986.
- [19] KOCHAN, A., "French Interest Centres on Flexible Cells at Paris", The FMS Magazine, pp. 147-149, July 1986.
- [20] HOLLINGUM, J., "Helping Buyer Maximise the Benefits of FMS", The FMS Magazine, pp. 181-184, October 1986.
- [21] KOCHAN, A., "KTM Uses DOI Grant to Build Machine Tools with FMS", The FMS Magazine, pp. 158-160, April 1988.
- [22] ANON, "KTM - Practising What is Preaches with Brighton FMS", The Production Engineer, pp. 24-25, July/August 1983.
- [23] GREENWOOD, N. R., "Implementing Flexible Manufacturing Systems", MacMillan Education, 1988.
- [24] REISMAN, A., KUMAR, A., MOTWANI, J., CHENG, C. H., "Cellular Manufacturing: A Statistical Review of Literature (1965-1995)", Operations Research, Vol...:45, No.4,pp. 508-520,1997
- [25] ANON, "Cincinnati Milacron's Formula for FMS", The FMS Magazine, pp. 11-14, January 1985.
- [26] HARTLEY, J., "Classic System Achieves Outstanding Results", The FMS Magazine, pp. 91-95, April 1986.

- [27] KESSELBURG, C., "Jig Boring Machines in Production with Flexible Manufacturing Systems", Proceedings of 5th International Conference on FMS, pp. 327-335, Stratford, 1986.
- [28] KOCHAN, A., "Gamble in FMS Pays Off", The FMS Magazine, pp. 51-53, January 1985.
- [29] WILLS, K. F., et al., "Advanced Computer Aided Engineering and Manufacturing", Proceedings of Institute of Mechanical Engineers, Vol.. 197B, pp. 81-89, May 1983.
- [30] CARRIE, A., ADHAMI, E., STEPHENS, A. and MURDOCH, I., "Introducing a Flexible Manufacturing System", International Journal of Production Research, Vol.. 22, 1984.
- [31] HARTLEY, J., "NKK's New FMS - Potential in Need of Plan", The FMS Magazine, Vol.. 4, No. 4, pp. 207-209, 1986.
- [32] KOCHAN, A., "East German Makes Impressive Try at FMS", The FMS Magazine, pp. 131-132, July 1986.
- [33] DUPONT-GATELMAND, C., "Flexible Manufacturing Systems for Gearboxes", Proceedings of 1st International Conference on FMS , pp. 453-461, 1982.
- [34] HENDERSON, M. J., "Economical Computer Integrated Manufacturing", Proceedings Of 5th International Conference on FMS, pp. 167-178, Stratford, 1986.
- [35] DAVEY, S. G., "A Flexible Manufacturing System (FMS) for FBC Production", Proceedings of 5th International Conference on FMS, pp. 29-40, Stratford, 1986.
- [36] DUNN, P., "British Aerospace's FMS Assembles and Tests PCBs", The FMS Magazine, pp. 97-98, April 1986.
- [37] BESSANT, J. and HAYWOOD, W., "Experiences with FMS in the UK", Proceedings of the UK Operations Management Association Conference, pp. 3-17, 1986.
- [38] RANKY, P., "The Design and Operation of Flexible Manufacturing Systems", 1983.
- [39] LUGGEN, W., "Flexible Manufacturing Cells and Systems", Prentice-Hall, Princeton, N.J., 1991
- [40] PARRIS, D., "Flexible Manufacturing ", Butterworth-Heinemann, London, 1990

- [41] The Charles Stark Draper Laboratory Inc., Flexible Manufacturing Systems Handbook, Noyes Publications, 1984.
- [42] BARASH, M. M., et al., "The Optimal Planning of Computerized Manufacturing Systems", Report No. 1, Purdue University, School of Industrial Engineering, November 1975.
- [43] BILALIS, N., "The Design and Control of FMS for Rotational Parts", PhD Thesis, Loughborough University of Technology, 1983.
- [44] PARRIS, D., "The Design and Control of an FMS for Manufacturing Grass Mowers", PhD Thesis, Loughborough University of Technology, 1983.
- [45] NEWMAN, S., "An Integrated Approach to the Design and Evaluation of Flexible Machining Cells", PhD Thesis, Loughborough University of Technology, 1990.
- [46] WEI, W., "A Knowledge based modelling system for the design and evaluation of flexible manufacturing facilities", PhD Thesis, Loughborough University of Technology, 1989.
- [47] WARNECKE, H. J. and VETTIN, G., "Strategies for the Organisation and Control of Discontinuous Conveyors in Flexible Manufacturing Systems", Proceedings of 9th CIRP Seminar on Manufacturing Systems, Reprinted Material, Cranfield, July 1977.
- [48] AFENTAKIS, P., "A Model for Layout Design in FMS", Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies (A. Kusiak, Ed.), Elsevier Science Publishers, North-Holland, 1986.
- [49] AFENTAKIS, P., MILLEN, R. A. and SOLOMON, M. M., "Layout Design for Flexible Manufacturing Systems: Models and Strategies", Proceedings of 2nd ORSA/TIMS Conference on FMS: Operations Research Models and Applications (K. E. Stecke and R. SURI, Eds), North-Holland, 1986.
- [50] CHAN, W. W. and RATHMILL, K., "An Integrated FMS Design Procedure", Annals of Operations Research, 3, pp. 207-237, 1985.
- [51] SARIN, S. C. and CHEN, C. S., "A Mathematical Model for Manufacturing System Selection", Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies (A. Kusiak, Ed.), Elsevier Science Publishers B. V., 1986.
- [52] KUMAR, K. R. and VANNELLI, A., "Design of Flexible Production Systems: Capacity Balancing and Subcontracting Strategies", Proceedings of 2nd ORSA/TIMS Conference on FMS: Operations Research Models and Applications (K. E. Stecke and R. SURI, Eds), North-Holland, 1986.

- [53] AZADIVAR, F. and LEE, Y., "Optimum Number of Buffer Spaces in Flexible Manufacturing Systems", Proceedings of 2nd ORSA/TIMS Conference on FMS: Operations Research Models and Applications (K. E. Stecke and R. Suri, Eds), North-Holland, 1986.
- [54] STECKE, K.E., "Design, Planning, scheduling and Control of FMS", Annals of Operation Research, Vol.. 3, No.3, pp. 3-12, 1985
- [55] WANG, W., AND BELL, R., "A knowledge based multi-level modelling system for the design of flexible machining facilities", International Journal of Production Research, Vol.. 30, No.1, pp. 13-34., 1992
- [56] FRY and SMITH, "FMS Implementation Procedure: A Case Study", IIE Transactions, Vol.. 21, No.3, September, pp. 228-239., 1989
- [57] EVERSHEIM, W. and WESTKAMPER, E., "Computer - Controlled Manufacturing Systems - Planning and Organisation", Proceedings of 3rd North American Metalworking Research Conference, Dearbon, Michigan, 1975.
- [58] BUZACOTT, J. A. and SHANTHIKUMAR, J. G., "Models for Understanding Flexible Manufacturing Systems", AIIE Transactions, Vol.. 12, No. 4, December 1980.
- [59] BELL, R. and BILALIS, G. N., "Loading and Control Strategies for an FMS for Rotational Parts", 2nd Production Engineering Conference, pp. 77-87, Edinburgh, 1987.
- [60] CANUTO, E., MENGA, G. and BRUNO, G., "Analysis of Flexible Manufacturing Systems", Efficiency of Manufacturing Systems (B. Wilson, C. Berg and D. French, Eds.), pp. 189-201, Plennm Press.
- [61] KIMEMIMA, J. G. and GERSHWIN, S. B., "An Algorithm for Computer Control of a Flexible Manufacturing System", IEE Transactions, Vol. 15, No. 4, 1983.
- [62] SOLBERG, J. J., "Computer Models for Design and Control of Flexible Manufacturing Systems", 16th National Conference on Simulation, pp.. 111-117, 1979.
- [63] STECKE, K. E., "Formulation and Solution of Non-linear Integer Production Planning Problems for Flexible Manufacturing Systems", Management Science, Vol. 29, No. 3, pp.. 273-288, 1983.
- [64] SURI, R. and WHITNEY, C. K., "Decision Support Requirements in Flexible Manufacturing", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 3, No. 1, pp. 61-69, 1984.

- [65] MENON, U. and O'GRADY, P. J., "A Flexible Multi objective Production Planning Framework for Automated Manufacturing Systems", Engineering Costs and Production Economics, Vol.. 7, 1984.
- [66] MENON, U., " A Multi-Objective Production Planning Framework for Automated Manufacturing Systems", PhD Thesis, Nottingham University, 1985.
- [67] IWATA, K., OBA, F. and YASUDA, K., "Simulation for Design and Operation of Manufacturing Systems", Annals of CIRP, Vol. 33, No. 1, 1984.
- [68] NOF, S., BORASH, M., SOLBERG, J., "Operational Control of Item Flow in Versatile Manufacturing Systems", International Journal of Production Research, Vol.17, No.5, 1979
- [69] BLACKSTONE, JR, J. H., PHILIPS, D. T. and HOGG, G. L., "A State of the Art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Job Shop Operations", International Journal of Production Research, Vol. 20, No. 1, pp. 27-45, 1982.
- [70] STECKE, K.E., SOLBERG , J.J., "The Optimal Planning of Compuredized Manufacturing Systems", School of Industrial Engineering, Purdeu University, report No.20, West Lafeyette, Indiana, 1981"
- [71] HUTCHINSON, G. K., "The Control of Flexible Manufacturing Systems: Required Information and Algorithm Structures", International Federation of Automatic Control-77, Japan, 1977.
- [72] WHITNEY, C.K., SURI, R., "Algorithms for Part and Machine Selection in FMS", Annals of Operation Research, Vol. 3, No.3, pp. 239-261, 1985
- [73] EDGHILL, J. S. and CRESSWELL, C., "FMS Control Strategy - A Survey of the Determining Characteristics", Proceedings of 4th International Conference on Flexible Manufacturing Systems, pp. 305-315, Birmingham, 1986.
- [74] HUANG H.P. AND CHANG, P.C., "Specification, modelling and control of a flexible manufacturing cell", International Journal of Production Research, Vol. 30, No.11, pp. 2515-2543, 1992.
- [75] STECKE , K.E., "Design, planning, scheduling and control problems of flexible manufacturing systems", Intelligent Manufacturing, pp. 189-198 .), 1988
- [76] ÖZBAYRAK, M., "Design of Tool Management Systems for Flexible Manufacturing Systems", PhD Thesis, Loughborough University of Technology, UK, 1993.
- [77] CONWAY, R. W., MAXWELL, W. L. and MILLER, L.W., "Theory of Scheduling", Addison Wesley, Reading Mass., 1967.

- [78] JONES, C. H., "An Economic Evaluation of Job Shop Dispatching Rules", *Management Science*, Vol. 21, No. 3, pp. 293-307, 1973.
- [79] BAKER K. R. "Introduction to Sequencing and Scheduling", John Wiley and Sons, New York, NY, 1974.
- [80] FRENCH, S, "Sequencing and Scheduling", John Wiley and Sons, 1982.
- [81] GERSHWIN, S. B., "Hierarchical Flow Control: A Framework for Scheduling and Planning Discrete Events in Manufacturing Systems", *Proceeding of the IEEE*, Vol. 77, No.1 , 1989.
- [82] GUPTA, J. N. D., "Two Stage, Hybrid Flowshop Scheduling Problem", *Journal of Operations Research Society*, Vol.. 39, pp. 359-364, 1988.
- [83] JOHNSON, L. A. and MONTGOMERY, D. C., "Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control", John Wiley and Sons, New York, NY, 1974.
- [84] RYZIN, G. J. V., et al., "Scheduling Job Shops with Delay", *International Journal of Production Research*, Vol. 29, No. 7, pp. 1407-1422, 1991.
- [85] GUPTA, J. N. D. and TUNC, E. A., "Schedules for a Two-Stage Hybrid Flowshop with Parallel Machines at Second Stage", *International Journal of Production Research*, Vol. 29, No. 7, pp. 1489-1502, 1991.
- [86] POURBABAI, B., "A Short Term Production Planning and Scheduling Model", *Engineering Costs and Production Economies*, 18, pp. 159-167, 1989.
- [87] DAOUD, Z. A. and PURCHECK, G. F. K., "Multi-Tool Job Scheduling for Tool-Change Reduction", *International Journal of Production Research*, Vol. 19, No. 4, pp. 425-435, 1981.
- [88] NOF, S. Y., WHINSTON, A. B and BULLERS, W. I., " Control and Decision Support in Automatic Manufacturing Systems", *AIIE Transactions*, Vol. 12, No.2, pp. 156-169, 1980.
- [89] MUKHOPADHIYAY, S. K., et al., "Heuristic to the Scheduling Problems in Flexible Manufacturing System", *International Journal of Production Research*, Vol. 29, No. 10, pp. 2003-2024, 1991.
- [90] CHAN, D. Y. and BEDWORTH, D. D., "Design of a Scheduling System for Flexible Manufacturing Cells", *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No.11, pp. 2037-2049, 1990.
- [91] DENZLER, D. R. and BOE, W. J., "Experimental Investigation of Flexible Manufacturing System Scheduling Decision Rules", *International Journal of Production Research*, Vol. 25, No. 7, pp. 979-994, 1987.

- [92] CHAN, T. S. and PAK, H.A., "Modelling of a Controller for a Flexible Manufacturing Cell", *International Trends in Manufacturing Technology Simulation - Application in Manufacturing*, pp. 105-108, 1986.
- [93] AANEN, A., GAALMAN, G. J., "Planning and Scheduling in an FMS", *Engineering and Production Economics*, Vol. 17 , pp. 89-97, 1989.
- [94] TOCZYLOWSKY, E., "Optimization of Simultaneous Loading and Lot Size Scheduling in a Functional Manufacturing Cell", *Modern Production Management Systems*, Kusiak (Ed.), pp. 107-120, 1987.
- [95] SARIN, S. C. And CHEN, C. S., "The Machine Loading and Tool Allocation Problem in a Flexible Manufacturing System", *International Journal of Production of Research*, Vol. 25, No. 7, pp. 1081-1094, 1987.
- [96] MUKHOPADHYAY, S. K., SANJAY, M. and KRISHNA, V. M., "A Heuristic Procedure for Loading Problems in Flexible Manufacturing Systems", *International Journal of Production Research*, Vol. 30, No. 9, pp. 2213-2228, 1992.
- [97] CHEN, Y. J. And ASKIN, R. G., "A Multiobjective Evaluation of a Flexible Manufacturing System Loading Heuristics", *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 5, pp. 895-911, 1990.
- [98] KUSIAK, A., "Loading Models in FMS", In. Rouf A. and Ahmed, S.(Eds.), *Flexible Manufacturing*, Elsevier Science Publications, Amsterdam, 1986,
- [99] ZHANG, P., "The Management of Tool Flows in Flexible Manufacturing Systems for Cylindrical Parts ", PhD Thesis, Loughborough University of Technology, 1989.
- [100] SMITH, M. L., RAMESH, R., DUDEK, R. and BLAIR, E., "Characteristics of US Flexible Manufacturing Systems Survey", *Proceedings of 2nd ORSA/TIMS Conference on FMS: Operations Research Models and Applications* (K. E. Stecke and R. SURI, Eds), pp. 477-486, North-Holland, 1986.
- [101] DAGLI, C. H., "Scheduling for Flexible Manufacturing Systems", *Modern Production Management Systems*, A. Kusiak (Ed.), Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), pp. 31-43, 1987.
- [102] SHANKER, K. and TZEN, J., "A Loading and Dispatching Problem in a Random FMS", *International Journal of Production Research*, Vol. 25 No. 3, pp. 579-595, 1985..
- [103] ESCUDERO, L.F., "A Mathematical Formulation of a Hierarchical Approach for Production Planning in FMS", *Modern Production Management Systems*, A. Kusiak(Ed.), pp. 231-245, 1987

- [104] SARIN, S. C. and SALGAME, R. R., "Development of a Knowledge-Based System for Dynamic Scheduling", *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 8, pp. 1499-1512, 1990.
- [105] FARHODI, F., "A Knowledge-Based Approach to Dynamic Job-Shop Scheduling", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 3, No. 2, pp. 84-95, 1990.
- [106] SHAW, M. J. P. and WHINSTON, A. B., "Applications of Artificial Intelligence to Planning and Scheduling in Flexible Manufacturing, Flexible Manufacturing Systems: A Review of Modelling Approaches for Design, Justification and Operation", *Proceedings of 2nd ORSA/TIMS Conference on FMS: Methods and Studies*, Edited by A. Kusiak., pp. 223-242, North-Holland, 1986.
- [107] FOX, M. S. and SMITH, S. F. "ISIS- A Knowledge-Based System for Factory Scheduling", *Expert Systems*, Vol. 1 No. 1, pp. 25-49. , 1984.
- [108] KUSIAK, A. and AHN, J., "Intelligent Scheduling of Automated Machining Systems", *Computer Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 5, No. 1, pp. 3-14, 1992.
- [109] CHANDRA, J. and TALAVAGE, J., "Intelligent Dispatching for Flexible Manufacturing", *International Journal of Production Research*, Vol. 29, No. 11, pp. 2259-2278, 1991.
- [110] VENTURA, J. A. and CHEN, F. F., "Grouping Parts and Tools in Flexible Manufacturing Systems Production Planning", *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 6, pp. 1039-1056, 1990.
- [111] CHUNG, C. H., "Planning Tool Requirements for Flexible Manufacturing Systems", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 10, No. 6, pp. 476-483, 1990.
- [112] KIRAN, A. S., and KRASON, R. J., "Automating Tooling in a Flexible Manufacturing System", *Industrial Engineering*, pp. 52-57, April 1988.
- [113] BELL, R. and DE SOUZA, R. B. R., "The Management of Tool Flows in Highly Automated Flexible Machining Installations", *2nd International Conference on Computer Aided Production Engineering*, pp. 233-238. , Edingburgh, 1987.
- [114] KURIMOTO, A., "Tool Management System for Advanced Manufacturing", Reprinted from *Manufacturing Technology International*, Europe, 1989.
- [115] RHODES, J. S., "FMS Tool Management Systems", *CASA/SME Flexible Manufacturing Systems, Conference*, pp. 269-286, Michigan, March 1986.
- [116] ZHANG, P. and BELL, R., "Tool Management for Highly Automated Turning Systems", *Proceedings of 3rd International Conference on Metal Cutting* , Vol. 1, Nanjing, China, May 1987.

- [117] HANKINS, L. S. and ROVITO, P. V., "The Impact of Tooling in Flexible Manufacturing Systems", National Machine Tool Builders' Association 2nd Biennial International Machine Tool Technical Conference., pp. 175-198, Cincinnati, September 1984.
- [118] DE SOUZA, B. R. B., "The Management of Tool Flow in Highly Automated Manufacturing Systems", PhD Thesis, Loughborough University of Technology, UK, 1988.
- [119] HERRINGTON G., "Tool Management Starts in the Tool Stores", Reproduced from Manufacturing Technology International - Europe Yearbook, 1987.
- [120] ELMARAGY, H. A., "Automated Tool Management in Flexible Manufacturing", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 4, No. 1, pp. 1-13, 1985.
- [121] TOMEK, P., "Tooling Concepts for FMS", Proceedings of 5th International Conference on FMS, pp. 315-326, Stratford, 1986.
- [122] GRAVER, T. W. and McGINNIS, L. F., "A Tool Provisioning Problem in FMS", The International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Vol. 1, pp. 239-254, 1989.
- [123] GYAMPAH, K.A., MEREDITH, J.R., AND RATURI, A., "A Comparison of tool management strategies and part selection rules for a flexible manufacturing systems", International Journal of Production Research, Vol. 30, No.4, pp. 733-748, 1992
- [124] LEUNG, L. C., MAHESHWARI, S. K., and MILLER, W. A., "Concurrent Part Assignment and Tool Allocation in FMS with Material Handling Considerations", International Journal of Production Research, Vol. 31, No. 1, pp. 117-138, 1993.
- [125] CHAN, B. W. M., "Tool Management for Flexible Manufacturing", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 5, No. 4-5, pp. 255-265, 1992.
- [126] COLEMAN, P., ÖZBAYRAK, M. and BELL, R., "Tool Management and Job Allocation in Flexible Machining Cells", Part 1: Work Oriented Strategies, IMechE Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol.. 210, No. 58, pp. 405-416, 1996.
- [127] COLEMAN, P., ÖZBAYRAK, M. and BELL, R., "Tool Management and Job Allocation in Flexible Machining Cells", Part 2: Tool Oriented Strategies, IMechE Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol.. 210, No. 58, pp. 417-425, 1996.
- [128] KEHEO, D. F., et al., "Method for The Specification o Tool Management Information Systems", Computer Integrated Manufacturing Systems, Vol. 4, No. 1, pp. 18-25, 1991.

[129] BER, A. and FALKENBURG, D. R., "Tool Management for FMS", *Annals of CIRP*, Vol. 34, No. 1, pp. 387-390, 1985.

[130] KURIMOTO, A., SO, K. and HILL, D., "Fully Integrated Tool Management System", Reprint, *Proceeding of the 7th International Conference on Flexible Manufacturing Systems*, pp. 22-28, September 1988.

[131] ZHOU, C., AND WHSK, R. A., "Tool Management for Computer Integrated Manufacturing", *Int. Industrial Eng. Conference and Societies' Manufacturing and Productivity Symposium Proceedings*, pp. 603-607., Michigan, 1989.

[132] DE SOUZA, R.B.R, "Tool Provisioning Strategies for Flexible Manufacturing Systems", *Robotics and Computers Integrated Manufacturing*, Vol. 13, No.1, pp. 31-39, 1997

[133] TETZLAF, U. A. W., "Evaluating the Effect of Tool Management on Flexible Manufacturing System Performance", *International Journal of Production Research*, Vol. 33, No. 4, pp. 877-892, 1995.

[134] CHANDRA, P., LI, S. and STAN, M., "Jobs and Tool Sequencing in an Automated Manufacturing Environment", *International Journal of Production Research*, Vol. 31, No. 12, pp. 2911-2925, 1993.

[135] TANG, C. S., and DENARDO, E. V., "Models Arising from a Flexible Manufacturing Machine", Part 1: Minimization of the Number of Tool Switches, *Operation Researches*, Vol. 36, No. 5, pp. 778-784, 1988.

[136] TANG, C. S., and DENARDO, E. V., "Models Arising from a Flexible Manufacturing Machine", Part 1: Minimization of the Number of Tool Switches, *Operation Researches*, Vol. 36, No. 5, pp. 767-777, 1988.

[137] CHUNG, C. H., "Planning Tool Requirements for Flexible Manufacturing Systems", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 10, No. 6, pp. 476-483, 1990.

[138] ZAVENALLA, L. and BUGUNI, A., "Planning Tool Requirements for Flexible Manufacturing: An Analytical Approach", *International Journal of Production Research*, Vol. 30, No. 6, pp. 1401-1414, 1992.

[139] REDDY, C. E., CHETTY, O. V. K. and CHAUDHURI, D., "A Petri Nets Approach for Analysing Tool Management Issues in FMS", *International Journal of Production Research*, Vol. 30, No. 6, pp. 1427-1446, 1992.

[140] LIN, C. J. and WANG, H. P., "Optimal Operation Planning and Sequencing : Minimization of Tool Changeovers", *International Journal of Production Research*, Vol. 31, No. 2, pp. 311-324, 1993.

- [141] SODHI, M. S., ASKIN, R. G. and SEN, S., "Multiperiod Tool and Production Assignment in Flexible Manufacturing Systems", *International Journal of Production Research*, Vol. 32, No. 6, pp. 1281-1294, 1994.
- [142] GRIECO, A., SEMERARO, Q., TOLIO, T. and TOMA, S., "Simulation of Tool and Part Flow in FMSs", *International Journal of Production Research*, Vol. 33, No. 3, pp. 643-658, 1995.
- [143] CO, H. C., BIERMANN, J. S. and CHEN, S. K., "A Methodical Approach to The Flexible Manufacturing System Batching, Loading and Tool Configuration Problem", *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 12, pp. 2171-2186, 1990.
- [144] ARIZONO, I., KATO, M., YAMAMATO, A. and OHTA, H., "A New Stochastic Neural Network Model and Its Application to Grouping Parts And Tools in Flexible Manufacturing Systems", *International Journal of Production Research*, Vol. 33, pp. 1535-1548, 1995.
- [145] AGNETIS, A., DROR, M., VAKKARIA, A. J., ROSSI, F., "Tool handling and Scheduling in a two machine Flexible Manufacturing Cell", *IIE Transactions*, Vol. 28, pp. 425-437, 1996
- [146] AGNETIS, A., ALFEIRI, A., BRANDIMORTE, P., PRINSECCHI, P., "Joint job/tool Scheduling in Flexible Manufacturing Cell with No. on Board Tool Magazine", *Computer Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 10, No. 1, pp. 61-68, 1997
- [147] ACACCIA, G. M., CAMPOLONGHI, F., MICHELINI, R. C. and MOLFINO, R. M., "Expert Simulation of a Tool-Dispatcher for Factory Automation", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 2, pp. 131-139, 1989.
- [148] BARD, J., "A Heuristic for Minimizing the Number of Tool Switches on a Flexible Machine", *IIE Transactions*, Vol. 20, No. 4, pp. 282-291, 1988.
- [149] LEVITIN, G. and RUBINOVITZ, J., "Algorithm for Tool Placement in an Automatic Tool Change Magazine", *International Journal of Production Research*, Vol. 33, No. 2, pp. 351-360, 1995.
- [150] GIARDINI, C., MACCARINI, G. and BUGINI, A., "An Expert System: Tool Replacement in Flexible Manufacturing", *Production Research, Approaching the 21st Century*, M. Pridman and C. O'Brien (Eds.), pp. 617-624, 1991.
- [151] NEE, A. Y. C., SHAN, X. H. and POO, A. N., "An AI/Neural Network Based Solution for Cutting Tool Selection", *Computer Aided Production Engineering*, Elsevier, (Eds. V. C. Venkatesh and J. A. McGeough), pp. 251-260, 1991.

- [152] SURI, R., "New Techniques for Modelling and Control of Flexible Manufacturing Systems", Proceedings of International Federation of Automatic Control on Control Science and Technology, Kyoto, 1981.
- [153] WILHELM, W.E., SARIN S.C., "Models for the Design of Flexible Manufacturing Systems", Proc. Of Annual Industrial Eng. Conference, 1983
- [154] LOOVEREN, A. J. V., GELGERS, L. F. and WASSENHOVE, L. N. V., "A Review of FMS Planning Models", Modelling and Design of Flexible Manufacturing Systems (A. Kusiak, Ed.), Elsevier, 1986.
- [155] BUZACOTT, J. A., "Modelling Automated Manufacturing System", Fall Industrial Engineering Conference Proceedings, pp. 341-348, 1983.
- [156] JACKSON, J. R., "Job Shop Like Queuing Systems", Management Science, Vol. 10, pp. 131-142, 1964.
- [157] SOLBERG, J. J., "Optimal Design and Control of Computerized Manufacturing Systems", Proceedings of American Institute of Industrial Engineering: Systems Engineering Conference, 1976.
- [158] SOLBERG, J. J., "Quantitative Design Tools for Computerized Manufacturing Systems", Proceedings of 6th North American Metalworking Research Committee, Florida, 1978.
- [159] SOLBERG, J. J., "Mathematical Design Tools for Integrated Production Systems", Production 23rd MTDR Conference, Manchester, 1982.
- [160] BARD, Y., "Some Extentions to Multiclass Queueing Network Analysis", Performance of Computer Systems (M. Arato., Ed.), North-Holland, Amsterdam, 1979.
- [161] SURI, R. and HILDEBRANT, R. R., "Modelling Flexible Manufacturing Systems Using Mean-Value Analysis", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 3, No. 1, pp. 61-69, 1984.
- [162] NEWMAN, S. T., "An Integrated Approach to the Design and Evaluation of Flexible Machining Cells", PhD Thesis, Loughborough University of Technology, 1990.
- [163] ALLA, H., LADET, P., MARTINEZ, J. and SILVA, M., "Modelling and Validation of Complex Systems by Colored Petri Nets: Application to a Flexible Manufacturing System, Advances in Petri Nets", Lecture Notes in Computer Science 188, Springer Verlag, Berlin, pp. 15-31, 1985.
- [164] CARRIE, A. S. and BITITCI, U. S., "Tool Management in FMS for Integrated Information and Material Flow", Factory 2000 International Conference on Production Systems, Cambridge, pp. 301-307, 1988.

- [165] LAW, A., "Simulation of Manufacturing Systems", Proceedings of the 1988 Winter Simulation Conference, pp. 40-51, San Diego, 1988 .
- [166] SCHORER, B. J. and TSENG, F. T., "Modelling Complex Manufacturing Systems using Simulation", Proceedings of the 1987 Winter Simulation Conference, Atlanta, 1987.
- [167] WANG, W., "A Knowledge Based Modelling System for the Design and Evaluation of Flexible Manufacturing Facilities", PhD Thesis, Loughborough University of Technology, 1989.
- [168] EVANS, G. W. and HADDOCK, J., "Modelling Tools for FMS", Production Planning and Control, Vol. 3, No. 2, pp. 158-167, 1992.
- [169] PIDD, M., "Computer Simulation in Management Science", 2nd Ed., John Wiley, 1989
- [170] CROOKES, J. G., BALMER, D. W, CHEW, S. T. and PAUL, R. J., "A Three-Phase Simulation System Written in Pascal", Journal of Operational Research Society, Vol. 37, No. 6, pp. 603-618, 1986.
- [171] SCHRIBER, T. J., "Perspectives on Simulation Using GPSS", Proceedings of the 1989 Winter Simulation Conference, pp. 115-128, Washington DC, 1989.
- [172] PEDGEN, C. D., SHANNON, R. E. and SADOWSKI, R. P., " Introduction to Simulation using SIMAN", McGraw-Hill, 1990.
- [173] O'REILLY, J. J. and LILEGDON, W. R., "SLAM", '88 Simulation Winter Conference, pp. 85-90, San Diego, 1988.
- [174] ProModel, "User's Guide", ProModel Corporation, USA, 1993
- [175] AutoSIM, "Manuel", Bountiful, Utah, USA, 1996
- [176] GRANT, M. E. and STARKS, D. W., "TESS", '88 Simulation Winter Conference, pp. 136-140, San Diego, 1988.
- [177] ROLSTON, L. J. and MINER, R. J., "MAP/1", Pristker and Associates, Inc., West Lafayette, Indiana, 1988.
- [178] COBBIN, P., "Simple-1", '88 Simulation Winter Conference, pp. 194-198, San Diego, 1988.
- [179] LENZ, J. E. and GROSS, J. R., "MAST", '88 Simulation Winter Conference, pp. 194-198, San Diego, 1988.
- [180] CONWAY, R. and MAXWELL, W., "XCELL", '87 Simulation Winter Conference, pp. 202-206, Atlanta, 1987.

- [181] ISTEEL Ltd., "WITNESS - Product Overview", Publicity Document, Istel Ltd., Redditch, England, 1986.
- [182] TALAVAGE, J. J., "Simulation Analysis of an Operational Computerized Manufacturing System", Proceedings of 2nd International Conference on Computer Aided Manufacture, CAM-78, Glasgow, 1978.
- [183] CACI Ltd., "A Quick Look at SIMFACTORY with Animation", Publicity Document, CACI Ltd., Surrey, England, 1987.
- [184] ARNAUD, O. and BLOCHE, E., "Evaluating FMS by Simulation", Proceedings of 5th International Conference on FMS, pp. 513-534, Stratford, 1986.
- [185] LAW, A. M., "Simulation Software for Manufacturing Applications: The Next Few Years", Industrial Engineering, pp. 14-15, June 1990.
- [186] HADDOCK, J., "An Expert System Framework Based on a Simulation Generator", Simulation, Vol. 48, pp. 45-53, 1988.
- [187] NORRIE, et al., "Object Oriented Management Planning for Advanced Manufacturing", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 3, No. 6, pp. 373-378, 1990.
- [188] OREN, T. I. and ZEIGHER, B. H., "Artificial Intelligence in Modelling and Simulation: Directors to Explore", Simulation, pp. 131-134, April 1987.
- [189] SHANNON, R. E., MAYER, R. and ADELSBERGER, H. H., "Expert Systems and Simulation", Simulation, pp. 275-284, June 1985.
- [190] O'KEEFE, R., "Simulation and Expert Systems - Taxonomy and Some Examples", Simulation, Vol. 58, pp. 10-16, January 1986.
- [191] LENZ, J. E., "An Expert System for Manufacturing Simulation", Modern Production Management Systems, A. Kusiak (Ed.), pp. 639-648, 1987.
- [192] STECKE, K. E. and KIM, I., "A Flexible Approach to Implementing the Short-Term FMS Planning Function", Proceedings of 2nd ORSA/TIMS Conference on FMS: Operations Research Models and Applications (K. E. Stecke and R. SURI, Eds), pp. 283-295, North-Holland, 1986.
- [193] RAJGOPAL, J. and BIDANDA, B., "On Scheduling Parallel Machines with Two Setup Classes", International Journal of Production Research, Vol. 29, No. 12, pp. 2443-2458, 1991.
- [194] MONTAZERI, M. and WASSENHAUSE, L.N., "Analysis of scheduling rules for an FMS", International Journal of Production Research, Vol. 28, NO:4, s785-802, 1990

- [195] HUTCHISON, J., et al., "Scheduling Approaches for Random Job Shop Flexible Manufacturing Systems", International Journal of Production Research, Vol. 29, No. 5, pp. 1053-1067.
- [196] SYCARA, K. P., et al., "Resource Allocation in Distributed Factory Scheduling", IEEE Expert, pp. 29-40, February 1991
- [197] LUGER, G. F. and STUBBLEFIELD, W. A., "AI and Design of Expert Systems", Benjamin/Cummings Publication Company, California, 1989.
- [198] NEWELL, A. AND SIMON, H., "GPS, A Program that simulate human thought", Computer and Thought, E.A. Feingbaum and J. Felman(Eds.), McGraw-Hill, N.Y., 1963
- [199] AYDIN, M.E., KOÇ, C., DÜĞENÇİ, M., "OD-UZMAN: Taguchi Deneysel Tasarım Metodunda Ortogonal Dizi Seçimini Yapan Bir Uzman Sistem Prototipi", 1. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, ss. 284-287, İstanbul, Ekim 1997
- [200] S. RANA, A.E. HOME, L.D. WHITLEY VE K. MATHIAS, "Genetic algorithm Scheduler: Assessing the Contribution of Search, Heuristics, and Objective function". Engineering Design and Automation, Vol. 3, No.2, s. 107-118, 1997
- [201] PAN, J. Y. C., TENENBAUM, J. M. and GLICKSMAN, J., "A Framework for Knowledge-Based Computer Integrated Manufacturing", IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 2, No. 2, pp. 33-46, 1989.
- [202] MELLICHAMP, J. M. and WAHAP, A. F. A., "An Expert System for FMS Design", Simulation, pp. 201-208, May 1987.
- [203] ÇAKAR, T., TÜRKER, A.K., TORAMAN, A., "İmalat Sistemlerinin Tasarlanmasında Yapay Sinirsel Ağların Kullanılması" ,ZİS'96 Senpozyumu, Sakarya, ss. 75-84, 1996
- [204] ÇAKAR, T., TÜRKER, A.K., ÇAĞIL, G., "The Use of Neural Networks in FMS Design" 7th International Machine Design and Production Conference, Ankara, pp. 55-64, 1996
- [205] TAŞGETİREN, M.F., "Atelye Tipi Çizelgeleme Problemi İçin Bir Uzman-Yapay Sinir Ağı Modeli", Doktora Tezi, İ.Ü Sosyal Bilimler Ens., İstanbul, 1996
- [206] ÇAKAR, T. " İmalat Sistemlerinin Tasarlanması ve Öncelik Kurallarının Belirlenmesinde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması ", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Ens., 1997
- [207] AYDIN, M.E., "Zeki Etmenlerde Öğrenme kabiliyetinin Geliştirilmesi ve Bir Atölye Tipi Dinamik Çizelgeleme Uygulaması", SAÜ Fen Bilimleri Ens., 1997

- [208] Numerical Engineering Society/Institute of Production Engineers FMSs, Notes to Supplement to video cassette, 1985
- [209] Wener-Kolb Machine Tools Catalogue.
- [210] Werner Horizontal Machining Centre Series - TC1, Catalogue.
- [211] SHW Machine Tools Catalogue
- [212] Unal, A.T. And Kiran, A.S. "Batch Sequencing", 1992, IIE Transactions, Vol. 24, No.4, pp. 73-83
- [213] ÖZBAYRAK, M., TÜRKER, A.K., PIŞMAN, M., "Part and Tool Flow in Multi-cell FMS", 29th Winter Simulation Conference, pp. 821-829, Atlanta, 1997
- [214] KIM, M.H., KİM, Y., "Simulation-based Real-time Scheduling in a FMS", Journal of Manufacturing System, Vol. 13, pp. 85-94, 1994
- [215] RAJITH, M.P., REDDY, C.E., CHETTY, O.V.K., "Simulation for Scheduling in FMS", Production Research Approach the 21st Century Ed. M. Pridham and C. O'Brain, Taylor&Francis Ltd. London, pp. 679-685, 1992
- [216] CHENG, T.C.E., CHEN, Z.L., KOVALYOV, M.Y., LIN, B.M.T., "Parallel machine Batching and scheduling to Minimize Total Completion Time", IIE Transaction, Vol. 28, pp. 953-956, 1996
- [217] BENJAO FAR, S., "On Production Batches Transfer and Lead Times", IIE Transaction, Vol. 28, pp. 357-366, 1996
- [218] SABUNCUOĞLU, İ., HOMMERTZHEIM, D.L., "Experimental Investigation of an FMS Due Date Scheduling problem: an evaluation of Due Date Assignment Rule", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 8, No.2, pp. 133-144, 1995
- [219] TOURE, S., RABELO, L., VELASKO, T., "Artificial Neural Networks for FMSs Scheduling", Computers and Industrial Engineering, Vol. 25, pp. 385-388, 1993
- [220] NAKASUKA, S., YOSHIDA, T., "Dynamic Scheduling System Utilizing Machine Learning as a Knowledge acquisition Tool", International Journal of Production Research, Vol. 30, No.2, pp. 411-431, 1992
- [221] VIG, M.M., DOOLEY, K.J., "Dynamic Rules for Due-Date Assignment", International Journal of Production Research, Vol. 29, No.7, pp. 1361-1377, 1991
- [222] ISHII, N., TALAVAGE, J.J., "A Transient-Based Real-Time Scheduling algorithm in FMS", International Journal of Production Research, Vol. 29, No.12, pp. 2501-2520, 1991

- [223] Makino Max Catalogue,1984
- [224] DE SOUZA, R.B.R., BELL, R., "A Tool Cluster Based Strategy for the Management of Cutting Tools in FMS", Journal of Operations Management, Vol. 10, No.1, pp. 73-91,1991
- [225] LAW, A.M. and KELTON,W.D., "Simulation Modelling and Analysis", McGraw-Hill, 1991
- [226] PEDGEN, C.D., "Introduction to SIMAN", System Modelling Corp.,1986
- [227] ÇAĞIL, G., "Mevsimlik Olmayan Box-Jenkins Modellerinde İki Aşamalı Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması ve Bir Uygulama", Doktora Tezi, İ.Ü. Sosyal Bil. Enst.,1997
- [228] ÖZTEMEL,E., "Integrating Expert Systems and Neural Networks for Intelligent On-Line Statistical Process Control", PhD Thesis, University of Wales, 1992.



ÖZGEÇMİŞ

1967 yılında Polatlı'da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini Polatlı'da tamamladı. İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde 1988 yılında lisans eğitimini tamamladı. Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim dalında 1992 yılında mezun olarak yüksek mühendis ünvanını aldı. 1994 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim dalı doktora programına başladı. Şu anda Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.