

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TESLİM TARİHİ BELİRLEMENİN PROSES
PLANLAMA VE ÇİZELGELEMEYLE
ENTEGRASYONUNUN FAYDALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

End.Müh. Erdem ÇEVEN

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr. Halil İbrahim DEMİR

Haziran 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TESLİM TARİHİ BELİRLEMENİN PROSES
PLANLAMA VE ÇİZELGELEMEYLE
ENTEGRASYONUNUN FAYDALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

End.Müh. Erdem ÇEVEN

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 15 / 06 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Dr. Halil İbrahim DEMİR
Jüri Başkanı

Doç. Dr. Nejat YUMUŞAK
Üye

Prof. Dr. Harun TAŞKIN
Üye

ÖNSÖZ

Geleneksel imalat sistemlerinde proses planlama ve çizelgeleme ayrı ayrı ele alınmaktadır. Günümüz modern imalat sistemlerinde ise proses planlama ile çizelgelemenin bütünleşik yapılmasının faydaları anlaşılmış ve bu alanda pek çok araştırmaya başlanmıştır. Artan rekabet ve değişen müşteri talepleri zamanında teslimatın önemini artırmıştır. Böylece teslim tarihi belirleme önemli bir karar verme süreci olarak ortaya çıkarak proses planlama ve çizelgeleme çalışmalarına yeni bir boyut kazandırmıştır. Proses planlama - çizelgeleme, çizelgeleme - teslim tarihi belirleme üzerine çalışmalar oldukça yoğundur. Bütünleşik proses planlama, çizelgeleme ve teslim tarihi belirleme konusu ise halen az çalışılan bir konu olmakla beraber bu entegrasyonun faydalarını araştıran çalışmalar henüz çok yenidir.

Bu yüksek lisans tezinde teslim tarihi belirlemenin proses planlama ve çizelgeleme ile entegrasyonunun nasıl yapılabileceği, ne tür yaklaşımlarla çözüm üretilebileceği gibi önemli unsurların yanı sıra bu tür bir entegrasyonun sağlayacağı iyileşmeler üzerinde durulmuştur.

Bu tezin hazırlanması aşamasında bana her türlü desteği veren değerli danışman hocam sayın Dr. Halil İbrahim Demir'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----|
| ÖNSÖZ..... | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ..... | vi |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | ix |
| TABLolar LİSTESİ..... | xi |
| ÖZET..... | xiv |
| SUMMARY..... | xv |
| | |
| BÖLÜM 1. | |
| GİRİŞ..... | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2. | |
| PROSES PLANLAMA..... | 3 |
| 2.1. Proses Planlama Modelleri..... | 7 |
| 2.1.1. Manuel proses planlama..... | 7 |
| 2.1.2. Bilgisayar destekli proses planlama..... | 7 |
| 2.2. Proses Planlama Üzerinde Etkili Olan Teknoloji ve Uygulamalar.. | 11 |
| 2.2.1. Proses spesifikasyonlarının belirlenmesi | 11 |
| 2.2.2. Bilgisayar Bütünleşik İmalat | 11 |
| 2.2.3. İmalat veritabanlarının kullanımı | 13 |
| 2.2.4. Grup teknolojisi | 13 |
| 2.3. Proses Planlamanın Çizelgelemeyle İlişkisi..... | 13 |
| | |
| BÖLÜM 3. | |
| ÇİZELGELEME..... | 16 |
| 3.1. Notasyon, Çizelgeleme Ortamları, İşlem Karakteristikleri ve Kısıtlar..... | 16 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1.1. Notasyon | 17 |
| 3.1.2. Çizelgeleme (α) ortamları | 17 |
| 3.1.3. İşlem karakteristikleri ve kısıtlar (β) | 19 |
| 3.2. Amaçlar ve Performans Ölçüleri, Karmaşıklık Hiyerarşisi..... | 20 |
| 3.3. Çizelgeleme Yaklaşımları..... | 25 |
| 3.3.1. Geçmiş yaklaşımlar | 26 |
| 3.3.2. Güncel yaklaşımlar | 28 |
| 3.4. Atölye Çizelgelemede Kullanılan Gönderme Kuralları..... | 32 |
| 3.5. Teslim Tarihi Belirlemenin Çizelgelemeye Faydaları | 34 |
| BÖLÜM 4. | |
| TESLİM TARİHİ BELİRLEMENİN IPSS İLE ENTEGRASYONUNUN FAYDALARI | 35 |
| 4.1. Teslim Tarihi Belirleme | 36 |
| 4.2. Teslim Tarihi Sabit / Bütünleşik IPSS Problemi Yapısı, Amaç Fonksiyonu, Çözüm Teknikleri | 36 |
| 4.2.1. Ortak atölye özellikleri ve varsayımlar | 37 |
| 4.2.2. Amaç fonksiyonu | 38 |
| 4.2.3. Çözüm teknikleri | 39 |
| 4.2.4. Programlama yapısı | 47 |
| 4.3. Teslim Tarihi Sabit IPSS | 48 |
| 4.3.1. Teslim tarihi sabit IPSS'in yapısı, özellikleri | 48 |
| 4.3.2. Teslim tarihi sabit IPSS deney sonuçları | 49 |
| 4.4. Teslim Tarihi Belirleme Kuralı Sabit IPSS | 55 |
| 4.4.1. Teslim tarihi belirleme kuralı sabit IPSS yapısı ve özellikleri | 55 |
| 4.4.2. Teslim tarihi belirleme kuralı sabit IPSS deney sonuçları | 56 |
| 4.5. Teslim Tarihi Bütünleşik IPSS | 59 |
| 4.5.1. Teslim tarihi bütünleşik IPSS yapısı ve özellikleri | 60 |
| 4.5.2. Teslim tarihi bütünleşik IPSS deney sonuçları | 61 |
| BÖLÜM 5. | |

| | |
|--|----|
| UYGULAMA SONUÇLARI | 66 |
| 5.1. Arama Yöntemlerinin Karşılaştırılması | 67 |
| 5.2. Teslim Tarihi Bütünleşik Yaklaşımın Sağladığı İyileşmeler | 71 |
| 5.2.1. Atölye ortamındaki iyileşmeler | 71 |
| 5.2.2. Performans göstergelerindeki iyileşmeler | 73 |
| 5.2.3. CPU zamanlarının karşılaştırılması | 84 |
| | |
| BÖLÜM 6. | |
| TARTIŞMA VE ÖNERİLER..... | 86 |
| | |
| KAYNAKLAR..... | 88 |
| EKLER..... | 92 |

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|---------------------------|---|
| $\alpha \beta \gamma$ | : Makina ortamı/çizelge/amaç fonksiyonu |
| ΔE_j | : j işinin erken bitme süresi |
| ΔT_j | : j işinin pozitif gecikmesi |
| block | : Bloke |
| brkdwn | : Arıza |
| c_{ijk} | : i makinasında j işinden k işine geçerken oluşan maliyet |
| c_j | : j işinin sistemi terk etme süresi |
| c_{max} | : Maksimum bitiş süresi |
| d | : Ortak teslim tarihi |
| d_j | : Başlangıç boşluk oranı |
| d_i^a | : Atanmış teslim tarihi |
| FFs | : Esnek akış tipi üretim ortamı |
| F_m | : Akış tipi üretim ortamı |
| J_m | : Atölye tipi üretim ortamı |
| k | : Ölçeklendirme parametresi |
| k_1 | : Teslim tarihi ölçeklendirme parametresi |
| k_2 | : Hazırlık süresi ölçeklendirme parametresi |
| L_j | : j işinin gecikme süresi |
| L_{max} | : Maksimum gecikme |
| m | : makina sayısı |
| O_{ij} | : i işinin j makinasındaki operasyonu |
| O_m | : Açık tip atölye ortamı |
| P_{av} | : Makina önünde bekleyen işlerin ortalama işlem süreleri |
| p_{ij} | : j işinin i makinasındaki işlem süresi |
| prec | : sıra bağımlılığı |
| P_m | : Paralel makina ortamı |

| | |
|------------------|---|
| prmu | : Permütasyon akış tipi atölye |
| Q | : Maksimum operasyon sayısı |
| q | : Aylak süre |
| R | : Rota sayısı |
| recrc | : Çoklu işleme |
| r _j | : j işinin hazır zamanı |
| R _{jr} | : j işinin r. rotası |
| R _m | : Rota kısıtlı m makinalı paralel atölye ortamı |
| s _{ijk} | : i makinasında j işinden k işine geçmek için gerekli hazırlık süresi |
| s _j | : j işinin gecikmesinden doğan sabit maliyet |
| t | : İçinde bulunulan zaman |
| U _j | : İkili değişken |
| W _j | : j işinin düzeltilmiş ağırlığı |
| w _j | : j işinin temel ağırlığı |
| AI | : Yapay zeka (Artificial intelligence) |
| ATC | : Açık gecikme maliyeti (Apparent tardiness cost) |
| CAD | : Bilgisayar destekli tasarım (Computer aided design) |
| CAM | : Bilgisayar destekli imalat (Computer aided manufacturing) |
| CAPP | : Bilgisayar destekli proses planlama (Computer aided process planning) |
| CIM | : Bilgisayar bütünleşik imalat (Computer integrated manufacturing) |
| CON | : Ortak teslim tarihi belirleme metodu (Common due date) |
| CPU | : İşlemci (Central Processing Unit) |
| CX | : Dairesel çaprazlama (Circular crossover) |
| DD | : Teslim tarihi (Due date) |
| DR | : Gönderme kuralı (Dispatching rule) |
| DSS | : Karar destek sistemi (Decision support system) |
| EDD | : En erken teslim tarihi (Earliest due date) |
| ERD | : En erken hazır zaman (Earliest release date) |
| GA | : Genetik algoritma |

| | |
|--------|--|
| IPPS | : Bütünleşik proses planlama ve çizelgeleme (Integrated process planning and scheduling) |
| JIT | : Tam zamanında üretim (Just in time) |
| LFJ | : En az esnek olan iş önce kuralı (Least flexible job) |
| LOX | : Doğrusal sıralı çaprazlama (Linear ordered crossover) |
| LPT | : En uzun işlem süreli iş önce kuralı (Longest processing time) |
| MRP | : Malzeme ihtiyaçları planlaması (Material requirements planning) |
| MS | : Minimum gevşeklik (Minimum slackness) |
| NC | : Sayısal kontrol (Numerical control) |
| NOP | : Operasyon sayısı (Number of operations) |
| NP-tam | : Polinom zamanlı olmayan, tam |
| NP-zor | : Polinom zamanlı olmayan, zor |
| OF | : Operasyon esnekliği (Operation flexibility) |
| OR | : Yöneylem araştırması (Operations research) |
| PMX | : Kısmi planlı çaprazlama (Partial mapped crossover) |
| PPW | : Toplam işe ve aylak zamana bağlı teslim tarihi belirleme kuralı (Processing plus wait) |
| PF | : Proses esnekliği (process flexibility) |
| RDM | : Rassal teslim tarihi (Random due date) |
| RF | : Rotalama esnekliği (Routing flexibility) |
| RSÜ | : Rassal sayı üretici |
| SF | : Sıralama esnekliği (Sequencing flexibility) |
| SIRO | : Rassal servis (Service in random order) |
| SLK | : Aylak süreli teslim tarihi belirleme kuralı (Slackness) |
| SPT | : En kısa işlem süreli iş önce kuralı (Shortest processing time) |
| SST | : En kısa hazırlık zamanlı iş önce kuralı (Shortest setup time) |
| SXX | : Alt değişimli çaprazlama (Subcross crossover) |
| TWK | : Toplam işe dayalı teslim tarihi belirleme kuralı (Total work) |
| YSA | : Yapay sinir ağı |
| WSOT | : Ağırlıklı en kısa operasyon süresi (Weighted shortest op. time) |
| WSPT | : Ağırlıklı en kısa işlem süresi (Weighted shortest processing time) |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Şekil 2.1 Ürün Çeşitliliği ile Üretim Hacmi Arasındaki İlişki..... | 4 |
| Şekil 2.2 Müşteri Odaklı Seri Üretim | 5 |
| Şekil 2.3 Genel Türetilbilir CAPP Prosedürü | 10 |
| Şekil 2.4 CIM Sisteminin Bileşenleri..... | 13 |
| Şekil 3.1 Deterministik Çizelgeleme Problemlerinde Karmaşıklık Hiyerarşisi..... | 26 |
| Şekil 3.2 Bilgisayar Destekli Çizelgeleme Problemi Çözüm Yaklaşımları | 28 |
| Şekil 3.3 Genetik Algoritma Akış Şeması | 33 |
| Şekil 4.1 Rassal Arama Tekniği..... | 44 |
| Şekil 4.2. Kromozom Yapısı..... | 45 |
| Şekil 4.3 Problem Genel Yapısı | 48 |
| Şekil 4.4 Melez arama yöntemi akış şeması | 49 |
| Şekil 4.5 Küçük atölyede 2 işe ait, 10 operasyon ve 10 makina için bir rota | 51 |
| Şekil 5.1a Küçük atölye - DD sabit, arama yöntemi sonuçları | 73 |
| Şekil 5.1b Orta büyüklükte atölye - DD sabit, arama yöntemi sonuçları | 73 |
| Şekil 5.1c Büyük atölye - DD sabit, arama yöntemi sonuçları | 74 |
| Şekil 5.2a Küçük atölye - DD kuralı sabit, arama yöntemi sonuçları..... | 74 |
| Şekil 5.2b Orta büyüklükte atölye - DD kuralı sabit, arama yöntemi sonuçları | 75 |
| Şekil 5.2c Büyük atölye - DD kuralı sabit, arama yöntemi sonuçları..... | 75 |
| Şekil 5.3a Küçük atölye - DD kuralı bütünleşik, arama yöntemi sonuçları..... | 76 |
| Şekil 5.3b Orta büyüklükte atölye - DD kuralı bütünleşik, arama yöntemi sonuçları . | 76 |
| Şekil 5.3c Büyük atölye - DD kuralı bütünleşik, arama yöntemi sonuçları..... | 76 |
| Şekil 5.4 Makinaların toplam iş süresine göre çalıştıkları sürelerinin dağılımı..... | 78 |
| Şekil 5.5 Teslim tarihi belirleme kuralları farklı IPPS'lerde iyileşme | 80 |
| Şekil 5.6a DD kurallarının performansları - küçük atölye, rassal arama | 81 |
| Şekil 5.6b DD kurallarının performansları - küçük atölye, genetik arama | 82 |
| Şekil 5.6c DD kurallarının performansları - küçük atölye, hibrid arama..... | 82 |
| Şekil 5.7a DD kurallarının performansları – orta büyüklükte atölye, rassal arama... | 84 |

| | |
|---|----|
| Şekil 5.7b DD kurallarının performansları – orta büyüklükte atölye, genetik arama | 84 |
| Şekil 5.7c DD kurallarının performansları – orta büyüklükte atölye, hibrid arama... | 85 |
| Şekil 5.8a DD kurallarının performansları - büyük atölye, rassal arama..... | 86 |
| Şekil 5.8b DD kurallarının performansları – büyük atölye, genetik arama | 86 |
| Şekil 5.8c DD kurallarının performansları - büyük atölye, hibrid arama | 86 |
| Şekil 5.9 Küçük atölyede cpu zamanlarının karşılaştırılması | 89 |
| Şekil 5.10 Orta büyüklükteki atölyede cpu zamanlarının karşılaştırılması..... | 90 |
| Şekil 5.11 Büyük atölyede cpu zamanlarının karşılaştırılması | 90 |

TABLolar LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Tablo 4.1 Atölye Özellikleri | 41 |
| Tablo 4.2 Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, sıradan çözüm (DD sabit)..... | 54 |
| Tablo 4.3 Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, rassal arama (DD sabit) | 55 |
| Tablo 4.4 Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, genetik arama (DD sabit) | 55 |
| Tablo 4.5 Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, hibrid arama (DD sabit) | 56 |
| Tablo 4.6a Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, sıradan çözüm (DD sabit)..... | 56 |
| Tablo 4.6b Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, rassal arama (DD sabit)..... | 57 |
| Tablo 4.6c Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, genetik arama (DD sabit) | 57 |
| Tablo 4.6d Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, hibrid arama (DD sabit) | 57 |
| Tablo 4.7a Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, sıradan çözüm (DD sabit) | 58 |
| Tablo 4.7b Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, rassal arama (DD sabit) | 58 |
| Tablo 4.7c Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, genetik arama (DD sabit) | 58 |
| Tablo 4.7d Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, hibrid arama (DD sabit) | 59 |
| Tablo 4.8a Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, sıradan çözüm (DD belirleme kuralı sabit) | 61 |

| | |
|---|----|
| Tablo 4.8b Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, rassal çözüm (DD belirleme kuralı sabit) | 61 |
| Tablo 4.8c Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, genetik çözüm (DD değişken belirleme kuralı sabit) | 61 |
| Tablo 4.8d Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, hibrid çözüm (DD belirleme kuralı sabit) | 61 |
| Tablo 4.9a Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, sıradan çözüm (DD belirleme kuralı sabit) | 62 |
| Tablo 4.9b Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, rassal arama (DD belirleme kuralı sabit)..... | 63 |
| Tablo 4.9c Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, genetik arama (DD belirleme kuralı sabit)..... | 63 |
| Tablo 4.9d Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, hibrid arama (DD belirleme kuralı sabit)..... | 63 |
| Tablo 4.10a Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, sıradan çözüm (DD belirleme kuralı sabit)..... | 64 |
| Tablo 4.10b Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, rassal arama (DD belirleme kuralı sabit) | 64 |
| Tablo 4.10c Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, genetik arama (DD belirleme kuralı sabit) | 64 |
| Tablo 4.10d Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, hibrid çözüm (DD belirleme kuralı sabit) | 64 |
| Tablo 4.11a Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, sıradan çözüm (DD bütünleşik)..... | 66 |
| Tablo 4.11b Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, rassal çözüm (DD bütünleşik)..... | 66 |
| Tablo 4.11c Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, genetik çözüm (DD bütünleşik)..... | 67 |
| Tablo 4.11d Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, hibrid çözüm (DD bütünleşik)..... | 67 |
| Tablo 4.12a Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, sıradan çözüm (DD bütünleşik) | 68 |

| | |
|--|----|
| Tablo 4.12b Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, rassal arama (DD bütünleşik)..... | 69 |
| Tablo 4.12c Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, genetik arama (DD bütünleşik) | 69 |
| Tablo 4.12d Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, hibrid arama (DD bütünleşik) | 69 |
| Tablo 4.13a Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, sıradan çözüm (DD bütünleşik)..... | 69 |
| Tablo 4.13b Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, rassal arama (DD bütünleşik)..... | 69 |
| Tablo 4.13c Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, genetik arama (DD bütünleşik)..... | 70 |
| Tablo 4.13d Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, hibrid çözüm (DD bütünleşik)..... | 70 |
| Tablo 5.1 Rassal aramada DD bütünleşik IPPS’in gösterdiği iyileşmeler (%)..... | 87 |
| Tablo 5.2 Genetik aramada DD bütünleşik IPPS’in gösterdiği iyileşmeler (%)..... | 88 |
| Tablo 5.3 Hibrid aramada DD bütünleşik IPPS’in gösterdiği iyileşmeler (%)..... | 88 |
| Tablo 5.4. Farklı rassal sayı üreteçleri ile arama yöntemlerinin ve PPS yaklaşımlarının karşılaştırılması..... | 89 |

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Bütünleşik Proses Planlama ve Çizelgeleme, Teslim Tarihi Belirleme, Arama Algoritmaları

Genellikle atölye tipi imalat ortamlarının proses planlama ve çizelgeleme fonksiyonları ayrı ayrı ele alınmaktadır. Proses planlama basitçe bir ürünün üretilebilmesi için en iyi işlem sırasını belirli teknolojik kısıtlar altında belirlemedir. Çizelgeleme işlerin proses planlarında önceden belirlenmiş imalat kaynaklarına atanmasını gerçekleştirir. Bununla birlikte gerçek ortamlarda sistem performansı yalnızca etkin proses planlarına değil aynı zamanda etkin çizelgelere bağlıdır. Sonuç olarak hızlı değişen piyasa koşulları ve farklılaşan müşteri gereksinimleri bu iki fonksiyonun bütünleştirilmesini çok önemli kılmıştır. Bu nedenle proses planlama ve çizelgeleme konularında yapılan çalışmalar bütünleşik proses planlama ve çizelgeleme – IPPS (Integrated Process Planning and Scheduling) terimini ortaya koymuştur, ancak teslim tarihi ile bütünleşik yaklaşımlar sunan çalışmalar nadirdir.

Bu çalışmada teslim tarihi belirlemenin IPPS ile entegrasyonun faydaları sunulmuştur. Ortaya konulan teslim tarihi bütünleşik IPPS ile atölye ortamlarında, teslim tarihlerinde ve çizelgelerde iyileşmeler sağlanmıştır.

BENEFITS OF INTEGRATING DUE-DATE ASSIGNMENT WITH PROCESS PLANNING AND SCHEDULING

SUMMARY

Key Words: Integrated Process Planning and Scheduling, Due Date Assignment, Search Algorithms

Usually most of job shop manufacturing environments' process planning and scheduling functions are considered separately. Process planning is simply the best way to produce a product by determining its processing sequence under technological constraints. Scheduling attempts to assign manufacturing resources to tasks that are predefined with process plans. However in real environments, system's performance does not only depend on effective process plans but also depend on effective schedules. As a result of rapidly changing market conditions and diverging customer requirements, integration of these two functions becomes crucial. Therefore many studies concerning process planning and scheduling has yielded the term of Integrated Process Planning and Scheduling – IPPS, but its integration with due date assignment is very rare.

In this study, benefits of integrating due date assignment with IPPS are presented. With the integration of due date assignment with IPPS, improvements yielded in job shop environment, due dates and schedules.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Artan rekabet koşulları içerisinde firmalar üretim fonksiyonlarının önemine daha çok varmaktadırlar. Değişen koşullara ayak uydurmak için pek çok teknoloji ve üretim yaklaşımı geliştirilmiştir. Ancak gelişen teknolojilere rağmen temel üretim fonksiyonları önemlerini korumakta, firmaların rekabet güçlerini etkilemektedirler.

Proses planlama ve çizelgeleme üretim sistemlerinin temel fonksiyonları arasında yer alıp müşterilerin taleplerini karşılamada en önemli etkenlerdir. Bu nedenle geçmişte gerek proses planlama gerekse çizelgeleme üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Proses planlama belirli bir ürünün imalat planını, eldeki imalat kaynaklarına ve ürünün tasarım, piyasa potansiyeline göre üreten bir çevrimdışı imalat mühendisliği fonksiyonudur ve hammaddeyi istenen forma dönüştüren işlemleri detaylı şekilde açıklar. Ancak tek başına ne kadar iyi planlanmış olursa olsun çevrimdışı olmasından dolayı diğer üretim fonksiyonları ile entegrasyonu zorunludur.

Üretim sistemlerinin kaynaklarının kısıtlı olması ve müşteri isteklerini en iyi şekilde karşılama ihtiyacı, çizelgeleme fonksiyonu üzerinde yapılan çalışmaları artırmıştır. Çizelgeleme zaman perspektifi içerisinde gerçekleştirildiğinden verimli yapılması gereken bir karar verme sürecidir. Artan rekabette erken bitirmenin geç bitirme kadar maliyet unsuru olduğu açıktır. Bu nedenle erken bitirme ve geç bitirmeyi konu alan pek çok çalışma yapılmıştır. Tam zamanında üretim (JIT) ortamlarının oluşturulabilmesi için bu iki performans göstergesinin birlikte çalışılması söz konusudur.

Proses planlama ve çizelgeleme gerçekte birbirine bağlı fonksiyonlardır ve eş zamanlı çözümleri gerekmektedir. Çizelgelemeden ayırık çalışılan proses planlama, atölye ortamının dinamik koşullarını göz önünde bulundurmadığından teslim tarihlerinin karşılanamamasına, iş yüklerinin eşit dağıtılamamasına neden olmaktadır. Proses

planlama ve çizelgelemenin entegre yapıldığı pek çok çalışmada teslim tarihlerinde iyileşmelerin olacağı ortaya konmuştur.

Teslim tarihleri iki şekilde belirlenebilmektedir. Firmalar kendilerine en uygun tarihleri teslim tarihi olarak seçebileceği gibi, müşterilerinin istediği tarihleri de seçebilirler. Teslim tarihleri hangi şekilde belirlenirse belirlensin, atölyenin durumuna bağlıdır. Bu nedenle proses planlama, çizelgeleme ve teslim tarihleri arasında önemli bir ilişki mevcuttur. Literatürde erken bitirme ve gecikme minimizasyonunu amaçlayan pek çok araştırma vardır. Ancak bu çalışmalar büyük ölçekli tamsayı problemlerinin doğrusallık, konveksite kısıtlarından dolayı makina çizelgeleme ve çoklu ürün çizelgelemesi alanlarındadır. Bu da büyük ölçekli karmaşık ortamlı çizelgeleme problemlerinin NP-tam sınıfında yer almasından ve proses planlamayla entegre düşünüldüğünde problemleri modellemenin zorluğundan kaynaklanmaktadır.

Tezde teslim tarihi belirlemenin proses planlama ve çizelgeleme fonksiyonları ile entegre edilmesinin üretim sistemi performansları üzerindeki etkileri incelenmiş, ayrıca entegre bir sistemin sonuçlarını verme süreleri de performans göstergesi olarak ölçülmüştür. Bunun nedeni ise çizelgelemenin yalnızca verimli teslim tarihleri üretme zorunluluğu değil aynı zamanda bu çözümleri verimli sürelerde bulması zorunluluğudur.

Tezde problemin ifadesinde büyük ölçekli çizelgeleme problemleri için uygun olan genetik alitmadan yararlanılmıştır. Erken ve geç bitirmeyi cezalandıran karesel ceza fonksiyonu C++ dilinde yazılarak hem farklı atölye büyüklükleri için hem de farklı çözüm yaklaşımları için ayrı ayrı çözülmüştür.

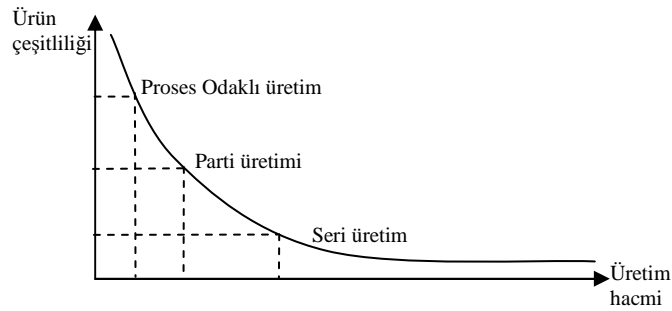
BÖLÜM 2. PROSES PLANLAMA

İmalat ve servis sistemlerinde planlama ve kontrol faaliyetleri sistem performansı üzerinde etkisi oldukça fazladır. Planlama faaliyetlerinin iyi yapılması atölyedeki üretimin kontrolünü ve yapılabilirliğini kolaylaştırdığı gibi diğer üretim sistem fonksiyonlarını da olumlu etkilemektedir.

Planlama faaliyetleri içinde proses planlama önemli bir yer tutmaktadır. Proses planlama imalat mühendisleri topluluğu tarafından “bir ürünün ekonomik ve piyasada rekabet edebilecek şekilde üretilme metodunun sistematik olarak belirlenmesi” olarak tanımlanmaktadır. Proses planlama proses stratejisi çerçevesinde gerçekleştirilir. Proses stratejisi ise kaynakların ürün ya da hizmete dönüştürülmesi yaklaşımıdır. Proses stratejisi belirli kısıtlara göre (müşteri ihtiyaçları, ürün özellikleri gibi) belirginleşir ve bu kısıtlar dahilinde verimlilik, esneklik, maliyet, kalite gibi amaçları göz önünde tutarak üretim prosesinin seçilmesini kapsar. İmalat sistemlerinde dört çeşit üretim vardır. Bunlar, proses odaklı (atölye tipi), tekrarlı (parti), ürün odaklı ve müşteri odaklı üretimdir. Bu üretim çeşitleri aşağıda açıklanmıştır.

Ürün odaklı (seri) üretim yüksek hacimde, düşük çeşitlilikte yapılır ve ürüne özel tezgahlar kullanılır. Bu tip üretimde operatörlerin farklı işlerde özelleşmesi önemli değildir ve iş emirleri rutindir. Bu tip üretimde ayrıca çizelgeleme aynı tip ürünler için hazırlandığından kolaydır. Ancak seri üretimde değişken maliyetler düşük olmasına rağmen sabit maliyetler yüksektir. Proses odaklı üretimde daha düşük hacme karşın daha çok ürün çeşitliliği söz konusudur. Çeşitlilik nedeniyle operatörlerin yetenekliliği önem kazanmaktadır. Üretim operatörlere dayalı olduğundan genel amaçlı makineler kullanılır. Bu tür üretim ortamlarında talep çeşitliliği nedeniyle çizelgeleme oldukça zordur, çizelgelemede stok, kapasite ve servis gibi faktörler dikkate alınır.

Parti üretimi ise ilk iki ortamın avantaj ve dezavantajlarını dikkate alır. Bu tip üretimde çeşitlilik atölye tipi üretime göre düşüktür ancak seri üretimden yüksektir, bu tip üretimde hacim talep çeşitliliğine göre değişir. Parti üretiminin temel aldığı yaklaşım hazırlık zamanlarının minimizasyonudur. Tekrarlayan işler nedeniyle operatör yetkinliği daha az önemlidir. Çizelgeleme ise değişik modellerin kurulmasına bağlı olarak yapılır. Şekil 2.1’de seri, atölye tipi ve parti üretiminin hacim ve çeşitlilikteki durumları gösterilmiştir.



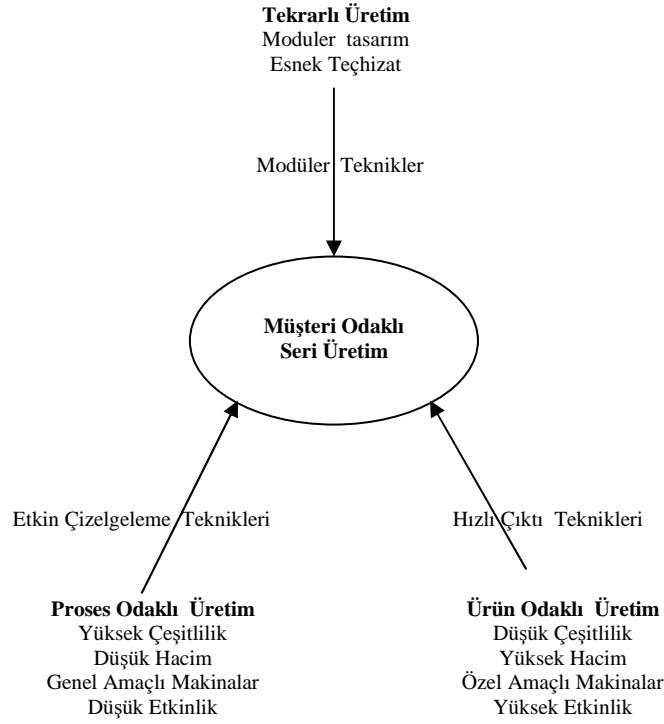
Şekil 2.1. Ürün Çeşitliliği ile Üretim Hacmi Arasındaki İlişki

Müşteri odaklı seri üretim ise günümüzdeki müşteri talep çeşitliliğinin yanı sıra teslim tarihi ve servis gibi önem kazanan faktörleri de göz önüne almaktadır. Müşteri odaklı seri üretim ürün ve servis taleplerinin hızlı ve ekonomik bir şekilde karşılanmasını amaçlar.

Bu tip üretim ürün çeşitliliğini, hazırlık zamanlarını, operatörlerin eğitim seviyesini, çizelgeleme koşullarını, sabit ve değişken maliyetleri göz önüne alarak müşterinin farklı ürün taleplerine ve farklı teslim tarihi isteklerini karşılamayı amaçlar.

Müşteri odaklı seri üretimde diğer üç üretim tekniğinin avantajlarının kullanılması amaçlanmaktadır. Yüksek sabit maliyet ve değişken maliyetlerin farklılık göstermesi maliyet hesaplarını güçleştirmekte, farklı müşteri taleplerini karşılamak için proses odaklı üretimden daha karmaşık çizelgeleme gerekmektedir. Bu nedenlerden dolayı daha dikkatli planlamalar gerekmektedir. İş emirlerinin çokluğu ve rutin olmaması karmaşık atölye ortamını oluşturmaktadır. İşlem halindeki stoğun azaltılması içinse (JIT), Kanban ve yalın üretim gibi yöntemler uygulanmalıdır. Heizer ve Render [1]

Şekil 2.2’de müşteri odaklı üretimde diğer üç üretim tipinin avantajlarının kullanılmasının önemini göstermişlerdir.



Şekil 2.2. Müşteri Odaklı Seri Üretim [1]

Seri, tekrarlı ve atölye tipi üretimlerin herhangi birinin diğerlerine karşı tamamı ile üstün olduğu söylenemez. Her birinin avantaj ve dezavantajları vardır ve organizasyonun amaç ve yapısına bağlı olarak üretim prosesi seçilmelidir. Bir başka deyişle her bir prosesin daha karlı olduğu aralıklar mevcuttur.

Proses planları imalatın sonraki aşamalarını etkilemesi nedeniyle önem verilmesi gereken bir konu olup, esnek planlar atölye verimliliğini artırmaktadır. Proses planlama belirli bir ürünün imalat planını, eldeki imalat kaynaklarına ve ürünün tasarım, piyasa potansiyeline göre üreten bir çevrimdışı imalat mühendisliği fonksiyonudur ve hammaddeyi istenen forma dönüştüren işlemleri detaylı şekilde açıklar [2].

Proses planlama, faaliyetler sırası olarak da tanımlanabilir. Bu faaliyetler; girdi tanımlamaları, temel süreç seçimi, üretim toleranslarının belirlenmesi, operasyonların seçilerek gruplanması, makina-operasyon sıralarının belirlenmesi, kalite güvence metodunun seçimi, maliyetler, proses kağıtlarının düzenlenmesidir.

Faaliyetlerin sıralanmasında aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir.

- Başlıca boyut ve tolerans, geometrik tolerans, yüzey pürüzlülüğü, malzeme tipi, yalın ölçüt ve parti miktarı gibi parçanın tanım çiziminde olan özelliklerin yorumu.
- Tanım çiziminde belirtilen kısıtları sağlayacak şekilde bir parçayı ve özelliklerini işleyecek aday prosesler ve aletlerin belirlenmesi.
- Sabitleyicilerin seçimi ve parçanın uygun şekilde kenetlenip sabitlendiğinin kontrolü ile birlikte proses işlemlerinin doğru bir şekilde yerine getirildiğine emin olmak için başlangıç yüzeylerinin ve başlangıç noktasının seçimi.
- Teknolojik kısıtlar ve doğru imalat kısıdına bağlı olarak operasyonların öncelik fonksiyonuna göre sıralanması.
- Doğruluk gereksinimine bağlı kalarak işlem sürelerini azaltmak için temel işlemleri gruplandırmak.
- Üretilen parça miktarını dikkate alarak teknolojik operasyonu yerine getirmek için makinaların seçilmesi.
- Parçaların fonksiyonel gereksinimlere uygunluğunu garanti etmek için ölçüm metot ve aletlerinin belirlenmesi.
- Ekonomik değerlendirme için çalışma sürelerinin ve maliyetlerinin belirlenmesine imkan tanımak için her bir operasyonun işleme ortamlarının belirlenmesi.
- İmalat departmanına uygulanmak üzere transfer edilecek kapsamlı proses planlama dosyasında birleştirilecek proses planlama kağıtlarının düzenlenmesi.

Proses planları hazırlanırken reddedilecek ürün miktarını, işleme maliyetini ve imalat ön süresi minimize etmeye çalışabiliriz. Bu sebeplerden dolayı ürünün karlılığında proses planlama önemlidir [3]. Proses planlama önemli bir süreçtir ve geçmişten günümüze çeşitli şekillerde yapılmaktadır. Geçmişte manuel olarak yapılan proses

planlama, günümüzde ise bilgisayar ile gerçekleşmektedir. Manuel ve bilgisayar destekli yapılabilen proses planlama aşağıda açıklanmıştır.

2.1 Proses Planlama Modelleri

Proses planlarının oluşturulmasında iki model mevcuttur. Bunlardan birincisi ve daha eski olanı manuel proses planlama, diğeri ise günümüzde yaygın olarak proses planlamada kullanılan bilgisayar destekli proses planlamadır.

2.1.1 Manuel proses planlama

Manuel proses planlama geleneksel yaklaşım ve not defteri yaklaşımı olmak üzere iki şekilde yapılabilir. Geleneksel proses planlama parça tasarımlarını incelenmesini, benzer parçaların bulunmasını ve bu benzerlikler ışığında proses planlarının oluşturulmasını kapsar. Not defteri yaklaşımı ise daha hızlı çözüm sunar, bu yaklaşımda parçaların işlemlerinin kayıtlı olduğu sıralama bilgilerini içeren not defteriyle kaydedilmiş proses grupları planlamacı tarafından kolayca seçilir.

Manuel yaklaşımların önemli bir avantajı bu tür yaklaşımlarda düşük maliyet ve esnekliğin olmasıdır. Ancak bu tür yaklaşımlarda planlamacının tecrübesi öne çıkmaktadır. Ayrıca yukarıda belirtildiği gibi manuel proses planlamada benzer parçaların bulunması oldukça güçtür.

2.1.2 Bilgisayar destekli proses planlama

Proses planlama bir işin nasıl, hangi makinada, hangi makina sırasında, nasıl ve ne kadar sürede yapılacağını belirler. Bu nedenlerden dolayı imalat sistemlerinin önemli fonksiyonlarından. Bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ile birlikte bu önemli fonksiyona bilgisayar destekli çözüm yaklaşımları eklenerek bu konuda pek çok araştırma yapılmıştır.

Bilgisayar destekli proses planlama manuel planlamanın ileri bir aşamasıdır ve tam otomasyona sahip ileri organizasyonların üretim sistemlerinin oluşturulması için kullanılmaktadır. İleri üretim sistemleri kullanıcı bağımsız olan, yani manuel proses planlamadan farklı olarak planlamacının tecrübesinin arka planda olduğu sistemler olarak tanımlanabilir.

Gelişen bilgisayar teknolojisi ile ortaya çıkan bilgisayar bütünleşik imalat içerisinde önemli bir aşama olan bilgisayar destekli proses planlama – CAPP diğer bilgisayar destek sistemleri ile ilişki içerisinde. CAPP genelde bilgisayar destekli üretimin (CAM) alt fonksiyonu olarak görünse de böyle bir yaklaşım doğru değildir. CAPP tıpkı CAD ve CAM gibi bilgisayar bütünleşik üretimin ayrılmaz parçalarındandır. CAPP diğer alt fonksiyonlarla entegre edildiğinde dizayn ve imalat arasındaki köprüyü kurar.

CAPP 'de planlama, parça rotaları (üretilebilirlik için gerekli olan sıralama, iş merkezlerini sırası, parçaların üretim sırası) ile ilgilidir. Günümüzde CAPP çoğunlukla rotalama bilgilerinin elde edilmesi için kullanılmaktadır [4].

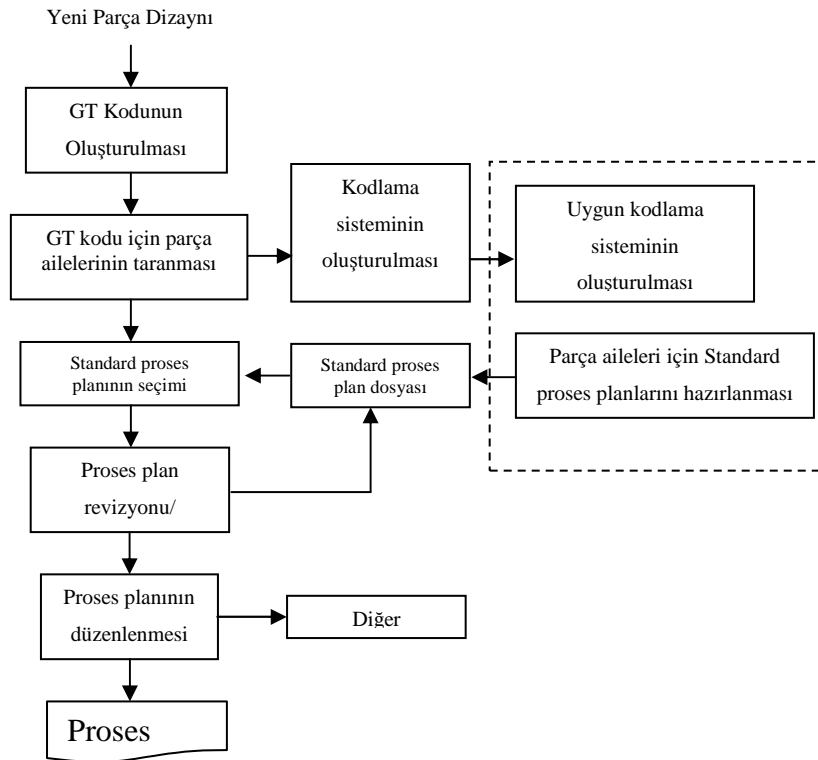
Bilgisayar destekli proses planlamanın yararları ise aşağıdaki gibidir.

- Süreç tutarlılığı ve standardizasyonu; bilgisayar destekli proses planları daha tutarlıdır ve standart planlar daha düşük üretim maliyetlerini, daha yüksek ürün kalitesini mümkün kılmaktadır.
- Proses planlamacıların üretkenliklerinin artması; standart proses planlarının bulunduğu veri dosyalarının sistematik kullanımı neticesinde planlamacılar daha üretken olabilmektedirler.
- Proses planlama süresinin azaltılması; CAPP ile planlamacılar üretim için gerekli rotalama bilgilerini daha çabuk elde edebilmektedirler.
- Diğer bilgisayar bütünleşik sistem fonksiyonları (CAD, CAM, maliyet tahminleri, iş standartları gibi) ile kolay entegre edilebilir olması.

CAPP sistemleri dizaynı temelde iki yaklaşıma dayanır. Bu yaklaşımlar varyant ve üretme yaklaşımlarıdır. Bazı CAPP sistemleri bu iki yaklaşımı birleştirerek yarı-üretilebilir (semi-generative) CAPP sistemlerini oluşturmuşlardır [5].

Türetilebilir, bir başka deyişle varyant CAPP sistemleri grup teknolojisi (GT) üzerine kuruludur ve parçaların benzerliklerine göre kodlanmasına dayanır. Bu tür proses planlarında (rota bilgilerinde) parçaları ifade eden kodlar veri dosyalarında saklanır. Standart rota bilgileri, kullanılmakta olan rotaları veya parça aileleri için ideal bir planı (rotayı) içerebilir. Benzerliklere dayanan parça ailelerine ait bu tür veri tabanlarının oluşturulması ise çok çaba isteyen bir uğraştır. Türetilebilir CAPP sistemleri proses planlama için kullanılmadan önce çok fazla veri işlemine gerek duymaktadır, işlenen veriler CAPP veri dosyalarına aktarılmaktadır.

Bu süre hazırlık fazı olarak adlandırılmaktadır [6]. Şekil 2.3 genel olarak türetilebilir CAPP yapısını göstermektedir.



Şekil 2.3. Genel Türetilebilir CAPP Prosedürü [4]

Hazırlık aşamasından sonra yeni bir parçanın belirlenmesinde ilk aşama GT kod numaralarının oluşturulmasıdır. Bu kod numarasıyla parçanın üyesi olabileceği parça aileleri taranır. Eğer veri dosyası parça için bir proses planına sahipse bu plana ait rota bilgileri kullanılır. Standart proses planı gerekli olabilecek modifikasyonların yapılması için incelenir. Her ne kadar yeni parça aynı kod numarasına sahip olabilse de yeni parçanın imalatı için gerekli küçük farklılıklar olabilmektedir. Planlamacı bu farklılıklara göre proses planına girerek yeni bir plan oluşturmaktadır ve bu nedenle bu tür planlar varyant CAPP olarak da adlandırılmaktadırlar.

Üretim tekniği en karmaşık ve otomatikleşmiş bilgisayar destekli proses planlama tekniğidir [2]. Türetim tekniğinden farklı olarak planlamacıya olan bağlılık azalmaktadır. Geleneksel üretim tekniğinde planlar karmaşık şekillerde üretilirken gelişen bilgisayar teknolojisi ve yapay zeka uygulamaları neticesinde üretim tekniği daha uygulanabilir olmaktadır. Otomasyondan dolayı planlamacı hatası giderilmiş olduğundan daha tutarlı proses planlarının oluşturulması üretim tekniğinin en önemli avantajıdır.

Üretim tekniğindeki otomatikleşen bilgisayar sistemlerinin yeni teknolojiler olması nedeniyle bu tür sistemler çok yaygın değildir. Ancak bu sistemlerin avantajlarını kullanarak proses planlama için yarı-üretim tekniği kullanılmaya başlanmıştır. Türetim yaklaşımında yapılan yeniden düzenlemeler üretim tekniğinin çıktıları kullanıldığı için daha azdır.

Tüm bilgisayar destekli proses planlama tekniklerinin amaçladığı ortak faydalar bulunmaktadır. Bu faydalar kağıt kullanımının, planlamacıya ait hatalı karar ve hesaplamaların azaltılması, bilgilerde tutarlılık sağlanması, daha hızlı ve tutarlı bilgi sağlanması olarak sıralanabilir.

2.2 Proses Planlama Üzerinde Etkili Olan Teknoloji ve Uygulamalar

Proses planlama organizasyon karlılığını önemli şekilde etkilediğinden planlama üzerinde etkili olabilecek etkenler dikkatlice ele alınmalıdır. Bu etkenlerden en önemlileri proses spesifikasyonlarının belirlenmesi, bilgisayar teknolojilerinin imalat ortamına etkisinin incelenmesi (bilgisayar bütünleşik imalatın etkisi), imalat veri tabanlarının kullanımı ve modern üretim teknolojileridir (GT, JIT gibi).

2.2.1 Proses spesifikasyonlarının belirlenmesi

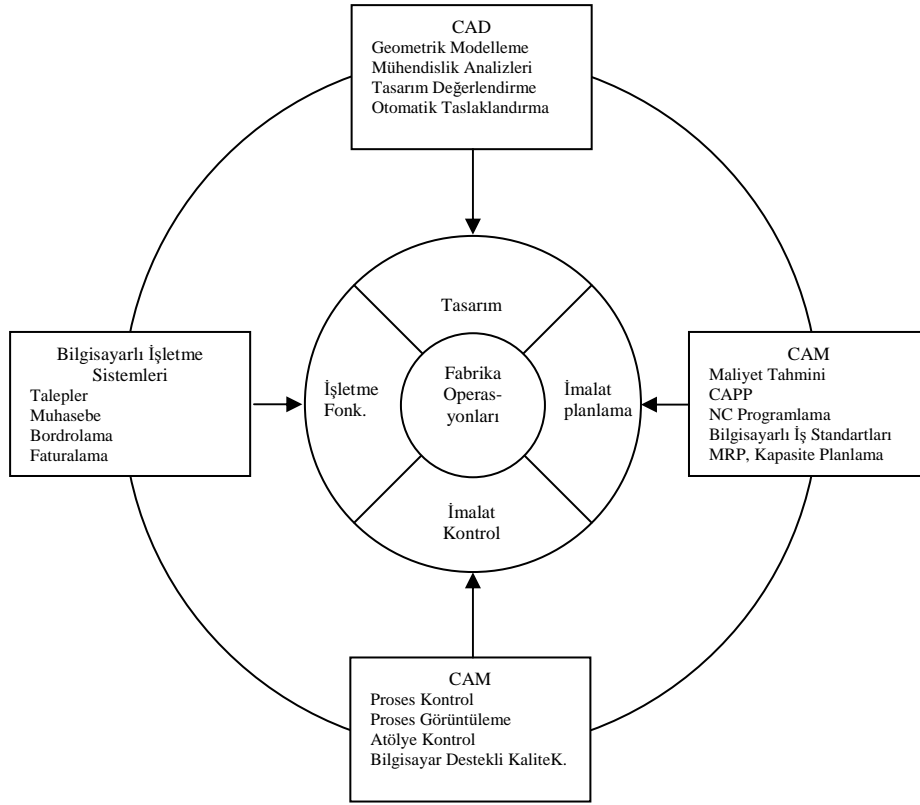
Üretim hedeflerinin gerçekleştirilmesi amacıyla bu hedeflerin ana fonksiyonlara dönüştürülmesine proses spesifikasyonlarının oluşturulması denir [7]. Proses planlama organizasyonun temel aktivitelerinin belirlenmesi aşamasında önemli rol oynamaktadır. Proses spesifikasyonları üç aşamada oluşur. Bunlar sırasıyla proses dizaynı, proses gereksinimlerinin belirlenmesi ve üretim birimlerinin ayrıştırılmasıdır.

Proses dizaynı proses çeşidinin belirlenmesi ve kullanılacak ana proseslerin belirlenmesi aşamalarından oluşur. Proses gereksinimleri imalat için gerekli teçhizat ve makinaların belirlenmesini, her üretim hattına ait makinaların ayrıştırılmasını, üretim hatlarından çıkacak ürün hacminin belirlenmesi ve bu hacmi karşılayacak makina sayısının belirlenmesini kapsar. Üretim birimlerinin ayrıştırılması belirlenen proses gereksinimlerinin birimlere dağıtılması anlamına gelmektedir. Bu aşama teçhizat, malzeme ve personellerin ilişkilerini göz önünde tutarak fiziksel yerleşimin yapılması, bu kaynakların dağıtılmasıdır [8].

2.2.2 Bilgisayar bütünleşik imalat

Bilgisayar bütünleşik imalat (CIM) yapısı CAD ve CAM gibi mühendislik fonksiyonlarını içermekle beraber firmalara ait diğer tüm üretim fonksiyonlarını da içerir. İdeal bir CIM sisteminde tüm operasyonel fonksiyonlar ve bilgi işlem fonksiyonları bilgisayar tabanlı olarak gerçekleştirilir. Bu nedenle CIM CAD, CAM

ve diğer firma fonksiyonlarını bütünüyle kapsamaktadır. Şekil 2.4 CIM yapısının bileşenlerini göstermektedir.



Şekil 2.4. CIM Sisteminin Bileşenleri [4]

CIM firmaya ait tüm fonksiyonları içermekte, tüm operasyonlarla entegre ve gerçek zamanlı etkileşim kurmaktadır. Entegre olmuş böyle bir sistemde bir aktivitenin çıktısı bir diğerinin girdisi olarak talebin gelmesinden ürünün teslimatına kadar tüm aktiviteleri içermektedir. Örneğin taleplerle gelen ürün spesifikasyonları ürün dizaynı için girdi olmakta ve CAD sistemi ile ürün ağaçları için veriler oluşturulmakta, üretim mühendisliği için girdi olmakta ve burada proses planlama, teçhizat/makina seçimi, benzer aktivitelerin belirlenmesi gerçekleştirilmektedir. Burada proses planlama için CAPP kullanılmakta, CAD fikstür çizimlerine uygun makina belirlenmektedir. Bu fonksiyonun çıktıları ise üretim planlama ve kontrol fonksiyonunun girdisi olmakta malzeme gereksinimleri planlaması ve çizelgeleme bilgisayar desteği ile yapılmaktadır. Tüm bu yönleri ile CIM bilgisayar destekli proses planlama üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

2.2.3 İmalat veri tabanlarının kullanımı

Veri tabanları geleneksel kayıt tutmanın yanında karar destek sistemlerinin geliştirilmesiyle anlamlı bilgileri ve ilişkileri kurallar ve kısıtlar dahilinde çıkararak önemli bir fonksiyonu yerine getirir. İmalat mühendisliğinde pek çok veri tabanı kullanılmakla beraber bunlardan en önemlisi proses planlama veri tabanıdır. Proses planlamaya ait bir veritabanının standart olarak makina özelliklerini, hammadde durumunu göstermesi beklenir.

2.2.4 Grup teknolojisi

Grup teknolojisi (GT) proses planlama işini en fazla etkileyen teknolojilerden biridir. Seri üretim ortamında özel amaçlı makineler kullanılmakta ve ölçek ekonomisinden dolayı değişken maliyeti düşük üretimler yapılmaktadır [2].

Seri üretim ortamları için gerekli olan yüksek sabit maliyetler ve değişen müşteri talepleri bu tip üretimi faydasız hale getirebilmektedir. Ancak atölye tipi üretim yapıldığında sabit maliyetler daha düşük ve daha esnek olunmaktadır.

GT kavramsal bir ifade olmakla beraber metodolojik bir yaklaşım ve üretim sistemi sunmaktadır. Zhang ve Alting [9] GT'yi "Farklı ürünlerin oluşturduğu büyük bir popülasyonu çalışma felsefesi olup aynı veya benzer karakterdeki ürünlerin gruplara ayrılmasını amaçlamak" olarak tanımlamaktadır. Bir başka deyişle benzer ürünlerin gruplandırılması ve yerleşimin ürün çeşitliliğine göre yapılmasına dayanan proses planlarının oluşturulması ile grup teknolojisi uygulanmış olur.

2.3 Proses Planlamanın Çizelgeleme ile İlişkisi

Günümüz rekabetçi koşullarında bilgisayar bütünleşik imalat firmaların karlılıklarını doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle CIM alanında yapılan çalışmalar sürekli artmaktadır. CIM'de önemli bir alt fonksiyon olan CAPP'in üretim planlama ve

kontrol fonksiyonları ile olan bağlantısının iyi kurulması gerekmektedir. Bu nedenle CAPP ve çizelgelemenin entegrasyonu, bu faaliyetlerin ayrı olarak yürütülmesinden çok daha büyük fayda sağlamaktadır. Proses planlama ve çizelgeleme ayrı olarak ele alındığında alınan kararlar aslında birbirini etkilemektedir. Proses planları ayrı yaklaşımlarda çizelgeleme için girdi oluşturmakta ve çizelgelemeyi etkilemektedir. Bu nedenle imalat kaynaklarının verimliliği için proses planlama ve çizelgeleme fonksiyonları bütünleşik olarak ele alınmalıdır. Çizelgeleme planları göz önüne alınmadan yapılan proses planlama atölyenin dinamik yapısını yansıtmadığından kapasiteyi sınırsız, atölyenin boş sayılmasına ve kaynakların pek çok proses planına bağlanmasına neden olur.

Her iş için tek bir proses planının kullanılması proses planının esnek olmadığı anlamına gelir. Ancak rekabetçi ortamda dinamik piyasa koşullarında karlılığı koruyabilmek için proses planlarının esnekliği sağlanmalıdır. Lee ve Kim [18], bütünleşik proses planlama ve çizelgelemede üç tip esneklik tanımlamışlardır. Operasyon esnekliği (OF), bir başka deyişle rota esnekliği (RF), bir operasyonun farklı bir makinada imal edilebilmesidir ve bu makinaların özdeş olması gerekmez. Sıralama esnekliği (SF) ise operasyon sırasının esnekliğidir, yani üretimdeki gerekli operasyon sırasının değiştirilebilmesidir. OF ve SF operasyon sırası ve makina koşullarını dikkate alır ancak operasyon sayısı sabittir. Proses esnekliği (PF) ise alternatif makinalar ve sıraları kullanır ve operasyon sayıları değişebilir.

Bütünleşik proses planlama ve çizelgeleme üzerine yapılan çalışmalar içerisinde Zhao ve Wu [41] esnek rota ve makinaların olduğu atölyelerde genetik algoritma ile iş sıralama problemi üzerinde çalışmış, Saygın ve diğ. [10] ise yine rota esnekliğine sahip atölyenin simülasyonunu yapmış, Lee ve Kim [11] proses planlarıyla çizelgelemeyi entegre etmek amacıyla genetik algorithmadan yararlanmışlardır. Çizelgelemede yeni bir yaklaşım sunan genetik algoritma, aynı zamanda proses planlama ile bütünleşik olarak da çalışılmıştır. Tek parçalı ve hiyerarşik iki yaklaşım sunan Sawik [12], tek parçalı yaklaşımında rota seçimini ve çizelgeleme kararlarını eş zamanlı olarak almış, hiyerarşik yaklaşımında ise iş istasyonlarının yüklerini dengeleyecek rota seçimini gerçekleştirdikten sonra çizelgeleme yapmıştır. Otomasyona dayalı imalat ortamlarında alternatif rotaların kullanımı büyük esneklik

sağlamaktadır. Alternatif proses planlarının olması proses plan seçimini de karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle Ming ve Mak [13] proses plan seçimi için melez bir hopfield network-genetik algoritma kullanmışlardır.

Yapılan pek çok araştırmalardan da anlaşılacağı üzere alternatif proses planları atölye ortamının verimliliğini artırmakta ve daha esnek bir yapı sunmaktadır, ancak alternatif rotaların sayısı arttıkça proses seçimi ve diğer üretim planlama fonksiyonları ile entegrasyonu zorlaşmakta, aynı zamanda sağlanan marjinal fayda azalmaktadır.

BÖLÜM 3. ÇİZELGELEME

İmalat ve servis sektörlerinde çalışan tüm işletmelerin operasyonlarını yürütebilmeleri, karlılıklarını koruyarak müşterilerinin her türlü ihtiyacına cevap verebilmeleri için operasyonlarını belirli düzen ve kurallar çerçevesinde yürütmesi gerekmektedir. Bu da ancak kısıtlı kaynakların görevlere akıllıca atanması ile mümkündür. Kaynakların görevlere atanması ise bir karar verme süreci olup çizelgeleme yardımıyla gerçekleştirilir. Bu nedenle çizelgeleme işletmeler için önemli bir fonksiyondur ve iyi planlanması gerekmektedir.

Çizelgeleme kısıtlı kaynakların görevlere zaman perspektifi içinde atanması işlevi olup, bir ya da birden çok amacı optimize etmeyi amaçlayan bir karar verme sürecidir [14]. Kaynaklar ve görevler sektörler göre çeşitlilik gösterebilir ancak pek çok çizelgeleme ortamında ortak olarak belirli bir öncelik seviyesi, en erken işe hazır olma zamanı ve bitiş tarihi mevcuttur.

Amaç/amaçları kısıtlar altında optimize etmek içinse matematiksel metotlar ve sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Tüm teknikler belirli varsayımlar üzerine kurulu olup, farklı ortamlar için farklı kurallara göre çözüm aramakta, ortak olarak çalışmaların ve sınıflandırmaların kolay olması için aynı notasyon sistemini kullanmaktadır.

3.1 Notasyon, Çizelgeleme Ortamları, İşlem Karakteristikleri ve Kısıtlar

Çizelgeleme problemi $\alpha|\beta|\gamma$ şeklinde ifade edilebilmektedir. Burada α makina ortamını temsil etmekte ve tek girdilidir. β işlem karakteristiklerini ve kısıtları ifade eder, girdisiz olabileceği gibi birden fazla girdili de olabilir. γ ise optimize edilecek amacı ifade eder ve tek girdilidir.

3.1.1 Notasyon

Tüm çizelgeleme problemlerinde makina ve iş sayısı sonlu olduğu, makina sayısının m , iş sayısının n , makinayı gösteren simgenin i olduğu kabul edilmektedir. Bir işin aynı makinada birden fazla sayıda işleme tabi tutulmasında da (i,j) notasyonu kullanılmaktadır.

p_{ij} j işinin i makinasındaki işlem süresini, r_j j işinin hazır zamanını (j işinin başlayabileceği en erken tarihi), d_j teslim tarihini ve w_j j işinin ağırlığını simgelemektedir. Bu bilgilerle çizelgeleme ortamları (α ortamı) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

3.1.2 Çizelgeleme (α) ortamları

Çizelgeleme ortamları tek makinalı ortamlardan çok daha farklı ortamlara kadar tüm çizelgeleme ortamlarını ifade edebilecek şekilde α alanında ifade edilebilir.

Tek makina ortamları ($\alpha=1$) yalnızca bir makinayı temsil etse de darboğazlı ortamları ifade edebilir. Darboğazda çalışılan tek makinalı çizelgeleme problemi ürün çıktısını da belirleyeceğinden bu tür sistemler için yapılan çalışmalar neticesinde EDD (teslim tarihi en yakın), SPT (en kısa işlem süreli önce) gibi optimum çözüm veren kurallar üretilmiştir.

Paralel makina ortamları ($\alpha=P_m$ veya Q_m) özdeş ya da farklı şekillerde (farklı hızda ve farklı hazırlık zamanlarında) üretim yapabilen makina ortamlarının gösteriminde kullanılır.

Akış tipi atölye ortamları ($\alpha=F_m$) m makinanın ardışık dizildiği, her işin bu makinalardan geçerek üretildiği ortamlardır. İşler genellikle ilk giren ilk çıkar prensibine uygun olarak çıkarlar ve bu tür ortamlar permütasyon akış tipi atölye olarak adlandırılır ve β alanında $prmu$ eklenerek ifade edilir.

Atölye tipi ortamlar ($\alpha = J_m$) tezde kullanılan atölye tipidir, bu nedenle bu tip üretim ortamı hakkında daha fazla açıklamanın yararlı olacağı düşünülmüştür. Atölye ortamı çizelgeleme probleminde; m tane $\{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ makinada işlenmek üzere n tane $\{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ iş mevcuttur. Her bir işin her bir makinada sadece bir kez işlem gördüğü varsayılır ancak bazen de bir işin birden çok kez aynı makinada işlenmesi söz konusudur ve β alanına recrc eklenerek belirtilir. Bu tür bir ortam çok esnek olup, rota çeşitliliğinden dolayı çizelgelemesi zordur.. Makinada işin işlenmesine operasyon denir ve i. işin j. makinadaki operasyonu O_{ij} olarak gösterilir. İşler, makinalarda belli bir sıra dahilinde işlenir ve bu sıra, teknolojik kısıt, iş seyri veya rota olarak adlandırılır. Genel atölye tipi üretim için rota kısıtlarının oluşumu ile ilgili hiçbir sınırlama yoktur. Her bir iş kendi işlem sırasına sahiptir ve diğer işlerin işlem sıralarından bağımsızdır.

Bununla birlikte bütün işlerin, aynı işlem sırasına sahip olduğunda özel bir durum ortaya çıkar. Böyle durumlarda problem akış-tipi çizelgeleme problemi olarak adlandırılır. Akış-tipi ve atölye-tipi çizelgeleme arasında farklar vardır.

Her operasyonun (o_{ij}) yürütülmesi belirli bir zaman alır. Bu zaman uzunluğu, işlem zamanı olarak adlandırılır ve p_{ij} olarak gösterilir. Basitleştirmek amacıyla, işi yürütmek üzere gereken makinayı ayarlama veya hazırlama için gerekli olan zamanın, yani, hazırlık zamanının, p_{ij} içinde bulunduğu varsayılır. İşin makinaya taşımak amacıyla geçen zamanın da p_{ij} içinde bulunduğu varsayılır. Ayrıca, p_{ij} 'nin sabit ve önceden bilindiği varsayılır.

Tezde çizelgelemeye ait varsayımlar her sayısal miktarın deterministik olduğunu ve makinaların her zaman elverişli olduğu kabul edilir. Ancak, bu varsayım işler için geçerli değildir. Çizelgeleme problemlerinde kabul edilebilen bazı işlerin çizelgeleme başladıktan sonra bile işlenmek için elverişli durumda olmaması tezde geçerli değildir. Yani işlerin hazır zamanları başlangıçta sıfırdır. İşin işlenmek üzere atölyede hazır olduğu zamana i. işin hazır zamanı denir ve r_i ile gösterilir ve tezde $r_i = r = 0$ 'dır. Genel olarak problem, işlerin makinalardan geçtiği bir sıra (rota)

bulmaktır. Bu sıra uygun rotalarla bağdaşır olmalı, yani olurlu bir çizelge olmalı ve performans ölçütlerine göre optimal olmalıdır.

Açık atölyeler ($\alpha=O_m$) m makinadan oluşmakta, her iş bu makinalardan biri tarafından işlenmektedir, ancak rotalar konusunda bir kısıtlama yoktur. Herhangi bir iş herhangi bir rotadan çıkabilir.

3.1.3 İşlem karakteristikleri ve kısıtlar (β)

Çizelgeleme problemini tanımlayan önemli özelliklerden biri her çizelgeleme ortamına has işlem karakteristiklerinin ve kısıtların olmasıdır. Kısıtlar β alanında ifade edilir ve çoklu girdisi olabilir.

Hazır zaman (r_j) bir işin en erken hazır olabileceği ve işleme başlayabileceği zamanı gösterir. Bu zamandan önce işe başlamak mümkün değildir. Eğer β alanında herhangi bir r_j girdisi yoksa bu herhangi bir işe herhangi bir zamanda başlanabileceğini gösterir. İşlerin hazır zamanları bu alanda gösterildiği halde bitiş zamanları gösterilmektedir. Bu tarihler amaç fonksiyonunda belirtilir.

Sıraya bağımlılığı, sıraya bağlı hazırlık zamanları ve maliyetler ($prec, s_{ijk} c_{ijk}$) işlerin sıralı yapılmasının gerekli olduğu durumlarda ($prec$), örneğin çoklu makina ortamında k işi j'yi takip etmek zorundaysa j'den k'ya geçmek için gerekli hazırlık zamanını s_{ijk} gösterir. Benzer şekilde sıraya bağlı işler için oluşacak maliyet c_{ijk} ile gösterilir.

Önalım ($prmp$) makinanın bir işi bitirmeden farklı bir işe atanmasıdır. Bu genellikle çizelgelemeci tarafından daha önemli işlerin ortaya çıkması durumunda diğer işlerin bekletilmesi için yapılır ($preemptive\ resume$), ancak işleri yeniden çizelgelemek de mümkündür ($preemptive\ repeat$).

Rota kısıtları her işin kendine has operasyonlardan oluşan işlemlerden geçerek üretilmesini ifade eder. Alternatif rotalar aynı işin farklı yollarla farklı performanslarda üretilmesi için uygulanır. Örneğin atölye tipi üretim yapan bir

ortamda bir iş birden fazla kez aynı makinaya uğruyorsa recirc (recirculation) ile β alanında gösterilir.

Makina uygunluğu, alet ve kaynak kısıtı, makina uygunluğu (M_j) paralel makina ortamı için, bir makinanın tercih edilmediği durumlarda kullanılır. Benzer şekilde alet ve kaynak kısıtı paralel makina ortamında özdeş makinaların kullandıkları ortak kaynakları ifade eder, bu kaynaklar insan, kesici uç veya herhangi bir alet olabilir.

3.2 Amaçlar ve Performans Ölçüleri, Karmaşıklık Hiyerarşisi

Amaçlar $\alpha|\beta|\gamma$ notasyonunda γ alanında gösterilir ve her zaman işlerin tamamlanma zamanlarının minimizasyonunu amaçlayan bir fonksiyon olarak ifade edilir. Bitiş zamanlarına ait tek değişkenli fonksiyonlar yazılabileceği gibi çok değişkenli fonksiyonlar da yazılabilir. Bir işin bir makinada bitiş zamanı c_{ij} olarak ifade edildiğinde bu değişkene ait amaç fonksiyonları ifade edilebilir ve bu amaçlar optimize edilmeye çalışılır. c_j j işinin tamamlanma zamanı, d_j j işinin teslim tarihi olarak ifade edilirse, gecikme (lateness) L_j ,

$$L_j = c_j - d_j \quad (3.1)$$

olarak tanımlanır. Burada L_j negatif ya da pozitif olabilir, negatif olması erken tamamlanmayı, pozitif olması ise geç tamamlanmayı gösterir. Pozitif gecikme (tardiness) T_j şu şekilde ifade edilir:

$$T_j = \max(c_j - d_j, 0) = \max(L_j, 0) \quad (3.2)$$

j işine ait ceza U_j olursa, işin gecikmesinden kaynaklanacak sabit ceza aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$U_j = \begin{cases} s_j & \text{eğer } T_j > 0 \\ 0 & \text{değilse} \end{cases} \quad (3.3)$$

Pozitif gecikme, gecikme ve birim ceza çizelgeleme problemlerinin amaç fonksiyonlarında belirtilmesi gereken önemli performans göstergeleridir. Minimizasyonu için kullanılacak bazı amaç fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

Son işin bitiş zamanı (makespan) c_{\max} ile gösterilir ve üretimi biten son parçanın sistemi terk ediş zamanını ifade eder. Eğer j işinin bitiş zamanı c_j olarak yukarıda belirtildiği gibi ifade edilirse;

$$c_{\max} = \max(c_1, K, c_n) \quad (3.4)$$

Son işin tamamlanmasının minimizasyonu çıktı oranını maksimize eden bir amaç fonksiyonudur. c_{\max} minimize edilirken işler makinalara olabildiğince eşit olarak atanır ve böylece işlerin daha kısa sürede tamamlanması sağlanır.

Maksimum gecikme L_{\max} ile ifade edilir ve teslim tarihinin en kötü geciktirilmesinin minimizasyonudur. Maksimum gecikme aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$L_{\max} = \max(L_1, K, L_n) . \quad (3.5)$$

Ağırlıklandırılmış akış zamanı c_{\max} 'in daha genel bir fonksiyonu olup her bir işe ait bir ağırlığın olduğu varsayımına dayanır. Bu tür amaç fonksiyonlarında $\sum w_j c_j$ gibi bir amaç fonksiyonu için her bir işin önceden belirli bir önemi olduğu kabul edilerek bu ağırlıklara göre tüm işlerin bitiş süresinin (son işin bitiş zamanı) minimizasyonu hedeflenir. Burada ağırlıklar işlere ait elde tutma maliyetlerini, stok maliyetlerini yansıtacak şekilde seçilir. Ancak daha genel bir fonksiyon yazılmak istenirse:

$$\sum w_j (1 - e^{-rc_j}), \quad 0 < r < 1 \text{ olmak üzere} \quad (3.6)$$

yazılabilir. Burada j işi t anında tamamlanmamış ise $[t, t+dt]$ aralığında fazladan $w_j r e^{-rt} dt$ kadar daha maliyet oluşur, aksi takdirde iş t anında biterse $w_j (1 - e^{-rt})$ 'lik bir maliyet oluşacaktır.

Ağırlıklı toplam pozitif gecikme toplam pozitif gecikmeli amaç fonksiyonuna ($\sum T_j$) her işe ait ağırlıkların eklenmesiyle elde edilir ve $\sum w_j T_j$ ile gösterilir.

Yukarıda geçen tüm amaç fonksiyonları düzenli performans göstergeleri olarak adlandırılır. Düzenli performans göstergeleri c_1, k, c_n için sürekli artan fonksiyonlara denir. Bu tür amaç fonksiyonlarının dışında düzensiz fonksiyonlarda mevcuttur. Örneğin her işin ağırlık değerlerine sahip olduğu, erken bitirme (E_j) ve pozitif gecikmeyi minimize etmek için yazılacak düzensiz bir amaç fonksiyonu:

$$\sum_{j=1}^n w_j (E_j + T_j) \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilir. Gerek erken bitirmeyi gerekse pozitif gecikmeyi minimize eden fonksiyonlar uygulamada tam zamanında üretim için uygun çizelgelerin oluşmasını sağlar. Ancak iş operasyonları tamamlandıkça o işlere ait stok maliyetlerinin arttığı, geç teslimatlarda sabit maliyetlerin (S_j) doğması göz önüne alınacak olursa

$$S_j = \begin{cases} S_j & \text{eğer } T_j > 0 \\ 0 & \text{değilse} \end{cases} \quad \text{olmak üzere} \quad \sum_{j=1}^n [w_j c (E_j + k T_j) + S_j] \quad (3.8)$$

Formül 3.8'de;

w_j : w işinin önem derecesi

c : erken tamamlanmada zamana bağlı ceza katsayısı

E_j : negatif gecikme

k : geç bitirmenin erken bitirmeden kaç kat fazla cezalandırılacağı

T_j : pozitif gecikme

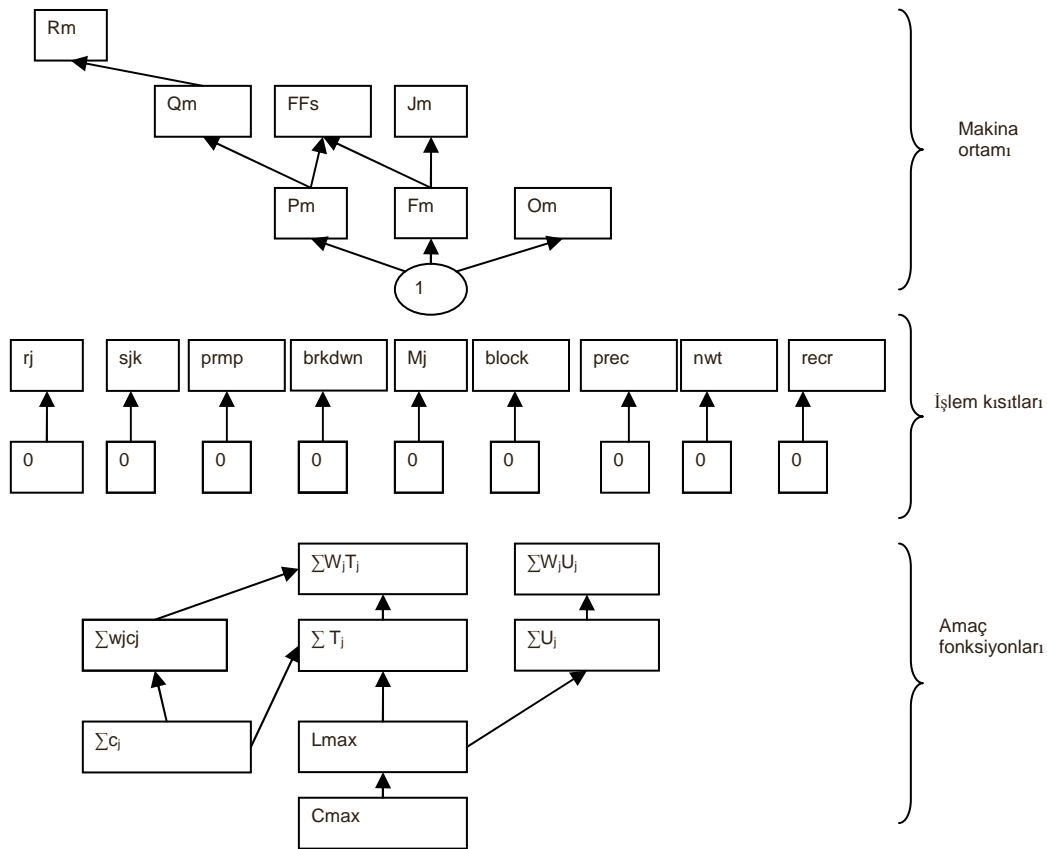
şeklinde amaç fonksiyonu oluşturulabilir. Bu ve buna benzer pek çok farklı düzensiz amaç fonksiyonu çizelgeleme ortamına, işlem karakteristiklerine ve kısıtlara göre yazılabilir.

Çizelgeleme problemleri ele alınırken çözümde kullanılacak yöntemler zaman ve maliyet gibi faktörler dikkate alınarak belirlenir. Ancak bu problemlerin karmaşık yapısından ve çözümlerinin zorluğundan, örneğin n işin m makinada tam enumerasyonla çözümünü için $(n!)^m$ alternatif ele alınmalıdır. Bu nedenle çizelgeleme problemlerinde genelleme yapmak oldukça güçtür.

Bir problemin genelleştirilebilmesi diğer problemlerin çözümü için jenerik bir yapı oluşturacaktır. Bu nedenle çizelgeleme problemleri arasındaki hiyerarşik yapının ortaya çıkarılabilmesi için pek çok çalışma yapılmıştır. Problemlerin güçlüklerini belirleyen $\alpha|\beta|\gamma$ notasyonunun parametreleridir.

Deterministik çizelgeleme problemlerinde pek çok araştırma zamansal olarak verimli algoritmalar, bir başka deyişle polinom zamanlı fonksiyonlar bulmayı amaçlamıştır. Ancak çoğu çizelgeleme problemi böyle bir algoritmaya sahip değildir. Bu problemler NP-zor problemlerdir. Zaman karmaşıklığı (time complexity) fonksiyonu bir problemin çözümü için gerekli en fazla adım sayısını verir. Polinom zamanlı bir fonksiyon için elde edilebilir bir çözümün varlığı veya üstel fonksiyonlar içinse çözümün bilgisayar kısıtından dolayı mümkün olmadığı bu fonksiyon sayesinde anlaşılabilir. Deterministik çizelgeleme problemleri için karmaşıklık hiyerarşisi $\alpha|\beta|\gamma$ alanları için Şekil 3.1'deki gibidir.

Çizelgeleme teorisinde polinom zamanlı problemlerle NP-hard problemler arası sınırı belirlemeye yönelik sıkça çalışma vardır. Böyle bir sınırın oluşturulabilmesi için polinom zamanla çözülebilen “en zor” ve “en genel” problemlerin belirlenmesi gerekir. Bu problemler herhangi bir genellemeyle karakterize edilebilir, örneğin öncelik kısıtlarının eklenmesi sıradan (NP in ordinary sense) ya da NP-tam problemlere neden olur.



Şekil 3.1. Deterministik Çizelgeleme Problemlerinde Karmaşıklık Hiyerarşisi [15]

Sıradan NP-hard problemler polinom zamanlı olup çözümleri oldukça vakit alır. Pek çok araştırmaya rağmen sınırlar henüz tespit edilememiştir ve sınır bulanıktır. Sıradan NP'de (NP in ordinary sense) problem polinomial sürede nondeterministik Turing makinasında çözülebilir. Ancak zorlu NP'lerde problemin çözümü için kullanılan algoritma herhangi bir NP problemine çevrilebilirse zorlu NP'dir. NP-hard için iyi bilinen örnek gezici-satıcı problemidir. Sıradan NP ve zorlu NP problemlerinin her ikisinin de özelliklerini taşıyan problemlere ise NP tam problemler denir ve en zorlu grubu oluşturur [16].

3.3 Çizelgeleme Yaklaşımları

Her çizelgeleme probleminin karmaşıklığı, çizelgeleme problemlerine ait genel bir yapının kurulmasını güçleştirir. Bu nedenle çizelgeleme problemleri üzerine pek çok yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar deterministik çizelgeleme ve stokastik çizelgelemeye farklı açılardan ve farklı kabuller çerçevesinde yaklaşmaktadır.

Çizelgelemede aralık, gönderme, basit gönderme, kritik iş, kritik kaynak, kritik operasyon, ileri, geri, sezgisel gönderme, kombinatoriyel çizelgeleme gibi farklı çizelgelemelerle problemler tanımlanır ve bu tanımlara göre yaklaşımlar geliştirilir. Kombinatoriyel çizelgeleme, tamsayı programlama, demet arama, dinamik programlama gibi teknikleri kullanarak optimum çözümü ararken, sezgisel gönderme türü çizelgeleme benzetime dayalı bir yaklaşımla her bir işin her karar noktasında (sıralama, rotalama) belirli kurallara göre performans göstergelerinin belirlenerek daha iyi sonuçlar bulunmasını sağlar.

Morton ve Pentico [17] çizelgeleme yaklaşımlarını aşağıdaki gibi sınıflandırmışlardır:

- Manuel yaklaşımlar: Manuel-aralık, Manuel-gönderme
- Benzetim-gönderme
- Matematiksel yaklaşımlar: Kesin metotlar, Sezgisel metotlar
- Uzman sistem ve Karışık AI/OR/DSS sistemleri yaklaşımları

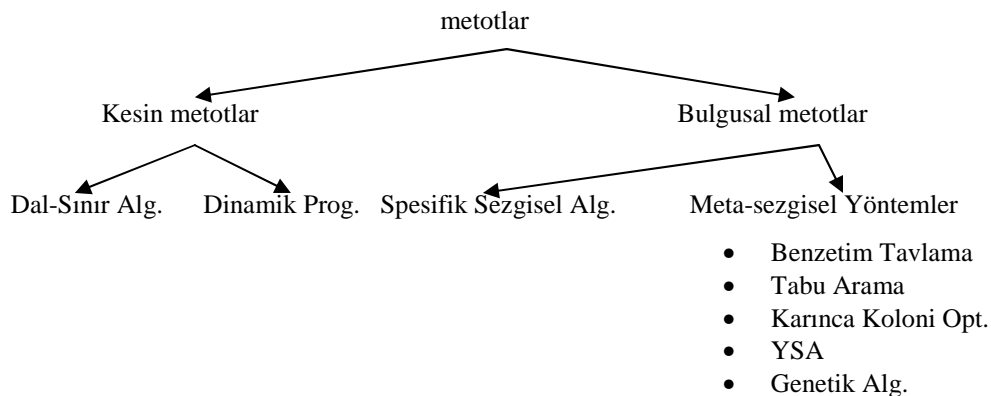
Bu yaklaşımlardan manuel yaklaşımlar, benzetim-gönderme ve matematiksel kesin metotlar geleneksel yaklaşımlar olup geçmişte bu konuda yapılmış pek çok araştırma mevcuttur. Diğer yaklaşımlar ise daha yeni olup geçmiş yaklaşımların eksikliklerini, özellikle kısıtlı zaman diliminde verimli sonuç verememe sorununu ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilmiştir.

3.3.1. Geçmiş yaklaşımlar

Geçmiş yaklaşımlardan manuel-aralık yaklaşımı kaynaklarla faaliyetlerin karşılıklı olarak kesin bir şekilde eşleştirilmesinin önemli olduğu durumlarda kullanılır ve teslim tarihinden başlayarak geriye doğru çizelgeleme şeklinde uygulanır. Ancak iş-kaynak eşleştirmesinin kesinliğinden dolayı bu çizelgeleme sonuçları esnek değildir.

Manuel-gönderme yaklaşımı ise faaliyetlerin zamanlamasının değişebileceği fakat birbirleriyle göreceli ağırlıklarının tutarlı olduğu durumlarda kullanılır. İmalatta bu yaklaşım yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapı itibariyle manuel-gönderme yaklaşımı ileri doğru çizelgeleme şeklinde kullanılır. Her bir makina önünde bulunan her iş için verilen kurala (SPT) göre bulunan öncelik değerleri bulunur ve en önemli görülen işin önünde beklediği kaynağa atanır [2].

Manuel yaklaşımlarda çizelgelemecinin uzmanlığı hızlı kararların alınmasını sağlar ancak farklı uzmanlıklar için ortak bir metot geliştirilemez, yeterince çevik olunamaz. Bu nedenle bilgisayar destekli yaklaşımlar geliştirilmiş, ilk olarak bilgisayar benzetim yaklaşımı uygulanmıştır. Bilgisayar destekli çizelgelemede çözüm yaklaşımları Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Bilgisayar Destekli Çizelgeleme Problemi Çözüm Yaklaşımları

Bilgisayarlı benzetim yaklaşımı gerçek süreçlerin bilgisayar ortamında yapay olarak gerçekleştirilmesidir. Benzetim geniş ölçekli, matematiksel modellemenin zor veya imkansız olduğu durumlarda sistem performansının geliştirilmesi amacıyla yapılmaktadır. Sistemlerin simülasyonla modellenmesi yapılırken sisteme ilişkin varsayımlar ve kurallar belirlenir, örneğin çizelgeleme ortamının simülasyonu yapılırken çizelgeleme ortamı, kısıtlar ve kurallar belirlenerek sistem benzetimi yapılmalıdır. Modellemeden sonra geçerliliği ve doğruluğu sağlanan modellere ait çıktı sonuçları, performans göstergeleri karşılaştırılarak performansın tahmini veya gelişen sistem davranışının gözlemi sağlanır.

Matematiksel yaklaşımlar ise modellemenin kolay olduğu ya da kesin sonuçların gerekli, zaman kısıtının gevşek olduğu durumlarda kullanılan geleneksel yöntemlerdir. Yapılan geçmiş araştırmalarda çizelgeleme üzerine matematiksel modellerin çözülmesinin zorluğu anlaşılmış, bu zorlukları giderici alternatif matematiksel yöntemler ve diğer arama metotları geliştirilmiştir. Çizelgeleme problemlerinin karmaşıklık hiyerarşisinin henüz belirlenememiş olması nedeniyle matematiksel yöntemler bu tür problemlerin çözümünde sezgisel algoritmalara göre daha başarısızdır.

Tam enumerasyona dayalı matematiksel modeller zamansal olarak verimli değildir. Geliştirilen dal-sınır algoritması ile tam enumerasyona gerek kalmadan önerdiği yöntemlerle (back-tracking gibi) optimal çözüm arar. Dal-sınır algoritması aynı zamanda çeşitli sezgisel metotların temelini oluşturan yaklaşımlardan biridir. Örneğin üst ve alt sınır farklarının yeterince az olması (belirli bir eşik değerinden az), sonuçların kabul edilebilir düzeyde iyi olduğu anlamına gelir ve gerekli hesaplamaları büyük ölçüde azaltır. Dinamik programlama da dal-sınır algoritması gibi matematiksel bir yöntem olup benzer şekilde problem boyutu arttıkça verimsizleşmekte, sonuç için gerekli iterasyon sayısı problemin boyutundan hızlı artmaktadır. Srinivasan [18] ve Winston [19] dinamik programlamanın çizelgelemede nasıl kullanılabileceğini göstermiştir. Bir diğer yöntem olan tamsayı programlama da diğer matematiksel yöntemler gibi problem büyüklüğünden olumsuz etkilenmektedirler. Bu konuda Florian ve diğ. [20] ve Schwimmer [21] bazı

formülasyonlar geliştirmişlerdir. Ancak tüm matematiksel yaklaşımlar küçük boyutlu problemler için verimli (optimum) çözümler üretmektedirler.

Bu yaklaşımların dışında Lagrangian gevşetme yaklaşımı büyük ölçekli matematiksel problemlerin kısıtlarının gevşetilmesi, bir başka deyişle her kısıtın ihlalinin bir ceza ile cezalandırılmasını önererek çözüm arar.

Geçmiş yaklaşımlar ortak olarak çözüm uzayının dar olduğu ve matematiksel modellemenin kolay olduğu durumlarda kullanılabilirler. Ancak çizelgeleme problemlerinin yapısı nedeniyle bu yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle yeni birçok yaklaşım geliştirilmiştir.

3.3.2. Güncel yaklaşımlar

Çizelgelemede büyük ölçekli problemlerin çözümü için sezgisel algoritmaların kullanımı doğrusal olmayan programlama çözüm yöntemlerinden olan tepeye tırmanma metodunun geliştirilmesiyle olmuş ve ilk olarak komşulukta arama tekniği kullanılmıştır. Bu teknik rassal bulunan bir çözüm etrafında (komşuluğunda) çözümlerin aranmasıyla sonuç bulmayı amaçlar. Rassal olarak iyi bir çözüm, etrafında daha iyi çözümler için bir referans olabilirken aynı zamanda lokal bir optimum noktasının da referansı olabilir. Tek bir noktaya bağlı olarak yapılan bu arama yoğunlaşma stratejisi olarak adlandırılır. Ancak lokal optimumda takılmamak ve olası bir global maksimumu da gözden kaçırmamak amacıyla ikinci bir stratejiye gerek duyulmaktadır. Bu strateji dağılma stratejisidir. Dağılma stratejisinde birden çok rassal aramalar yapılarak çözüm aranır. Her iki stratejinin birden kullanıldığı melez tekniklere sahip yeni arama yaklaşımları da oluşturulmuştur.

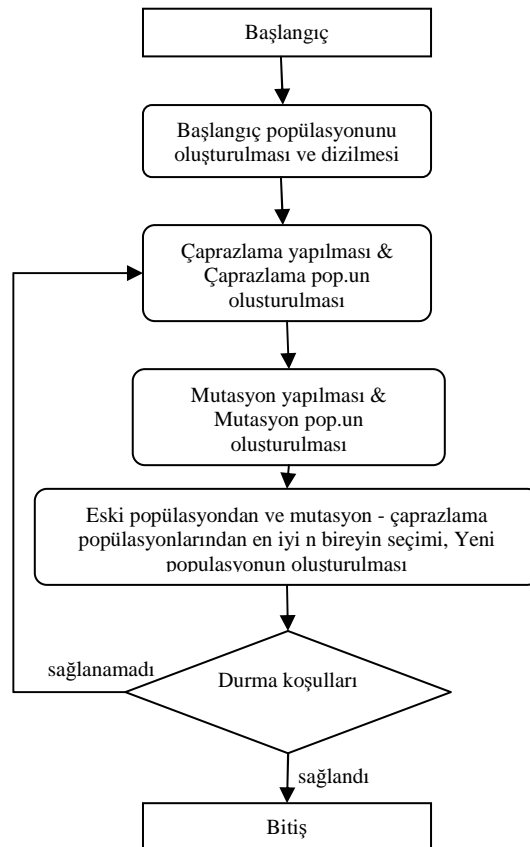
Güncel yaklaşımlar içerisinde çalışılan genetik algoritma, tabu arama, benzetimli tavlama gibi yöntemler önce dağılma daha sonra da yoğunlaşma stratejilerinden yararlanarak çözüm ararlar. Bu yaklaşımın dışında darboğaz metotları ve diğer metotlar da mevcuttur (Uzman sistem ve Karışık AI/OR/DSS sistemleri yaklaşımları gibi).

Tabu arama yöntemi komşulukta arama yönteminin farklı şekilde kullanılmasıyla yapılır. Öncelikle kısa veya uzun süreli hafızaya istenmeyen sonuçlar kaydedilir. Elde edilen çözüm listedekilerden iyi olması durumunda listeye alınır ve bu çözüme tekrar hareket edilmeyerek çözüm aranır. Benzetimli tavlama ise termodinamik yasalarını taklit ederek çözüm arar. Önceden bir derece (sıcaklık) belirlenir ve rassal veya sezgisel yöntemlerle çözümler bulunur. Bu çözümlerden rassal seçilen çözümler için farklar bulunur ve eğer fark 0'dan küçükse çözüm kümesi yenilenir, değilse çözüm kümesi korunur. Her iterasyonda sıcaklık belirli bir oranda azaltılır ve çözümlerin bu şekilde iyileştirilmesi amaçlanır.

Diğer metotlar arasında yer alan uzman sistemler dar uzay kümesinde belirli kurallara dayalı çözümler arar. Kural tabanlı oldukları için ve kuralları belirleyen uzmanların tecrübelerine bağlı olan bu sistemlerde kuralların birbirini tekrar etmemesi, birbirini içermemesi ve çelişmemesi, olabildiğince çok ve geniş olması (geniş bir veri havuzuna sahip olması) önemlidir. Ancak çizelgelemede çok çalışılan uzman sistemlerin uygulanmasında sıkıntılar vardır. Bu sorunlar veri havuzlarının yönetim zorluğundan, kuralların karmaşıklığından ve bazen de karmaşık sezgisel metotların kurallar içinde yer almasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca uygulamada karşılaşılan zorlukların diğer kaynakları, yönetimin çizelgelemecilerin uzman sistemi anlamaları için yeterli desteği sağlamaması ve kullanılan karmaşık çizelgeleme programlarının üzerine böyle karmaşık bir programın kurulma güçlüğüdür. Çizelgelemede uzman sistemlerin ilk kullanılması Fox ve diğ. [22] geliştirdiği ISIS ve sonrasında Bensana ve diğ. [23] esnek üretim hatları için geliştirdiği OPAL verilebilir.

Çizelgelemede yapay sinir ağları da sıklıkla kullanılmaktadır. En önemli özelliği öğrenebilme olan yapay sinir ağları daha önceden sunulmamış problemleri çözebilme yeteneğine sahiptir. Çizelgelemede pek çok farklı konuda yapay sinir ağları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalara Shaw ve diğ. [30] ve Byrd ve Hauser [2] örnek verilebilir. Yapay sinir ağları insan beyninin öğrenme sürecini taklit etmeye çalışırken benzer şekilde genetik algoritma da doğal seleksiyon sürecini temel almaktadır. Her ikisi de gelişimsel iyileşme sağlamayı amaçlamaktadır.

Genetik algoritma (GA) çok boyutlu arama uzaylarında global optimumu bulmayı amaçlayan bir çözüm yöntemi olup Holland [26] tarafından geliştirilmiştir. Genetik algoritma evrim teorisindeki doğal seleksiyon, mutasyon ve genetik kanunlarını taklit ederek problemi çözmeyi amaçlar. Rassal veya herhangi bir metotla üretilen çözümler başlangıç popülasyonunu oluşturur ve kromozom olarak adlandırılır. Başlangıç popülasyonundan seçilen kromozom çiftleri çaprazlanır ve bazı kromozomlar mutasyona uğratılır. Ortaya çıkan yeni kuşak kromozomlar ve eski kromozomlardan en iyi olanları yeni popülasyona seçilir ve doğal seleksiyondaki gibi performansı düşük olanlar atılır, her nesildeki kromozom sayısı sabit tutulur. İyi bireylerden daha iyi yeni bireyler oluşma durumu yoğunlaşma stratejisi dahilindedir. Bazı performansı düşüklerin de popülasyonda tutulma nedeni dağılım stratejisinin uygulanmasıdır. Çünkü bu bireyler ileride daha iyi bireylerin oluşmasına neden olabileceklerdir. Genetik algoritma hakkında detaylı bilgiler pek çok kaynakta mevcuttur. Genetik algoritmanın işleyişi ise Şekil 3.3'de verilmiştir. Genetik algoritmanın kullanılması sırasında önemli olan bazı noktalar mevcuttur. Parametre kodlama, seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörüne ait özellikler algoritmanın performansını etkileyebilmektedirler.



Şekil 3.3. Genetik Algoritma Akış Şeması

Parametre kodlamada son yıllarda değişik teknikler geliştirilmiştir. Çözümün kromozomlara nasıl kodlanacağı GA'da anahtar niteliğinde bir çalışmadır. Kromozomların kodlanması ve şifre çözümü aşamasında, üç kritik noktaya dikkat edilmesi gerekir [27]:

1. Kromozomun uygunluğu kontrol edilir.
2. Kromozomun belirlenen koşulları (kısıtları) sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.
3. Kodlama haritasında, kromozomun tek olduğu kontrol edilir.

Koşulları sağlamayan bir kromozom, çözüm uzayındaki değerleri şifreleyemez; böyle bir kromozom, evrime uğrayamaz. GA ile kurulacak modelde, iş çizelgeleme problemi ile ilgilenileceği için aşağıda bu konuda geliştirilen kodlama yöntemleri anlatılmaktadır. Çizelgeleme problemleri ile ilgili olarak 9 tip temsil yöntemi geliştirilmiştir:

1. Operasyona dayalı kodlama
2. İşe dayalı kodlama
3. Liste önceliğine dayalı kodlama
4. İş çifti ilişkisine dayalı kodlama
5. Öncelik kuralına dayalı kodlama
6. Tamamlanma zamanına dayalı kodlama
7. Makinaya dayalı kodlama
8. Rassal anahtarlı kodlama
9. Karışık kodlama

Çaprazlama operatörü, GA'nın temel işlemcisi olup, GA'nın performansını büyük ölçüde etkiler. Çizelgelemede kullanılacak bazı çaprazlama operatörleri şunlardır:

- Pozisyona Dayalı Çaprazlama
- Sıraya Dayalı Çaprazlama
- Kısmî Plânlı Çaprazlama (PMX)
- Dairesel Çaprazlama (CX)

- Doğrusal Sıralı Çaprazlama (LOX)
- Alt Değişimli Çaprazlama (SXX)

GA’larda önemli rol oynayan etmenlerden biri de mutasyon operatörüdür. Mutasyon sıklığının belirlenmesini sağlayan mutasyon oranı, doğal popülasyonlarda mutasyon oranı çok düşük olduğundan, GA’da da genelde düşük seçilir.

Çizelgeleme ile ilgili geliştirilen yöntemler şunlardır:

- Ters Mutasyon
- Komşu İki İşi Değiştirme
- Keyfi İki İşi Değiştirme
- Keyfi Üç İşi Yer Değiştirme

Uygun parametre kodlama, çaprazlama ve mutasyon operatör özellikleri, başlangıç popülasyonunun oluşturulması ile ilgili açıklamalar Bölüm 4.2.3’de verilmiştir.

3.4 Atölye Çizelgelemede Kullanılan Gönderme Kuralları

Tezde çalışılan atölye ortamı en karmaşık ortam olan atölye tipidir. Bu tip ortamda işlerin farklı rotaları mevcuttur ve işler arası benzerlik en azdır. Bu tip ortamlarda pozitif gecikme ve erken bitirmeye dayalı ceza fonksiyonları kullanılarak optimum çizelgeleme yapmak ise olanaksızdır. Bu nedenle geliştirilen çeşitli kurallara göre güncel arama yöntemlerinden yararlanılmış, hibrid arama gibi teknikler kullanılmıştır.

Gönderme kuralları iki sınıfta toplanabilir: statik ve dinamik gönderme kuralları. Statik kurallar önceden hesaplanmış, çizelgeleme boyunca değişmeyen değerler olup teslim tarihi erken olan işin önce atanması kuralı gibi kuralları kapsar. Dinamik değerlere bağlı kurallar ise zamana bağlıdır, minimum gevşeklik süresi (MS) teslim tarihi ile kalan işlem süresi arası fark olup dinamiktir. Tezde kullanılan en erken işe hazır olma ve en erken teslim tarihi hariç tüm kurallar dinamik kurallardır. Temel gönderme kuralları olarak en erken teslim tarihi (EDD), minimum gevşeklik (MS), en

erken işin hazır olma süresi (ERD), ağırlıklı en kısa işlem süresi (WSPT), ağırlıklı en kısa operasyon süresi (WSOT), en uzun işlem süresi (LPT), en kısa ağırlık zamanı önce (SST), en az esnek olan iş önce (LFJ), rassal servis (SIRO) gibi örnekler verilebilir. Bu kurallarla ilgili detaylı bilgi Demir H. İ. [2]'den elde edilebilir. Bu kurallardan WSPT ve MS açıklanacak olursa, bu iki kuralın karışımı olan ATC kuralı daha kolay anlaşılabilir.

WSPT kuralı dinamik gönderme kurallarındandır, amacı ağırlıklı tamamlanma süreleri toplamını minimize etmektir. Buna göre bir makinaya atanacak iş, her bir işin kalan operasyon süresinin toplam kalan süreye oranlanması ve en küçük olanının seçimi ile belirlenir. MS ise yine dinamik bir kuraldır ve işlerin gevşeklik süreleri olan $\max(d_j - p_j - t, 0)$ değerine göre en büyük değer (en maliyetli iş) seçimi ile yapılır.

ATC kuralı makinelerin uygun oldukları her an için kalan işleri öncelik sırasına göre sıralayarak çizelgeler. Burada t anı için j işinin öncelik değeri $I_j(t)$ ile ifade edilecek olursa bu değer aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$I_j(t) = \frac{w_j}{p_j} e^{\left(\frac{-(\max(d_j - p_j - t, 0))}{kp_{av}} \right)} \quad (3.9)$$

Formül 3.9 açılacak olursa;

w_j : j işinin ağırlığı

d_j : j işinin teslim tarihi

p_j : j işinin işlem süresi

t : zaman

k : ölçeklendirme parametresi

p_{av} : bekleyen işlerin ortalama işlem süresi

k parametresi büyüdükçe kural WSPT'ye, küçüldükçe MS'ye yaklaşır. Bu nedenle yapılan çalışmada k değeri için 1,2 ve 3 değerleri kullanılmıştır. Tezde kullanılan toplam gönderme kuralı sayısı 12'dir. Bu kurallar Bölüm 4.2.3'de açıklanmıştır.

3.5 Teslim Tarihi Belirlemenin Çizelgelemeye Faydaları

Teslim tarihi (DD) ile çizelgeleme pek çok çalışmada birlikte kullanılmış, bu çalışmalarda teslim tarihi belirleme ile entegre olmuş çizelgelemenin daha faydalı olduğu gösterilmiştir.

Basit çizelgeleme problemlerinde teslim tarihi verilen bir bilgi olup, çizelgeleme bu bilgi dahilinde belirli amaç fonksiyonlarının çözümü için kullanılır. Ancak teslim tarihi belirleme kuralları teslim tarihlerine göre çizelgelerin oluşturulmasında kullanılır. İyi belirlenmiş teslim tarihi ise erken tamamlanma ve gecikme maliyetlerini minimize eder.

Yapılan çalışmalarda farklı üretim ortamlarında farklı teslim tarihi belirleme kuralları altında, öncelik ve hazır zaman kısıtlarını dikkate alarak çizelgeleme çalışılmıştır. Ayrıca deterministik işlem süreleri olan işlerin tekli, çoklu makina ortamlarında çizelgelenmesi ve teslim tarihinin belirlenmesi [14,28], statik ve dinamik akış zamanlarıyla yapılan teslim tarihinin benzetimle bulunması, bunun gibi pek çok konu çalışılmıştır.

Gelişen tam zamanında üretim anlayışıyla birlikte teslim tarihi ve çizelgelemenin birlikte çalışılmasının önemi bir kez daha anlaşılmış ve bu önemi ispatlayan, nasıl geliştirilebileceğini gösteren çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Teslim tarihlerinin değişken olarak yer aldığı çizelgelemenin müşteri memnuniyetini ve stok maliyetini optimize eden problemler çözülmüştür. Gordon ve diğ. [29] ortak teslim belirlemeyi ve işlerin tamamlanma zamanlarını (c_{max}) optimize eden çizelge üzerine çalışmışlardır.

BÖLÜM 4. TESLİM TARİHİ BELİRLEMENİN IPPS İLE ENTEGRASYONUNUN FAYDALARI

Proses planlama, çizelgeleme, teslim tarihi belirleme gerek teorik gerekse pratik olarak pek çok kez çalışılmıştır. Ancak günümüz rekabetçi koşullarında üretim karlılığının korunması için teslim tarihi, çizelgeleme ve proses planları bütünlük çalışmalıdır.

Günümüzde proses planlama CAPP ile yapılmakta ve burada yer alan alternatif rotaların varlığı problemi zorlaştırmaktadır. Usher [30] çizelgeleme ile proses planlamayı bütünlük çalışmış, alternatif proses planlarının çizelgeleme ve diğer atölye performanslarına etkisini araştırarak benzetimle en uygun proses plan sayısını bulmayı amaçlamıştır. Lim ve Zhang [31] çalışmalarında proses planlamayla çizelgelemeyi bütünlük alan çoklu-etmen yapısı önermişlerdir. Bu yöntemde önerilen dağıtık yapay zeka sistemi otonom etmenlerden oluşmuş, etkileşim içinde bir yapıdır.

Bütünlük proses planlama ve çizelgeme (IPPS) konusunda yapılan çalışmaları Tan ve Khosnevis [32] literatür taramalarında sunmuştur. Teslim tarihlerinin entegre edildiği yaklaşımlar ise henüz çok azdır. Weintraub ve diğ. [33] atölye ortamında alternatif rotalarda iş çizelgeleme problemi için prosedür önermiş, Zalzala [34] ise proses planlama ve çizelgelemeye erken ve geç tamamlanmalardan oluşacak maliyetleri de katarak genetik algoritmaya dayanan bir yöntem geliştirmişlerdir. Demir H. İ. [2] yaptığı çalışmada bu üç üretim fonksiyonunu birlikte ele alarak çeşitli teslim tarihi kuralı belirleme, rota kısıtları ve çizelgeleme kuralları ile bütünlük bir yaklaşım sunmuştur.

Tezde ise bu yaklaşımların ötesinde teslim tarihi kurallarının proses planlama ve çizelgelemeyle nasıl entegre edilebileceği ve nasıl iyileştirme sağlanabileceği üzerinde durulmuştur. Bu nedenle teslim tarihinin rassal olduğu ve teslim tarihi

belirleme kurallarının kullanıldığı bütünleşik problemler çözülmüştür. Teslim tarihi belirlemenin nasıl bir iyileşme sağlayabileceğinin anlaşılması için teslim tarihi belirleme kuralları bölüm 4.1’de açıklanmıştır.

4.1 Teslim Tarihi Belirleme

Teslim tarihi belirleme müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyen önemli bir süreçtir. JIT anlayışının gelişmesiyle teslim tarihlerinin karşılanması önemi daha da artmıştır. Bitmiş ürünlerin stoklarda bekletilmesi de zamanında bitirilemeyen işler gibi önemli maliyetlere yol açabilmektedir. Tezde kullanılan teslim tarihi belirleme kuralları, d_j işinin teslim tarihini göstermek üzere aşağıda verilmiştir.

Ortak teslim tarihi belirleme (CON), d_j 'in tüm işler için sabit olduğu durumlardır ($d_j=d$). Aylak süreli teslim tarihi belirleme (SLK), toplam iş süresine belirli bir sabitin (q) eklenmesiyle elde edilir. Tezde de farklı sabit değerler kullanılarak d_j 'lere eklenmiş ve daha iyi çözümlere olanak sağlanmıştır. Toplam işe dayalı teslim tarihi belirleme (TWK) ise sabitlerin (k) işlem süreleri ile toplanması yerine çarpılmasına dayanır. Toplam işe ve aylak süreye dayalı teslim tarihi belirleme (PPW) ise TWK ve SLK'nın kompoziti olup $d_j=kp_j+q$ şeklinde ifade edilebilir. Operasyon sayısına bağlı teslim tarihleri (NOP) ise işlerin operasyon sayılarına bağlı olarak $d_j=kn_j$ ile bulunur. Rassal teslim tarihi belirleme (RDM) belirli bir istatistiksel dağılıma uygun teslim tarihleri üretir ve tezde normal dağılımda ortalaması işlem sürelerinin ortalamasının üç katı ve varyansı işlem sürelerinin ortalamasının yarısı olarak alınmıştır.

4.2. Teslim Tarihi Sabit / Bütünleşik IPPS Problemi Yapısı, Amaç Fonksiyonu, Çözüm Teknikleri

Tezde bir önceki bölümde anlatılan teslim tarihi belirlemenin IPPS'e nasıl ve ne kadar fayda sağladığı araştırılmıştır. Teslim tarihi belirlemenin etkisinin anlaşılabilmesi için ortak (aynı) atölye ortamları, amaç fonksiyonu, çözüm yöntemleri ve bu yöntemlere ait aynı parametreler kullanılmıştır.

Bu bölümde öncelikle kullanılan ortak atölye özellikleri ve bu ortamlara ilişkin varsayımlar, amaç fonksiyonu, kullanılan çözüm teknikleri açıklanacaktır.

4.2.1 Ortak atölye özellikleri ve varsayımlar

Tezde atölye tipi ortam için m makinadan oluşan statik bir atölye seçilmiştir. Her makine farklı işlerin farklı operasyonlarını yapabilecek şekildedir ve aynı anda birden fazla operasyon gerçekleştirememektedirler. n adet işin başlangıçta hazır olduğu ($r_j=0$) ve her bir işin R tane rotaya sahip olduğu, işlerin maksimum Q tane operasyon gördüğü varsayılmıştır. Farklı rotaların seçilebilmesi çizelgelemenin esnekliğini artırmaktadır.

Tezde IPSS ve teslim tarihi belirleme eş zamanlı da çalışıldığı için bu üç faktörü içerecek bir yöntem olan ve analitik yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda verimli sonuçlar üretebilen genetik algoritma yaklaşımı uygun görülmüştür. Genetik algoritma dışında sıradan, rassal ve hibrid yöntemler de kullanılmıştır. Genetik operatörlerin seçimi ile ilgili bilgiler Bölüm 4.2.3’de verilmiştir.

Tezde üç tip statik atölye kullanılmış ve bu atölyeler için teslim tarihi belirlemenin IPSS’e ne kadar fayda sağlayacağı araştırılmıştır. Küçük, orta ve büyük olarak seçilen bu atölyeler sayesinde teslim tarihi bütünlük yaklaşımının etkisi daha iyi anlaşılacaktır. Her atölye ortamına ait özellikler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Atölye Özellikleri

| Atölye Özellikleri | KÜÇÜK | ORTA | BÜYÜK |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| Makina sayısı | 20 | 30 | 40 |
| İş sayısı | 50 | 100 | 200 |
| Rota sayısı | 5 | 5 | 3 |
| Operasyon süresi | $10+3 z $ | $10+3 z $ | $10+3 z $ |
| Operasyon/iş sayısı | 10 | 10 | 10 |

Tablo 4.1'e göre verilen makina, iş ve rota sayıları atölyelerin genel özelliklerini yansıtabilecek şekilde belirlenmiştir. Küçük, orta ve büyük atölyelerde makina başına düşen ortalama iş sayısı 2.5, 3.33 ve 5'dir. Operasyon süreleri dakika olarak alınmış ve rassal değişken kullanılarak belirlenmiştir. Operasyon süreleri makinaların özdeş olmasından dolayı çok büyük farklılık yaratmayacak şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. İş başına düşen operasyon sayısı ise her atölye için 10 alınmıştır.

Atölye ortamında her işin farklı rotalarda farklı makinalarca yapılabileceği göz önüne alınarak her işin operasyonları için gereken makina sayısı m makina arasından eşit olasılığa sahip olacak şekilde seçilmiştir. Örneğin 20 makine için bu olasılık en yüksektir. Programlamada kolaylık sağlaması için makina sayıları 0-19 küçük, 0-29 orta ve 0-39 büyük atölye için olmak üzere kullanılmıştır. Örneğin küçük atölyede makinalarda için 0 ilk makinayı gösterirken 19 son makinayı göstermektedir.

4.2.2 Amaç fonksiyonu

Tezde kuadratik amaç fonksiyonu minimize edilmeye çalışılmış ve bu amaç fonksiyonunun parametrelerinden olan teslim tarihinin IPPS ile entegrasyonun faydaları anlaşılmaya çalışılmıştır.

Kullanılan amaç fonksiyonu hem erken hem de pozitif gecikmeyi önemlerine göre cezalandırarak, pozitif gecikmenin olduğu durumlarda ek bir gecikme sabit maliyeti eklemiştir. Bu fonksiyon aşağıda verilmiştir.

$$z_1 = \sum_{j=1}^n \left[W_j \left(s_j + (\Delta T_j)^2 + \Delta E_j \right) \right] \text{ kuadratik fonksiyonu} \quad (4.1)$$

Formül 4.1’de;

$j = 1, \dots, n$: iş sayısı

$W_j = nw_j$: düzeltilmiş ağırlık

n iş sayısı, w_j işlerin temel ağırlıkları olmak üzere

$$s_j = \begin{cases} s_j & \text{eğer } \Delta T_j > 0 \\ 0 & \text{değilse} \end{cases}$$

ΔT_j : j işinin pozitif gecikmesi

ΔE_j : j işinin erken bitme süresi

Tezde teslim tarihi sabit ve teslim tarihinin entegre edildiği sistemlerin performanslarının karşılaştırılması yapılmış, teslim tarihi entegre IPSS’in daha verimli sonuçlar ürettiği gösterilmiştir.

Amaç fonksiyonu içinde geçen W_j j işinin göreceli ağırlığını ifade eder. İşlerin temel ağırlıkları rassal sayılar üretilerek oluşturulmuş ve bunların göreceli ağırlıkları hesaplanmıştır. c_j j işinin gecikmesi durumunda oluşacak sabit maliyettir ve 20 birim/gün alınmıştır.

4.2.3 Çözüm teknikleri

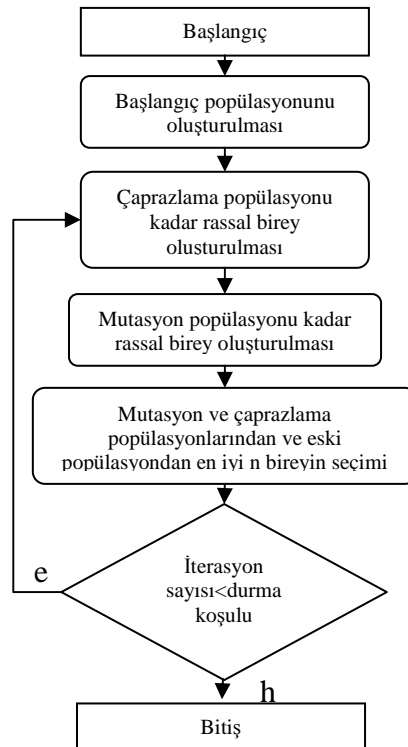
Tezde başlangıç olarak üç temel çözüm tekniği kullanılmıştır. Gerek sabit teslim tarihli gerekse teslim tarihi entegre sistemler için kullanılan bu yöntemlerde rassal aramayla genetik algoritmanın karışımı olan hibrid arama yöntemi de ayrıca kullanılmıştır. Kullanılan çözüm teknikleri aşağıda verilmiştir:

- Sıradan (rassal) çözüm tekniği
- Rassal arama tekniği
- Genetik algoritmaya dayalı arama tekniği
- Hibrid arama tekniği

Teslim tarihi sabit ve bütünleşik IPPS çözümlerinin en nesnel şekilde karşılaştırılabilmesi için aynı ağırlıktaki işler, aynı popülasyonlar, aynı rassal sayı üretici (seed) ve aynı atölye ortamları kullanılmıştır. Rassal sayı üretici olarak seed = 1105 kullanılmıştır. Çözüm tekniklerinden önce bu tekniklere ait bazı ifadelerin hatırlatılması yararlı olacaktır. Örneğin birey ve kromozom olurlu bir çözümü ifade etmektedir. Popülasyon çözüm uzayındaki çözüm kümesini, tesadüfi değişkenler belirli kurallara göre üretilmiş rassal sayıları, iterasyon çözüm adımını ifade eder.

Sıradan çözümde birey sayısı 10 olarak belirlenen bir popülasyonun performans değerlerinin ortalaması çözüm olarak alınmıştır. Rassal aramada popülasyonlar rassal üretilen teslim tarihi, rota ve gönderme kurallarına göre oluşturulmuştur. En iyiden en kötüye sıralanan performans değerleri kaydedilmiş, belirlenmiş iterasyon sayısına kadar bu şekilde aramalar devam ettirilmiştir. Rassal arama akış şeması Şekil 4.1'de verilmiştir.

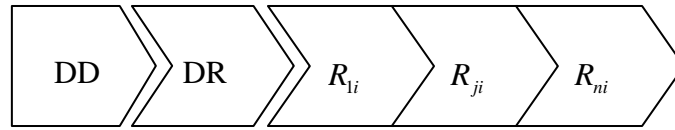
Rassal aramada, çaprazlama ve mutasyon popülasyonu kadar birey üretilmesi genetik algortmada da bu popülasyon büyüklüklerinin kullanılmasından dolayıdır. Böylece aynı popülasyon büyüklükleri üzerinde yapılan karşılaştırmalar daha kabul edilebilir olacaktır.



Şekil 4.1. Rassal Arama Tekniği

Genetik algoritmaya dayalı arama ise gelişimsel bir yaklaşımdır ve performans değerlerinin sürekli iyileştirilmesini temel alır. Bu nedenle rassal arama yönlendirilmemiş bir arama iken genetik algoritmaya dayanan arama ise yönlendirilmiş aramadır. Genetik algoritmayla ilgili detaylı bilgi Bölüm 3.3.2’de verilmiştir. Bu algoritmanın akış şeması da yine aynı bölümde verilmiştir (Bkz. Şekil 3.3). Çözümler kromozomlar şeklinde ifade edilmiş, teslim tarihi belirleme kuralları, gönderme kuralları ve iş rotaları bütünleşik olarak ifade edilmiştir.

Tezde teslim tarihi ile IPPS entegre olarak da çalışıldığı için bir kromozom teslim tarihi, gönderme kuralı ve rota bilgilerini içerecek şekilde gösterilmiştir. Buna göre bir kromozomda sırasıyla teslim tarihi belirleme metoduna ait bilgiler, gönderme kuralları ve işlerin rota bilgileri yer almıştır. Şekil 4.2’de tezde kullanılan kromozom yapısı verilmiştir.



Şekil 4.2. Kromozom Yapısı

Şekil 4.2 açıklanacak olursa;

- DD: Teslim tarihi belirleme kuralı,
- DR: Gönderme kuralı,
- R_{ji} : j işinin i. rotasıdır ($j=1,2,\dots,n$ ve $i=1,2,\dots,m$).

n işten oluşan bir kromozom için toplam gen sayısı $n+2$ 'dir. Tezde karşılaştırılması yapılan sabit teslim tarihli ve entegre sistemlerde fark teslim tarihi belirleme kurallarıdır. Bölüm 4.1’de de bahsedildiği üzere toplam 6 adet teslim tarihi belirleme kuralı mevcuttur. Bunlardan CON hariç diğer beş kurala ait TWK için 3, SLK için 3, PPW için 9, NOP için 3, RDM içinse 1 kural kullanılmıştır. Her kurala ait (CON,

TWK, SLK, PPW, NOP ve RDM) kurallar problem çözümüne ait en iyi teslim tarihi kurallarını belirlemektedir.

Teslim tarihleri karar değişkenleri olup her işin hazır zamanı 0 olarak alındığında $d_j = a_j + r_j = a_j$ eşitliği yazılabilir. Burada a_j müşteriye sunulan söz verilmiş teslim tarihini belirtir [35].

Tezde teslim tarihi belirleme için kullanılan her bir kural k_i ($i=0, \dots, 18$) ile gösterilmek üzere açıklanacak olursa;

- TWK için $k_0=1, k_1=2, k_2=3$ kullanılarak proses süreleri ile çarpılır:

$$d_j = kp_j \quad j=1..n \quad \forall k \text{ için } (k=1,2,3) \quad (4.2)$$

- SLK için sabit olarak $k_3=0.5P_{av}, k_4= P_{av}, k_5=1.5P_{av}$; P_{av} ortalama işlem süresi olmak üzere işlem süreleriyle toplanır:

$$d_j = (k + p_j) \quad j=1..n \quad \forall k \text{ için } (k = k_3, k_4, k_5) \quad (4.3)$$

- PPW için sabit olarak 1,2 ve 3; çarpan olarak 0.5,1 ve 1.5 kullanılarak $k_6=1+0.5P_{av}, k_7=2+0.5P_{av}, k_8=3+0.5P_{av}, k_9=1+P_{av}, k_{10}=2+P_{av}, k_{11}=3+P_{av}, k_{12}=1+1.5P_{av}, k_{13}=2+1.5P_{av}, k_{14}=3+1.5P_{av}$, değerleri ile teslim tarihleri bulunur:

$$d_j = q_j + p_j k \quad j=1..n \quad \forall k \text{ için} \quad (k = k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8, k_9, k_{10}, k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}) \quad (4.4)$$

- NOP için çarpan olarak 1,2 ve 3 kullanılmış $m=10$ için $k_{15}=m, k_{16}=2m, k_{17}=3m$ kuralları elde edilmiş, teslim tarihleri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

$$d_j = km \quad m=10 \text{ olmak üzere, } \forall k \text{ için } (k=1,2,3) \quad (4.5)$$

- RDM içinse herhangi bir teslim tarihi kuralı uygulanmayarak tamamen rassal teslim tarihleri elde edilmiştir. Bu tarihlerin kuralı ise k_{18} ile gösterilmiştir.

Yukarıdaki kurallardan TWK'ya ait 0.,1.,2.; SLK'ya ait 3.,4.,5.; PPW'ye ait 6.,7.,8.,9.,10.,11.,12.,13.,14.; NOP'ye ait 15.,16.,17.; RDM'ye ait 18. kurallar olmak üzere toplam 19 kural üretilmiştir.

Kromozomların ikinci geni olan gönderme kuralları için Bölüm 3.4'de anlatılan temel ve dinamik gönderme kurallarından oluşan sekiz metot kullanılmıştır. Ancak en yüksek maliyetli işleri önce çizelgeleyen ATC kuralı için üç farklı metot kullanılmıştır. Bu kurallar ATC için formül F 4.6'da verilenler neticesinde aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

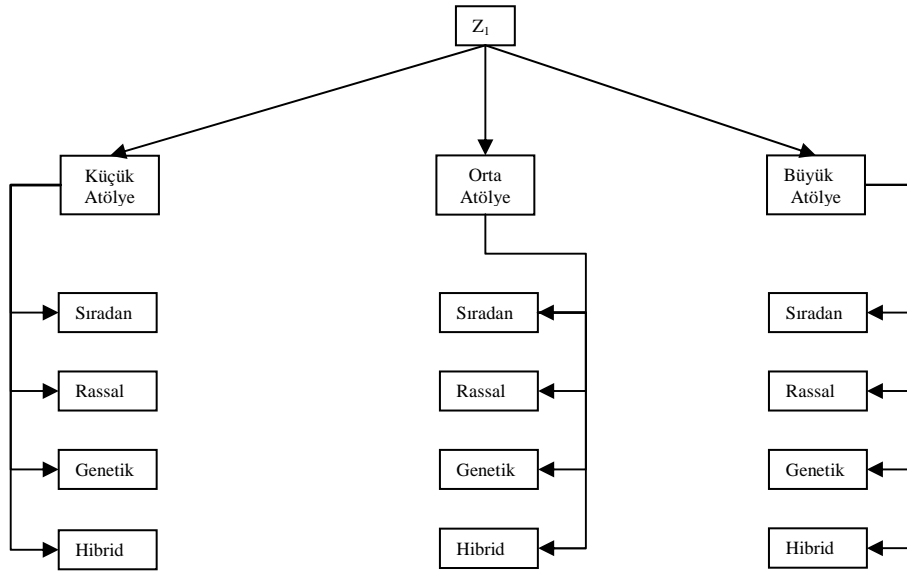
$$I_j(t) = \frac{w_j}{p_j} e^{\left(\frac{-(\max(d_j - p_j - t, 0))}{kp_{av}} \right)} \quad \forall k \text{ için } (k=1,2,3) \quad (4.6)$$

Böylece ATC için 0.,1.,2.; MS için 3.; WSPT için 4.; SPT için 5.; LPT için 6.; WSOT için 7.; SOT için 8.; EDD için 9.; ERD için 10. ve SIRO için 11. kurallar kullanılmıştır.

Şekil 4.2'de gösterilen kromozomun üçüncü geni olan işlerin rotaları ise R_{ji} ile ifade edilmiştir. Örneğin 5. işin rotası R_{j5} ile gösterilebilir. n işten oluşan bir kromozomun yapısında ilk iki gen teslim tarihi belirleme kuralları ve gönderme kuralları olduğundan toplam $n+2$ genlik bir kromozom elde edilmiş olunacaktır. Her bir işin farklı sayıda alternatif rotası mevcuttur. Örneğin küçük ve orta ölçekli atölyede her işin 5, büyük ölçekli atölyede ise her işin 3 farklı rotası vardır.

Çizelgeleme ortamının atölye tipi olması, kuadratik amaç fonksiyonunun kullanılması (z_1), üç tip atölye ortamı kullanılması (küçük, orta, büyük) ve arama yöntemlerinin birden fazla olması (sıradan, rassal, genetik, hibrid) nedeniyle problemin yapısı oldukça karmaşıktır. Bu nedenle sabit teslim tarihli/değişken teslim tarihli/entegre

teslim tarihli IPPS'in anlaşılabilmesi için problem yapısı Şekil 4.3'de gösterilmeye çalışılmıştır.



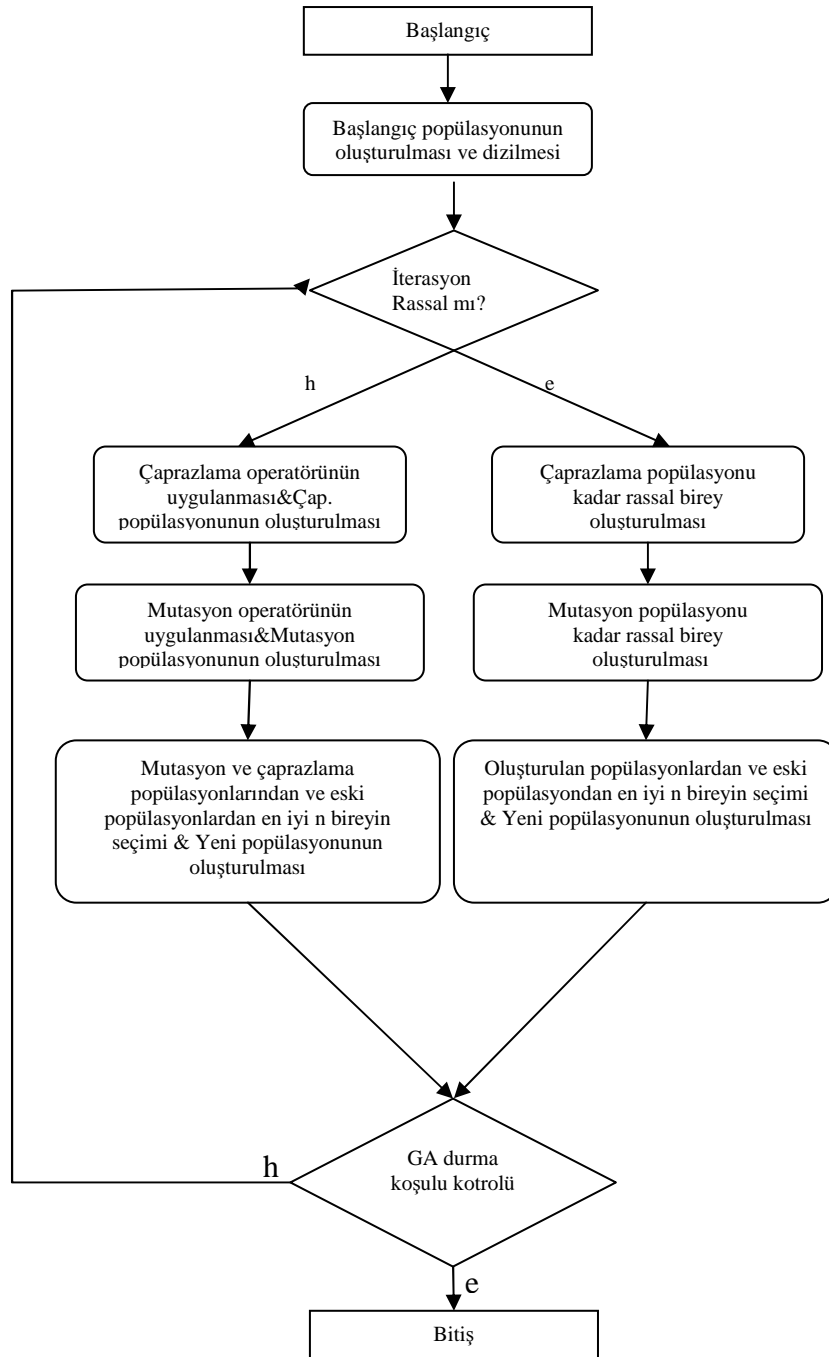
Şekil 4.3. Problem Genel Yapısı

Şekil 4.3'den de anlaşılacağı üzere tezde dört tip çözüm tekniği de kullanılmıştır. Yapılan çalışmada hibrid yöntemlerin faydasının daha çok olduğu görülmüş, aynı zamanda entegre bir sistemin sabit teslim tarihli sistemden daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Aşağıda Şekil 4.4'de hibrid arama yönteminin akış şeması verilmiştir.

Hibrid yöntem başlangıçta rassal aramayla geniş bir çözüm uzayı üzerinde arama yapar ve sonrasında genetik algoritmanın gelişimsel sürecini kullanarak performans göstergelerinin (kromozomların) sürekli iyileştirilmesini sağlar.

Ancak tezin amacı yalnızca arama yöntemlerin faydasını açıklamak değil aynı zamanda teslim tarihi entegre bir IPPS sisteminin diğer sistemlerden daha iyi olduğunu ortaya koymaktır.

Hibrid arama genetik algoritma ve rassal aramanın üstün yönlerini kullanarak daha iyi çözümler elde etmeyi amaçlar.



Şekil 4.4. Hibrid arama yöntemi akış şeması

Genetik algoritma ve hibrid yöntemde kullanılan kodlama için parametreler şöyledir:

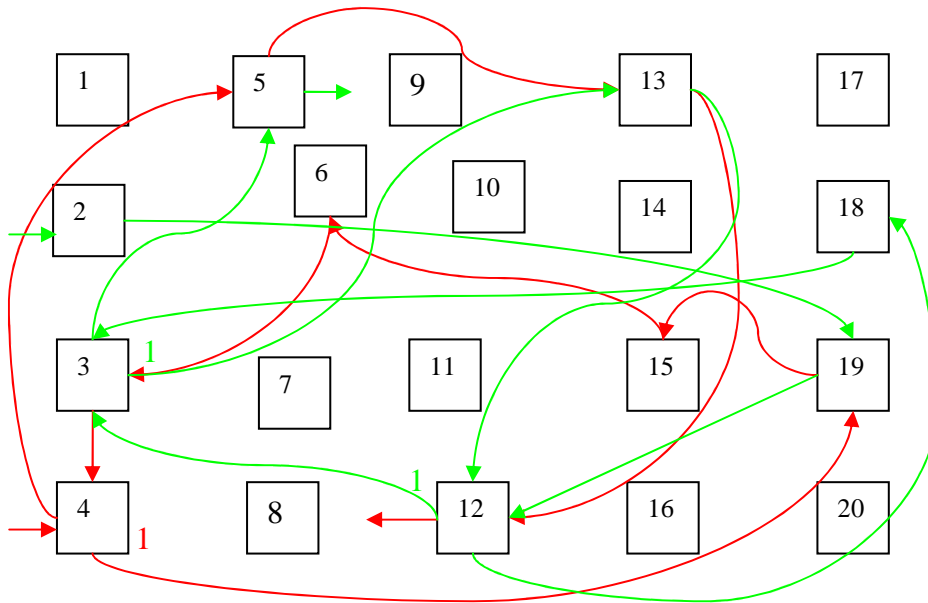
- 10 kromozomluk populasyon büyüklüğü seçilmiştir.
- Kodlamada karışık kodlama tekniği uygulanmıştır.
- Yeni popülasyona seçilecek kromozomların seçim operatörü özellikleri:
 - Kromozomların seçimleri rulet tekerleği yöntemine göre iyi performanslı kromozomların seçim olasılıkları daha fazla olacak şekilde yapılmıştır.
- Çaprazlama operatörü özellikleri:
 - Çaprazlanacak kromozomlar için kromozomların %80'inin seçilmesinin uygun olacağı düşünülmüştür.
 - Çaprazlama noktaları için çok noktalı çaprazlama yöntemi seçilmiştir, n işten oluşan bir kromozomda n-1 çaprazlama noktası vardır ve küçük atölye için 5, orta büyüklükteki atölye için 8 ve büyük atölye için 10 nokta seçilmiştir.
 - Teslim tarihi-gönderme kuralı ve gönderme kuralı-rota arası çaprazlama olasılıkları diğer genlere göre daha yüksektir.
- Mutasyon operatörü özellikleri:
 - Mutasyon için kromozomların %50'sinin seçilmesine karar verilmiştir.
 - Mutasyon için keyfi iki iş rotasının seçimi yöntemi uygulanmıştır. Bu nedenle n işten oluşan n+2 genlik bir kromozomun n+2 adet mutasyon noktası mevcuttur. Küçük, orta ve büyük atölyeler için mutasyona uğrıtılacak gen sayıları sırasıyla 10,20 ve 30'dur.

Sabit teslim tarihli IPPS ve esnek teslim tarihli entegre IPPS Bölüm 4.3'de ve Bölüm 4.4'de sırasıyla açıklanmış, sonraki bölümlerde ise bütünleşik teslim tarihli entegre IPPS ile değişken teslim tarihli IPPS ve sabit teslim tarihli IPPS arasındaki farklar gösterilmiştir.

4.2.4 Programlama yapısı

C++ dilinde kromozomların gösterimi, işler, teslim tarihi belirleme kuralları, gönderme kuralları, rotalar, operasyon süreleri oldukça karmaşık bir kodlama gerektirmektedir. Örneğin her işin alternatif rotalarındaki makine sırası farklı ve makinaların o işlere ait operasyonları tamamlama süreleri farklıdır. Şekil 5.4 için seçilen n. kromozomun ilk geni 18, teslim tarihi belirleme kuralını, ikinci geni 11 gönderme kuralını, diğer genlerse her bir işin rotasını göstermektedir.

18 11 4 0 4 4 3 3 2 4 0 0 1 2 1 1 0 2 2 1 1 4 2 3 2 2 1 1 3 0 2 1 1 3 4 2 2 4 0 4 3 1 2 3 3 4 1 1 3 3 2 4 kromozomunda gösterilen elli işten her birinin her bir rotasında bulunan makinalar da farklıdır. Bu durumda örneğin n. kromozomun 3. geninde belirtilen 5. rotada 10 iş için sırasıyla 4 19 15 6 3 4 5 5 13 12 makinaları bulunabilmektedir. Bu makinaların operasyon süreleri de sırasıyla 12 13 11 10 13 12 11 11 13 12 dakikadır. i işine ait R_{ir} rotasının da sırasıyla 2 19 8 12 18 3 13 12 3 5 makinalarından oluştuğu düşünülürse bu karışık atölye ortamı Şekil 4.5'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 4.5. Küçük atölyede 2 işe ait, 10 operasyon ve 10 makina için bir rota

Teslim tarihi belirleme ve gönderme kurallarının performans göstergeleri üzerinde daha büyük etkiye sahip olması nedeniyle çaprazlamaya seçilecek %80'lik popülasyondan ilk iki genin seçilme olasılıkları rotaları gösteren diğer genlere göre daha yüksek seçilmiştir. İlk iki gen için 0.145 ve diğer genler için 0.014 olasılıkları seçilmiştir. Ancak çaprazlama noktalarının seçim olasılığı ve mutasyon noktalarının seçim olasılığı bütünleşik teslim tarihli IPPS için farklı, teslim tarihi sabit ve teslim tarihi kuralı sabit IPPS için farklıdır.

C++ kodlamasında bu hususlar dikkate alınarak hesaplanan performans değerleri, bu değerleri veren teslim tarihi belirleme kuralları, gönderme kuralları ve rotalara ait daha detaylı bilgi sonraki kısımlarda açıklanacaktır.

4.3 Teslim Tarihi Sabit IPPS

Bu bölümde genel olarak sunulan problem yapısının teslim tarihi bütünleşik olmadığı durumdaki çözümü verilmiştir. Teslim tarihi sabit IPPS'in genel probleminden ayırt edici özellikleri ve yapılan deneylerin sonuçları sırasıyla verilmiştir.

4.3.1 Teslim tarihi sabit IPPS'in yapısı, özellikleri

Teslim tarihi belirleme çizelgelemede giderek önem kazanan bir konu haline gelmiştir. Teslim tarihi belirleme çizelgeleme performansı üzerinde büyük etkiye sahiptir ve bu nedenle önemlidir. İlk kez Conway [36] farklı performans göstergelerine etki eden farklı teslim tarihi belirleme yöntemleri üzerine çalışmıştır.

Teslim tarihi belirleme bir karar verme sürecidir. Sabit teslim tarihli IPPS'de her bir işe ait teslim tarihi d_j dışsal olarak belirlenmektedir. Bu nedenle sabit teslim tarihli problemde teslim tarihi belirleme kuralı olarak Bölüm 4.1'de anlatılan RDM kuralı kullanılmış, Bölüm 4.3.2'deki k_{18} kuralına göre tarihler belirlenmiştir. Bu kurala göre teslim tarihinin belirlenmesi tamamen rassal olarak yapılır.

Teslim tarihi belirleme kuralı olan RDM yöntemiyle sabit teslim tarihlerine göre proses planlama ve çizelgeleme yapılır. Teslim tarihleri sabit problemlerde kromozoma ait ilk gen olan teslim tarihi geni – DD, hiçbir şekilde çaprazlama ve mutasyon operatörlerince işlem görmemektedir. Bu durumda teslim tarihleri çizelgeleme ve proses planlamadan ayrı olarak belirlenmiş olmaktadır.

4.3.2 Teslim tarihi sabit IPPS deney sonuçları

Bölüm 4.2.3’de anlatıldığı üzere problem dört farklı çözüm tekniği ile çözülmüştür. Dört farklı teknik kullanılarak arama tekniklerinin faydaları gösterilmeye çalışılmış ve değişik arama teknikleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Böylece arama teknikleri arasından en iyi sonucu veren teknik bulunmuş olacaktır.

Bu bölümde sırasıyla teslim tarihi (DD) sabit küçük, orta ve büyük atölyeler için (Bkz. Tablo 4.1) sıradan, rassal, genetik ve hibrid arama yöntemleri sonuçları verilmiştir. Küçük atölye için sıradan arama yönteminde elde edilen program çıktıları örnek olarak Tablo 4.2’de verilmiştir. Bulunan sonuçlar aynı rassal sayı üretici kullanıldığından rassal, genetik ve hibrid yöntemde bulunan ilk popülasyonlarla aynı değerleri taşımaktadır. Sonuçlar performans değerlerine göre iyiden kötüye sıralanmıştır.

Tablo 4.2. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, sıradan çözüm (DD sabit)

| Performans olcusune gore dizilmis populasyon | |
|---|---|
| PERF | DD DR J0---->Diger isler |
| Row 0: | 3.20 18 3 43444200333243303301314342223234023103112420312103 |
| Row 1: | 36.83 18 6 41132114212402003413140320203122224414143200441200 |
| Row 2: | 59.26 18 9 43412442143021103204411113300323203113121412410031 |
| Row 3: | 82.14 18 8 11320301222140203400031012000404401432113314344202 |
| Row 4: | 95.01 18 9 24314310023102431004001133434410111344132332413043 |
| Row 5: | 102.68 18 6 02001233442102240243302231210040210111123004330124 |
| Row 6: | 158.52 18 11 24344004134233203120244444243022323033202032242034 |
| Row 7: | 222.15 18 11 20044233012011401134341434330322333321023441010441 |
| Row 8: | 233.64 18 11 40443324001211022114232211302113422404312334113324 |
| Row 9: | 322.32 18 6 21311042042322101102041200141021222233044313211033 |
| En iyi : 3.20 Ortalama :131.57 En kotu : 322.32 | |

Tablo 4.2’de en iyi değer 3.2 ve en kötü değer 322.32 olup, tüm kromozomlar için DD kuralı k_{18} – RDM kullanılmıştır. En iyi kromozom için gönderme kuralı 3 (MS) olarak bulunmuş, 50 işten her işin rotası üçüncü genden itibaren verilmiştir. Sıradan çözüm için 10 kromozomluk popülasyonun ortalama performans değeri alınmıştır, böylece küçük atölye için sıradan bir arama ile 131.57 elde edilmesi beklenmektedir.

Küçük atölye için rassal arama yönteminde başlangıç popülasyonu olan ve Tablo 4.2’de verilen popülasyondan 200 iterasyon sonrasında Tablo 4.3 değerleri elde edilmiştir.

Elde edilen rassal arama sonuçlarına göre en iyi performans değeri 2.3 olarak gerçekteşirken, bu değeri veren gönderme kuralı 6 (LPT), teslim tarihi belirleme kuralı ise 18’dir. Sonuçlardan da görülebileceği gibi teslim tarihi belirleme kuralı yine sabit olarak k_{18} kuralıdır.

Tablo 4.3. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, rassal arama (DD sabit)

| Iterasyon 200 | |
|--|---|
| PERF | DD DR J0---->Diğer isler |
| Row 0: | 2.30 18 6 3 1 4 1 0 3 0 1 2 0 2 3 4 4 1 3 4 1 3 2 2 0 4 1 4 3 1 0 2 2 4 0 3 1 4 2 0 0 0 3 2 0 1 1 3 0 4 0 0 3 |
| Row 1: | 2.68 18 3 2 0 3 4 0 4 1 3 4 4 3 1 0 3 0 1 3 0 4 1 2 3 1 2 1 4 1 0 2 4 1 3 2 1 3 2 1 0 3 0 4 0 4 3 2 2 4 0 0 2 |
| Row 2: | 2.76 18 2 4 2 2 1 4 0 4 0 0 0 4 4 0 1 2 4 4 4 2 3 4 2 0 4 1 3 0 3 2 0 2 0 3 2 1 0 3 0 4 1 4 4 1 1 4 1 4 3 0 2 |
| Row 3: | 2.78 18 0 1 2 4 3 1 0 4 4 2 1 4 0 3 3 3 1 3 4 0 2 2 0 1 4 3 2 0 1 2 4 4 4 0 4 0 0 2 4 0 2 1 4 0 0 2 2 3 4 1 4 |
| Row 4: | 2.79 18 0 3 1 1 0 0 4 3 3 1 0 4 3 0 4 0 2 1 2 1 4 3 4 4 0 3 3 0 4 4 1 0 1 3 1 3 1 1 4 0 0 4 0 4 2 0 1 1 1 3 3 |
| Row 5: | 2.81 18 1 1 0 4 3 0 0 2 3 3 3 2 2 1 1 3 4 4 0 3 3 1 1 2 3 0 3 3 4 1 2 2 4 4 1 4 2 4 2 3 4 1 4 0 3 1 3 0 2 3 3 |
| Row 6: | 2.82 18 0 1 3 1 4 4 3 1 3 1 0 1 3 3 4 4 3 4 2 2 4 4 2 3 4 4 4 3 0 2 1 1 1 2 1 4 0 3 0 0 1 0 3 0 4 0 0 0 4 1 3 |
| Row 7: | 2.83 18 0 2 3 3 2 4 3 1 0 0 1 3 1 4 1 0 2 4 1 3 0 4 4 2 1 2 2 1 0 3 3 0 4 2 3 1 0 2 1 0 2 3 2 1 2 4 0 1 3 4 1 |
| Row 8: | 2.84 18 1 0 3 0 0 4 4 2 0 1 3 4 0 1 2 0 1 4 2 2 1 0 2 0 1 4 1 1 3 2 0 2 1 4 0 2 4 3 4 0 1 3 4 2 3 1 2 3 2 3 0 |
| Row 9: | 2.84 18 3 3 1 3 1 1 1 1 4 4 3 2 2 1 3 3 4 3 4 0 0 2 2 1 1 4 4 0 4 2 0 1 2 0 1 4 1 4 1 3 4 1 3 1 4 2 0 0 0 4 3 |
| En iyi : 2.30 Ortalama : 2.75 En kötü : 2.84 | |
| Program durmadan önce en son iterasyon 200 uygulandı | |

Küçük atölye için genetik arama yöntemi sıradan çözümle aynı başlangıç popülasyonunu kullanmaktadır, ancak bu yöntemin gelişimsel olması nedeniyle sıradan yaklaşıma göre daha iyi sonuç vermesi beklenmektedir.

Genetik arama yöntemine ait sonuçlar Tablo 4.4’de verilmiştir, görülebileceği gibi en iyi gönderme kuralı 3. kural (MS) olurken, ortalama performans göstergesi 2.03’e kadar iyileşmiştir.

Tablo 4.4. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, genetik arama (DD sabit)

| Iterasyon 200 | |
|--|---|
| PERF | DD DR J0---->Diger isler |
| Row 0 : | 1.95 18 3 4 1 4 4 4 0 0 4 2 3 3 2 3 3 3 3 3 3 3 0 4 0 3 1 0 3 2 4 0 4 4 1 0 0 2 3 1 0 3 0 2 2 4 2 0 3 1 0 1 0 3 |
| Row 1 : | 1.95 18 3 4 1 4 4 4 4 2 4 2 3 3 2 3 3 3 3 3 3 3 0 4 0 3 1 0 3 2 4 0 4 4 1 0 0 2 3 1 0 3 0 2 2 4 2 0 3 1 0 0 0 3 |
| Row 2 : | 1.99 18 3 4 1 4 4 4 4 2 4 2 3 3 2 3 3 3 3 3 3 3 0 4 0 3 1 0 3 2 4 0 4 4 1 0 0 2 3 1 0 3 0 2 2 4 2 0 3 1 0 1 0 3 |
| Row 3 : | 2.03 18 3 3 4 4 4 4 0 0 4 2 3 3 2 3 3 3 3 3 3 3 0 4 0 3 1 0 3 2 4 0 4 4 1 0 0 2 3 1 0 3 0 2 2 4 2 0 3 1 0 1 0 3 |
| Row 4 : | 2.03 18 3 4 1 4 4 4 0 0 4 2 3 3 2 3 3 3 3 3 3 3 0 4 0 3 1 0 3 2 4 3 4 4 1 0 0 2 3 1 0 3 0 2 2 4 2 0 3 1 0 1 0 3 |
| Row 5 : | 2.04 18 3 4 4 4 4 4 4 2 4 2 3 3 2 3 3 3 3 3 3 3 0 4 0 3 1 0 3 2 4 0 4 4 1 0 0 2 3 1 0 3 0 2 2 4 2 0 3 1 0 0 0 3 |
| Row 6 : | 2.07 18 3 3 4 4 4 4 0 0 4 2 3 3 2 3 3 3 3 3 3 3 0 4 0 3 1 0 3 2 4 3 4 4 1 0 0 2 3 1 0 3 0 2 2 4 2 0 3 1 0 1 0 3 |
| Row 7 : | 2.07 18 3 4 4 4 4 4 4 2 4 2 3 3 2 3 3 3 3 3 3 3 0 4 0 3 1 0 3 2 4 0 4 4 1 0 0 2 3 1 0 3 0 2 2 4 2 0 3 1 0 1 0 3 |
| Row 8 : | 2.07 18 3 4 1 4 4 4 4 2 4 2 3 3 2 3 3 3 3 3 3 3 0 4 0 3 1 0 3 2 4 3 4 4 1 0 0 2 3 1 0 3 0 2 2 4 2 0 3 1 0 0 0 3 |
| Row 9 : | 2.08 18 3 3 4 4 4 4 0 0 4 2 3 3 2 3 3 3 3 3 3 3 0 4 0 3 1 0 3 2 4 0 4 4 1 0 0 2 3 1 0 3 0 2 2 4 2 0 3 1 0 0 0 3 |
| En iyi : 1.95 Ortalama : 2.03 En kotu : 2.08 | |
| Program durmadan önce en son Iterasyon 200 uygulandı | |

Küçük atölye için hibrid arama yönteminde ilk 20 adım rassal arama, kalan 180 arama ise genetik algoritma kullanılarak yapılmıştır. Rassal aramaya benzer şekilde sıradan çözümü başlangıç olarak alan ve yine rassal çözüm gibi ilk iterasyonlarını gerçekleştiren program sonraki adımlarında genetik algoritmayı kullanmıştır. Tablo 4.5’de hibrid arama yöntemi sonuçları verilmiştir. Tablo 4.5’de en iyi performans değeri 2.07 olarak bulunmuş, teslim tarihi belirleme kuralı k_{18} olarak sabit kalmış ve en iyi gönderme kuralı 3. kural olmuştur.

Tablo 4.5. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, hibrid arama (DD sabit)

| Iterasyon 200 | |
|--|---|
| PERF | DD DR J0---->Diger isler |
| Row 0 : | 2.07 18 3 1 2 4 4 1 0 4 4 2 1 3 0 3 3 3 1 3 4 0 2 2 4 1 4 3 2 0 1 4 3 2 3 0 2 2 4 2 1 2 1 2 4 0 2 0 2 1 3 0 4 |
| Row 1 : | 2.10 18 3 1 2 4 4 1 0 4 4 2 1 3 0 3 3 3 1 3 4 0 2 2 4 1 4 3 2 0 1 4 3 2 3 0 2 2 4 2 1 2 1 0 4 0 2 0 2 1 3 0 4 |
| Row 2 : | 2.11 18 0 1 2 4 4 1 0 4 4 2 1 3 0 3 3 3 1 3 4 0 2 2 4 1 4 3 2 0 1 4 3 2 3 0 2 2 4 2 4 2 1 0 4 0 2 0 2 1 3 0 4 |
| Row 3 : | 2.11 18 3 1 2 4 4 1 0 4 4 2 1 3 0 3 3 3 1 3 2 0 2 2 4 1 4 3 2 0 1 4 3 2 3 0 2 2 4 2 1 2 1 0 4 0 2 0 2 1 3 0 4 |
| Row 4 : | 2.12 18 3 1 2 4 4 1 0 4 4 2 1 3 0 3 3 3 1 3 2 0 2 2 4 1 4 3 2 0 1 4 3 2 3 0 2 2 4 2 1 2 1 2 4 0 2 0 2 1 3 0 4 |
| Row 5 : | 2.13 18 3 1 2 4 4 1 0 4 4 2 1 3 0 3 3 3 1 3 4 0 2 2 4 1 4 3 2 0 1 4 3 2 3 0 2 2 4 2 1 2 1 2 4 0 2 0 2 1 3 0 1 |
| Row 6 : | 2.13 18 3 1 2 4 4 1 0 4 4 2 1 3 0 3 3 3 1 3 2 0 2 2 4 1 4 3 2 0 1 4 3 2 3 0 2 2 4 2 4 2 1 0 4 0 2 0 2 1 3 0 4 |
| Row 7 : | 2.13 18 3 1 2 4 4 1 0 4 4 2 1 3 0 3 3 3 1 3 2 0 2 2 4 1 4 3 2 0 1 4 3 2 3 0 2 2 4 2 4 2 1 0 4 0 2 0 2 1 3 0 1 |
| Row 8 : | 2.13 18 0 1 2 4 3 1 0 4 4 2 1 3 0 3 3 3 1 3 4 0 2 2 4 1 4 3 2 0 1 4 3 2 3 0 2 2 4 2 4 2 1 0 4 0 2 0 2 1 3 0 1 |
| Row 9 : | 2.14 18 0 1 2 4 4 1 0 4 4 2 1 3 0 3 3 3 1 3 4 0 2 2 4 1 4 3 2 0 1 4 3 2 3 0 2 2 4 2 1 2 1 0 4 0 2 0 2 1 3 0 4 |
| En iyi : 2.07 Ortalama : 2.12 En kotu : 2.14 | |
| Program durmadan önce en son Iterasyon 200 uygulandı | |

Orta büyüklükteki atölye için kodlamada kullanılan parametreler Ek – 3’de verilmiştir. Tablo 6.4a,b,c,d ise arama yöntemlerine ait en iyi kromozomlar ve arama yöntemlerine ait en iyi, ortalama ve en kötü performans değerleri verilmiştir.

Tablo 4.6a. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, sıradan çözüm (DD sabit)

| |
|--|
| Performans olcusune gore dizilmis populasyon PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 895.30 18 2 1 0 0 1 4 1 4 0 4 2 0 3 2 1 3 2 1 1 3 4 4 0 1 2 0 3 0 1 1 1 4 4 1 2 1 3 2 0 0 1 0 1 0 1 2 1 0 0 2 4 3 3 1 2 3 2 3 4 3 4 3 1 3 4 2 3 4 3 0 0 3 3 0 0 1 4 3 1 3 4 2 1 4 3 2 3 4 0 2 3 1 4 3 4 3 4 1 3 0 1 En iyi :895.30 Ortalama :1202.77 En kotu :1661.90 |
|--|

Tablo 4.6b. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, rassal arama (DD sabit)

| |
|--|
| Iterasyon 80 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 511.55 18 2 3 1 0 4 0 3 2 0 0 2 3 0 0 2 3 4 1 4 0 3 1 2 4 2 4 1 3 2 4 0 4 2 2 2 4 4 3 4 1 0 1 0 1 2 3 0 1 1 2 0 3 0 4 4 2 4 2 0 2 1 1 2 1 3 4 0 2 1 1 3 4 1 0 3 2 2 2 0 0 1 0 2 4 2 1 4 4 1 4 2 4 1 1 2 2 0 4 3 2 2 En iyi :511.55 Ortalama :568.49 En kotu : 613.25 Program durmadan once en son Iterasyon 80 uygulandi |
|--|

Tablo 4.6c. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, genetik arama (DD sabit)

| |
|--|
| Iterasyon 80 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 267.16 18 2 0 4 3 3 0 3 4 0 4 2 0 3 2 1 3 2 3 0 0 1 3 2 1 2 0 3 4 1 1 1 1 3 3 0 0 2 2 2 1 0 3 4 4 2 1 2 0 4 4 3 4 1 3 1 3 3 4 1 0 2 3 3 0 1 2 0 0 4 4 0 1 3 0 0 2 4 2 0 2 1 3 3 1 3 2 4 3 0 2 2 3 2 3 0 3 1 2 0 0 3 En iyi :267.16 Ortalama :289.81 En kotu : 304.68 Program durmadan once en son Iterasyon 80 uygulandi |
|--|

Tablo 4.6d. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, hibrid arama (DD sabit)

| |
|--|
| Iterasyon 80 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 226.73 18 2 2 3 4 1 3 4 4 4 1 0 0 4 2 1 1 1 1 0 1 2 3 0 2 3 1 0 4 2 4 1 3 2 4 4 4 0 1 2 3 0 3 1 2 2 0 2 3 1 3 3 3 2 1 1 4 1 1 4 0 2 2 0 1 2 1 2 1 1 3 1 2 3 4 0 1 4 3 2 3 4 0 0 4 1 4 3 1 3 2 1 1 4 2 3 3 2 4 2 1 4 En iyi :226.73 Ortalama :273.06 En kotu : 302.71 Program durmadan once en son Iterasyon 80 uygulandi |
|--|

Orta büyüklükteki atölye için hesaplamaların kolay olması amacıyla küçük atölyede uygulanan 200 iterasyon yerine 80 iterasyon yapılmıştır.

Tablo 4.6a'da, 10 kromozomlu popülasyonda en iyi değeri 895.30 ve gönderme kuralı 2 (ATC k=1), DD kuralı k_{18} – RDM olan kromozom en iyi değeri vermiştir. Tablo 4.6b'de rassal arama yönteminde yapılan 80 iterasyon sonrasında performans göstergeleri en iyi 511.55 , ortalama 568.49 ve en kötü 613.25 olarak gerçekleşmiştir. En iyi performanslı kromozom için gönderme kuralı 2 olmuştur.

Tablo 4.6c'de genetik arama sonucunda en iyi performans değerli kromozomun en iyi değeri 267.16, popülasyon ortalaması 289.81 ve en kötü değer 304.68 olarak gözlemlenmiştir. Hibrid arama sonuçlarının verildiği Tablo 4.6d'de ise en iyi değer olarak 226.73, popülasyon ortalaması 273.06 ve en kötü değer 302.71 bulunmuştur. Genetik aramada ve hibrid aramada en iyi gönderme kuralı 2 (ATC k=3) olarak bulunmuştur.

Büyük atölye için kullanılan kodlama parametreleri Ek – 4'de verilmiştir. Tablo 4.7a,b,c,d ise arama yöntemlerine ait en iyi kromozomlar ve arama yöntemlerine ait en iyi, ortalama ve en kötü performans değerleri verilmiştir.

Tablo 4.7a. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, sıradan çözüm (DD sabit)

| |
|---|
| Performans olcusune gore dizilmis populasyon PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 6721.25 18 1 1 002011111110202201002121002121211222100010221102 12210010210221112222022122000010100222221111110102001112212 10002212011220110110121212211010121110021100222212201101000012 210001211002102000012011010 En iyi :6721.25 Ortalama :8368.98 En kotu :10995.22 |
|---|

Tablo 4.7b. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, rassal arama (DD sabit)

| |
|---|
| Iterasyon 40 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 4369.42 18 9 0020010010202210000120212101210102000002021121012 00011122022211122001000010212102010111012120011121111101022110 21112021020111110022000011220121011000222010012102001210002210 002220120010022010211100010 En iyi :4369.42 Ortalama :4417.63 En kotu :4441.77 Program durmadan once en son Iterasyon 40 uygulandi |
|---|

Tablo 4.7c. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, genetik arama (DD sabit)

| |
|---|
| <p>Iterasyon 40 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 4457.90 18 9 0 2 2 1 2 1 1 0 1 1 1 2 2 2 1 0 0 0 2 2 2 0 1 0 1 2 2 1 2 0 1 1 1 0 2 2 0 2 1 1 2 2 1 0 2 1 2 1 2 1 1 2 0 2 2 1 2 0 0 2 0 2 1 0 1 2 1 2 0 2 1 2 1 0 0 2 0 2 2 2 1 1 1 0 2 2 2 1 0 2 2 1 1 2 1 2 1 1 2 1 2 0 1 1 2 0 1 0 1 1 0 0 2 1 0 1 0 2 1 2 2 1 0 2 0 1 2 0 2 0 0 0 2 2 0 1 2 0 2 2 1 2 1 1 1 1 0 0 1 1 1 2 1 2 2 2 2 1 1 1 2 0 1 1 0 1 0 0 2 2 0 0 2 0 2 2 0 2 1 0 0 0 2 0 0 0 1 2 0 1 2 0 2 0 1 1 0 0 2</p> <p>En iyi :4457.90 Ortalama :4529.47 En kotu :4574.59 Program durmadan once en son Iterasyon 40 uygulandi</p> |
|---|

Tablo 4.7d. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, hibrid arama (DD sabit)

| |
|---|
| <p>Iterasyon 40 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 4369.42 18 9 0 0 2 0 0 1 0 0 1 0 2 0 2 2 1 0 0 0 0 1 2 0 2 1 2 1 0 1 2 1 0 1 0 2 0 0 0 0 0 2 0 2 1 1 2 1 0 1 2 0 0 0 1 1 1 2 2 0 2 2 2 1 1 1 2 2 0 0 1 0 0 0 0 1 0 2 1 2 1 0 2 0 1 0 1 1 1 0 1 2 1 2 0 0 1 1 1 2 1 1 1 1 1 0 1 0 2 2 1 1 0 2 1 1 1 2 0 2 1 0 2 0 1 1 1 1 1 0 0 2 2 0 0 0 0 1 1 2 2 0 1 2 1 0 1 1 0 0 0 2 2 2 0 1 0 0 1 2 1 0 2 0 0 1 2 1 0 0 0 2 2 1 0 0 0 2 2 2 0 1 2 0 0 1 0 0 2 2 0 1 0 2 1 1 1 0 0 0 1 0</p> <p>En iyi :4369.42 Ortalama :4417.63 En kotu :4441.77 Program durmadan once en son Iterasyon 40 uygulandi</p> |
|---|

Büyük atölye için hesaplamaların kolay olması amacıyla küçük atölyede uygulanan 200 iterasyon yerine 40 iterasyon yapılmıştır.

Tablo 4.7a'da, 10 kromozomlu popülasyonda en iyi değeri 6721.25, popülasyon ortalaması 8368.98, en kötü değer 4441.77 olmuş ve en iyi kromozomun gönderme kuralı 1 (ATC $k=2$), DD kuralı k_{18} – RDM olmuştur. Tablo 4.7b'de rassal arama yönteminde yapılan 40 iterasyon sonrasında performans göstergeleri en iyi 4369.42 , popülasyon ortalaması 4417.63 ve en kotu popülasyon performansı 4441.77 olarak gerçekleşmiştir. En iyi performanslı kromozom için gönderme kuralı 9 (EDD) olmuştur.

Tablo 4.7c'de genetik arama sonucunda en iyi performans değerli kromozomun en iyi değeri 4457.9, popülasyon ortalaması 4529.47 ve en kötü popülasyon değeri 4574.59 olarak gözlemlenmiştir. Hibrid arama sonuçlarının verildiği Tablo 4.7d'de ise en iyi değer olarak 4369.42, popülasyon ortalaması 4417.63 ve en kötü popülasyon değeri 4441.77 olarak bulunmuştur. Genetik aramada ve hibrid aramada en iyi gönderme kuralı 9 (EDD) olarak bulunmuştur.

Tüm arama yöntemlerinde gerek küçük, gerekse orta ve büyük ölçekli tüm atölyeler için kullanılan sabit teslim tarihli IPPS çözümlerinde kromozomların ilk geni olan teslim tarihi belirleme kuralı k_{18} olarak sabit kalmış ve hiçbir çaprazlama, mutasyon işlemi uygulanmamıştır.

4.4 Teslim Tarihi Belirleme Kuralı Sabit IPPS

Bu bölümde genel olarak sunulan problem yapısının teslim tarihi (DD) belirleme kuralının sabit olduğu durumdaki çözümü verilmiştir. DD kuralının sabit olduğu IPPS'in genel probleminden ayırt edici özellikleri ve yapılan deneylerin sonuçları sırasıyla verilmiştir.

4.4.1 Teslim tarihi belirleme kuralı sabit IPPS yapısı ve özellikleri

Teslim tarihi müşteri tarafından önerilebilir ve çizelgeleme neticesinde erken bitirme/gecikme gibi maliyetlere neden olur (Bkz. Bölüm 4.3), işletme tarafından önceden öngörülen bir kurala göre kabulen edilen işler için de oluşacak farklı maliyetler söz konusudur. DD kuralı sabit IPPS'de müşteri tarafından belirlenen teslim tarihleri, işletmenin belirlediği teslim tarihi kuralına göre çizelgelenir.

Tezde DD belirleme kuralı PPW olarak seçilmiştir. PPW kuralında kabul edilen her iş P_{av} değerini işlem süresi oranında etkiler. Bu metoda ait kurallar ise yine aynıdır (Bkz. Formül (4.4)). Teslim tarihlerinin toplam işe ve aylak süreye dayalı (PPW) kuralları ile belirlenmesinde Formül 4.4'de toplam iş twk'ya ait çarpan $k=2$, sabit olarak $q=P_{av}$ kullanılmıştır. Twk katsayısı ve q değerlerine göre PPW'ye ait kural $k_{10} = 2+P_{av}$ olacaktır.

DD belirleme kuralı sabit IPPS'de kromozomlarda teslim tarihini gösteren ilk gen hiçbir şekilde çaprazlama ve mutasyona uğramamaktadır. Bu nedenle elde edilecek sonuçların tümünde teslim tarihi belirleme kuralı k_{10} 'dur.

4.4.2 Teslim tarihi belirleme kuralı sabit IPPS deney sonuçları

Bölüm 4.2.3’de anlatıldığı üzere problem dört farklı çözüm tekniği ile çözülmüştür. Dört farklı çözüm kullanılarak hem en iyi arama yöntemi hem de arama yöntemlerinin farklı IPPS’lerde gösterdikleri performanslar ortaya konmuştur. Bu bölümde sırasıyla teslim tarihi değişken küçük, orta ve büyük atölyeler için (Bkz. Tablo 4.1) sıradan, rassal, genetik ve hibrid arama yöntemleri sonuçları verilmiştir.

Küçük atölye için kullanılan kodlama parametreleri Ek – 2’de verilmiştir. Tablo 4.8a,b,c,d ise arama yöntemlerine ait en iyi kromozomların PPW kuralına göre elde edilen en iyi, ortalama ve en kötü performans değerleri verilmiştir.

Tablo 4.8a. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, sıradan çözüm (DD değişken)

| |
|--|
| Performans olcusune gore dizilmis populasyon PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0: 2.72 10 6 4 1 1 3 2 1 1 4 2 1 2 4 0 2 0 0 3 4 1 3 1 4 0 3 2 0 2 0 3 1 2 2 2 2 4 4 1 4 1 4 3 2 0 0 4 4 1 2 0 0 En iyi : 2.72 Ortalama : 84.60 En kotu : 179.60 |
|--|

Tablo 4.8b. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, rassal çözüm (DD değişken)

| |
|--|
| Iterasyon 200 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0: 2.04 10 3 4 1 4 3 4 0 4 2 3 1 3 0 1 2 3 0 3 4 0 2 0 4 4 1 2 2 1 0 0 2 1 0 1 0 1 4 1 0 1 1 3 4 4 0 4 4 0 0 4 2 En iyi : 2.04 Ortalama : 2.19 En kotu : 2.24 Program durmadan once en son Iterasyon 200 uygulandi |
|--|

Tablo 4.8c. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, genetik çözüm (DD değişken)

| |
|--|
| Iterasyon 200 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0: 1.52 10 6 0 2 0 4 2 0 1 0 1 1 4 0 0 4 4 0 0 1 2 2 2 1 0 3 2 0 2 0 1 1 2 2 3 2 3 0 3 3 2 2 3 2 0 0 4 4 1 4 2 0 En iyi : 1.52 Ortalama : 1.57 En kotu : 1.61 Program durmadan once en son Iterasyon 200 uygulandi |
|--|

Tablo 4.8d. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, hibrid çözüm (DD değişken)

| |
|--|
| Iterasyon 200 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0: 1.39 10 3 2 1 3 4 0 3 4 2 0 4 1 2 4 3 2 4 1 3 0 3 0 4 3 3 2 4 1 0 1 4 2 1 0 4 1 4 0 2 1 1 4 1 0 1 0 2 4 3 0 3 En iyi : 1.39 Ortalama : 1.47 En kotu : 1.53 Program durmadan once en son Iterasyon 200 uygulandi |
|--|

Küçük atölyede 200 iterasyon uygulanmıştır. Küçük atölye için sıradan çözüm rassal aramanın ilk iterasyon sonucu olarak alınmıştır (Bkz Tablo 4.8a). Sıradan çözümde 10 kromozomluk popülasyon en iyi kromozomdan en kötüye göre dizilmiş, popülasyon için sırasıyla en iyi, ortalama ve en kötü performans değerleri 2.72, 84.60, 179.60 olarak gözlemlenmiştir.

Küçük atölye için rassal arama yönteminde 200 iterasyon sonrasında Tablo 4.8b'deki değerler elde edilmiştir. Rassal arama için en iyi performans değeri 2.04, popülasyon ortalaması 2.19 ve en kötü sonuç değeri 2.24'dür. Teslim tarihi belirleme kuralı 10, gönderme kuralı 6 (LPT)'dir.

Tablo 4.8c,d'de verilen genetik ve hibrid arama sonuçlarına göre genetik için performans değerleri en iyiden kötüye 1.52, 1.57, 1.61 ve 1.39, 1.47, 1.53'dür. Genetik arama için gönderme kuralı 6 iken hibrid aramada 3'dür (MS). Her iki çözüm yöntemi içinse teslim tarihi belirleme kuralı 10. kuraldır.

Orta büyüklükteki atölyede toplam 80 iterasyon yapılmış, yapılan iterasyonlar örnek olarak Ek – 1'de verilmiştir. Sıradan çözüm yönteminde elde edilen program çıktıları Tablo 4.9a'da verilmiştir. Orta büyüklükteki atölyenin sıradan çözümünde atölye ortamının küçük atölyeye göre daha karmaşık ve daha fazla işe sahip olmasından dolayı performans değerleri daha yüksek gerçekleşmiştir. Rassal, genetik ve hibrid arama sonuçları ise Tablo 4.9b,c,d'de verilmiştir. Bu çözüm yöntemleri ile sıradan çözüm karşılaştırıldığında ise sıradan çözümün çok daha zayıf olduğu görülmüştür.

Tablo 4.9a. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, sıradan çözüm (DD belirleme kuralı sabit)

```
Performans olcusune gore dizilmis populasyon
PERF DD DR J0---->Diger isler
Row 0: 882.97 10 7 2 4 2 0 3 4 3 2 1 1 3 2 0 3 0 1 2 2 2 1 4 0 2 0 3 4 0 0 0 3 1 0 1 2 0 0 0 4 0 4 4 0 1 4 3 2 1 1 3
3 1 4 3 4 4 2 0 2 0 1 0 2 0 0 1 2 3 3 4 4 2 1 0 2 2 4 0 2 4 3 3 0 2 2 3 1 2 1 0 0 4 0 2 1 0 1 1 1 1 2
En iyi :882.97 Ortalama :1094.21 En kotu :1423.35
```

Tablo 9.4b. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, rassal arama (DD belirleme kuralı sabit)

```
Iterasyon 80
PERF DD DR J0---->Diger isler
Row 0: 424.53 10 2 4 2 2 1 0 4 0 3 1 2 3 1 4 1 1 3 4 4 1 4 3 2 0 2 4 2 4 2 0 2 3 0 3 2 0 0 0 3 3 0 4 1 3 4 1 1 0 2 4
0 2 2 2 0 2 4 3 0 0 1 3 2 2 3 0 1 3 1 2 2 3 4 2 4 3 4 3 2 0 0 2 3 1 0 2 4 0 3 3 1 3 4 2 2 4 1 0 1 1 1 3
En iyi :424.53 Ortalama :615.66 En kotu : 708.77
Program durmadan once en son Iterasyon 80 uygulandi
```

Tablo 4.9c. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, genetik arama (DD belirleme kuralı sabit)

| |
|--|
| <p>Iterasyon 80 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 299.95 10 1 1 2 0 0 3 3 4 3 4 3 2 4 4 3 3 2 4 3 3 0 3 3 0 1 3 1 4 3 4 2 2 2 3 2 3 4 0 2 3 1 0 3 1 1 2 4 2 0 3 1 2 1 0 3 4 2 4 4 1 4 1 4 4 0 2 4 1 3 4 4 2 3 2 0 4 3 3 0 1 4 2 4 4 1 2 3 2 4 2 2 4 4 3 0 1 4 2 0 2 0 En iyi :299.95 Ortalama :354.17 En kotu : 376.99 Program durmadan önce en son Iterasyon 80 uygulandı</p> |
|--|

Tablo 4.9d. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, hibrid arama (DD belirleme kuralı sabit)

| |
|--|
| <p>Iterasyon 80 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 224.46 10 2 1 3 1 1 3 3 2 2 1 3 3 0 2 2 0 1 3 2 0 4 4 2 1 0 0 4 0 1 3 2 4 0 0 2 2 2 0 2 2 4 0 0 4 3 3 0 2 0 0 2 4 1 4 4 3 4 1 4 0 3 2 2 1 1 3 3 2 0 4 1 2 1 1 3 1 4 4 4 2 2 3 1 2 2 3 2 1 1 0 3 1 2 1 1 0 3 1 1 4 4 En iyi :224.46 Ortalama :260.14 En kotu : 284.09 Program durmadan önce en son Iterasyon 80 uygulandı</p> |
|--|

Sıradan çözümde 10 kromozomluk popülasyon en iyi kromozomdan en kötüye göre dizilmiş, ilk sıradaki kromozom için en iyi performans değeri 882.97, popülasyon ortalaması 1094.21, ve en kötü performans 1423.35 olarak gözlemlenmiştir (Bkz. Tablo 4.9a).

Rassal çözümde yapılan 80 iterasyondan sonra Tablo 4.9b'deki değerler elde edilmiştir. Hibrid arama ile elde edilen sonuçlar gerek genetik gerekse rassal arama sonuçlarından iyi olarak gerçekleşmiştir (Bkz. Tablo 4.9d). Orta büyüklükteki atölye için tüm arama yöntemlerinde teslim tarihi belirleme kuralı (PPW) kuralı k_{10} 'dur.

Aşağıdaki Tablo 4.10a,b,c,d'de elde edilen popülasyonların en iyi kromozomlarına yer verilmiştir.

Tablo 4.10a. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, sıradan çözüm (DD değişken)

| |
|---|
| <p>Performans olcusune gore dizilmis populasyon PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 6615.30 10 8 0 2 2 1 1 0 0 2 0 0 1 0 0 1 2 2 0 0 2 2 2 0 1 0 1 2 2 1 2 0 1 1 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1 0 0 1 1 2 0 2 1 1 0 0 2 2 1 2 0 0 2 0 2 0 2 0 0 0 2 1 2 0 2 1 0 0 2 0 2 2 0 1 2 2 0 0 0 0 2 1 0 0 1 1 2 2 1 0 0 0 2 2 1 1 1 2 0 1 0 1 1 0 0 2 1 0 1 0 2 1 2 1 0 0 2 0 1 2 1 0 1 0 1 0 0 1 2 1 2 1 0 1 0 0 1 2 0 2 0 2 0 1 0 0 2 1 1 1 0 1 2 0 1 0 0 2 1 1 2 1 2 2 0 0 2 2 2 2 0 2 0 0 1 0 0 0 2 2 1 0 2 0 2 2 2 1 0 1 2 1 1 En iyi :6615.30 Ortalama :7909.72 En kotu :10287.94</p> |
|---|

Tablo 4.10b. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, rassal arama (DD değişken)

| |
|---|
| <p>Iterasyon 40 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 5174.33 10 9 1 0 1 2 2 0 1 2 2 0 1 0 2 1 0 1 0 1 1 0 1 2 0 2 1 2 1 2 2 2 0 0 1 1 0 0 2 2 2 2 0 0 0 2 0 1 1 1 0 1 1 0 1 2 2 1 2 0 2 0 1 1 1 0 0 1 2 0 1 2 2 2 1 1 0 2 0 0 0 2 2 0 1 2 1 2 0 0 0 2 0 0 0 2 1 1 1 0 2 1 2 1 0 0 1 2 1 2 2 1 1 1 2 1 1 0 0 1 2 0 2 0 0 2 1 0 1 1 0 2 1 2 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 0 0 2 2 0 2 1 0 1 0 1 2 0 2 2 2 2 1 0 0 2 1 0 0 0 0 0 0 1 0 2 1 2 1 0 2 0 0 0 0 0 2 0 0 0 0 2 2 0 0 0 2</p> <p>En iyi :5174.33 Ortalama :5384.12 En kotu :5437.53 Program durmadan once en son Iterasyon 40 uygulandi</p> |
|---|

Tablo 4.10c. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, genetik arama (DD değişken)

| |
|---|
| <p>Iterasyon 40 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 4709.96 10 9 0 2 1 1 2 1 2 0 1 1 1 2 2 0 1 0 0 2 0 2 2 1 2 2 2 1 2 2 0 0 1 1 1 0 0 0 1 0 2 1 1 2 1 0 0 1 2 1 2 1 1 0 0 2 0 1 2 0 2 2 0 2 0 0 0 0 2 1 2 0 2 0 0 0 2 0 2 2 0 1 2 2 1 0 1 0 2 1 0 0 1 1 2 1 1 0 1 2 1 1 0 0 2 1 1 0 2 2 1 0 2 2 1 0 1 0 2 2 2 1 0 0 2 2 2 1 2 0 2 2 1 1 2 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 2 0 2 0 2 0 1 0 0 2 1 1 1 0 1 2 0 1 0 0 2 1 1 2 1 2 2 0 0 2 2 2 2 2 0 0 0 1 0 0 0 2 2 1 0 2 2 2 2 1 0 2 1 2 2 1</p> <p>En iyi :4709.96 Ortalama :4753.04 En kotu :4796.12 Program durmadan once en son Iterasyon 40 uygulandi</p> |
|---|

Tablo 4.10d. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, hibrid çözüm (DD değişken)

| |
|---|
| <p>Iterasyon 40 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 4588.29 10 9 2 0 1 2 2 2 1 0 2 1 1 0 0 2 1 0 2 0 1 2 2 1 1 2 1 1 0 1 0 2 1 1 0 0 2 2 0 2 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 2 0 1 1 1 1 0 2 0 2 1 2 0 2 1 2 2 0 1 0 0 2 0 2 0 2 1 1 0 1 0 2 2 0 2 0 0 0 2 2 1 2 2 2 1 1 0 2 1 1 1 0 1 0 1 2 0 1 1 0 2 0 0 1 1 2 0 1 0 2 1 0 0 0 1 1 0 1 1 0 1 0 2 0 2 2 2 0 0 2 0 2 1 0 2 2 0 1 0 0 0 1 2 0 1 2 2 1 0 0 0 0 2 0 0 0 1 2 1 0 2 2 2 1 1 0 2 2 2 2 0 2 0 2 2 2 2 1 2 2 2 0 0 2 0 0 2 2 0 1 2</p> <p>En iyi :4588.29 Ortalama :4645.49 En kotu :4701.82 Program durmadan once en son Iterasyon 40 uygulandi</p> |
|---|

Sıradan çözümde popülasyona ait performans değerleri sırasıyla en iyi 6615.30, 7909.30 ortalama ve 10287.94 en kötü olarak bulunmuştur. Tüm arama yöntemleri için teslim tarihi belirleme kuralının RDM yerine PPW kuralı olarak belirlenmesi program çıktılarının tutarlı olduğunu göstermektedir.

4.5 Teslim Tarihi Bütünleşik IPSS

Tezin uygulama kısmında öncelikle DD sabit ve DD belirleme kuralı sabit IPSS hakkında bilgi verilerek sabit ve değişken teslim tarihli ortamlar için deney sonuçlarına yer verilmiştir. Bu bölümde de genel olarak teslim tarihi bütünleşik IPSS

yapısı üzerinde durularak, teslim tarihinin entegre olduğu ortamlar için yapılan deney sonuçlarına değinilecektir.

4.5.1 Teslim tarihi bütünleşik IPPS yapısı ve özellikleri

Bölüm 4.3 ve Bölüm 4.4’de bahsedildiği üzere teslim tarihi belirlemede farklı yaklaşımlar mevcuttur. Teslim tarihi tamamen dışsal olarak belirlenip proses planlama ve çizelgelemenin buna göre yapılabileceği gibi işletme tarafından öngörülen kurallara göre de belirlenebilir.

Sabit teslim tarihli ve teslim tarih belirleme kuralı sabit IPPS farklı yapılara ve kodlamaya sahip olsalar da ikisinde de ortak olarak teslim tarihi önceden verilmiş bir bilgi olduğundan, gönderme kuralları ve rotalar teslim tarihi ile ilişkilendirilmemektedir. Bir başka deyişle bir kromozomun ilk geni olan teslim tarihi belirleme kuralı sabit kalarak çaprazlama ve mutasyona uğratılmamaktadır. Örneğin DD sabit IPPS’in teslim tarihi RDM ile DD belirleme kuralı sabit IPPS’in teslim tarihi PPW kuralına göre belirlenir.

Teslim tarihi bütünleşik IPPS teslim tarihi belirleme kurallarını da problem yapısında aktif duruma getirerek bütünleşik bir çözüm aramayı hedefler. İkinci genlerde ifade edilen teslim tarihi belirleme kuralları kromozomlarda çaprazlanabilir ve mutasyona uğrayabilirler. Her işe ait teslim tarihinden yola çıkılarak teslim tarihi belirleme kuralları değişebilir ve pozitif gecikme/erken bitirmeye bağlı maliyetler de buna göre değişebilir.

Teslim tarihi bütünleşik IPPS probleminde statik üç atölye ortamı için dört farklı çözüm yöntemi uygulanarak elde edilen sonuçlar takip eden bölümde verilmiştir.

4.5.2 Teslim tarihi bütünleşik IPPS deney sonuçları

Teslim tarihi bütünleşik IPPS’de kullanılan dört farklı çözüm, teslim tarihi belirleme kurallarının IPPS ile entegrasyonun farklı çözüm yöntemlerinde karşılaştırılmasını ve bütünleşik yaklaşımın faydalarının ortaya konmasını amaçlar. Bu bölümde sırasıyla teslim tarihi bütünleşik IPPS’in küçük, orta ve büyük atölye ortamlarında yapılan farklı arama yöntemlerine göre deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.11a,b,c,d arama yöntemlerine ait en iyi kromozomlar ve arama yöntemlerine ait en iyi, ortalama ve en kötü performans değerleri verilmiştir.

Tablo 4.11a. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, sıradan çözüm (DD bütünleşik)

| |
|--|
| Performans olcusune gore dizilmis populasyon PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 6.54 14 6 0 2 0 0 1 2 3 3 4 4 2 1 0 2 2 4 0 2 4 3 3 0 2 2 3 1 2 1 0 0 4 0 2 1 0 1 1 1 1 2 3 0 0 4 3 3 0 1 2 4 En iyi : 6.54 Ortalama :1266.69 En kotu :2171.07 |
|--|

Tablo 4.11b. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, rassal çözüm (DD bütünleşik)

| |
|---|
| Iterasyon 200 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 1.96 11 1 3 3 1 3 0 1 2 0 2 0 3 3 1 4 1 2 0 1 4 2 1 3 1 3 1 0 3 2 3 3 2 1 2 3 3 0 0 0 1 2 2 1 4 1 2 0 3 3 1 4 En iyi : 1.96 Ortalama : 2.32 En kotu : 2.48 Program durmadan once en son Iterasyon 200 uygulandi |
|---|

Tablo 4.11c. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, genetik çözüm (DD bütünleşik)

| |
|--|
| Iterasyon 200 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 2.71 9 1 1 4 3 1 4 3 2 2 3 1 2 1 0 2 2 3 1 3 0 4 2 1 3 4 3 1 4 3 4 4 1 4 2 1 1 3 1 2 1 2 3 0 2 2 3 1 3 0 0 3 En iyi : 2.71 Ortalama : 4.53 En kotu : 4.77 Program durmadan once en son Iterasyon 200 uygulandi |
|--|

Tablo 4.11d. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – küçük atölye, hibrid çözüm (DD bütünleşik)

| |
|---|
| Iterasyon 200 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 1.52 11 3 3 3 2 3 0 1 3 0 2 1 3 3 1 4 1 2 0 1 4 2 1 3 1 3 1 0 3 2 3 3 2 1 2 3 3 0 0 0 1 2 2 1 4 2 0 0 0 3 1 1 En iyi : 1.52 Ortalama : 1.60 En kotu : 1.64 Program durmadan once en son Iterasyon 200 uygulandi |
|---|

Küçük atölye için sıradan çözümde 10 kromozomluk popülasyonun en iyi performanslı kromozom için performans değeri 6.54 olarak gerçekleşmiş, popülasyon ortalaması 1266.69, en kötü performans değeri 2171.07 olmuştur.

Küçük atölye için sıradan çözüm, rassal aramanın ilk iterasyon sonucu olarak alınmıştır (Bkz Tablo 4.11a). Sıradan çözümde 10 kromozomluk popülasyon en iyi kromozomdan en kötüye göre dizilmiş, popülasyon için sırasıyla en iyi, ortalama ve en kötü performans değerleri 6.54, 1266.69, 2171.07 olarak gözlemlenmiştir. En iyi kromozoma ait teslim tarihi belirleme kuralı 14 – PPW ($k=3, q_3$), gönderme kuralı 6 (LPT) olmuştur.

Küçük atölye için rassal arama yönteminde 200 iterasyon sonrasında Tablo 4.11b'deki değerler elde edilmiştir. Rassal arama için en iyi performans değeri 1.96, popülasyon ortalaması 2.32 ve en kötü değer 2.48'dür. Teslim tarihi belirleme kuralı 11 – PPW ($k=2, q_3$), gönderme kuralı 1(ATC, $k=2$)'dir.

Tablo 4.11c,d'de verilen genetik ve hibrid arama sonuçları için performans değerleri sırasıyla iyiden kötüye 2.71, 4.53, 4.77; hibrid için 1.52, 1.60, 1.63'dür. Genetik aramada teslim tarihi belirleme kuralı 9 – PPW ($k=2, q_1$), gönderme kuralı ATC'dir.

Orta büyüklükteki atölye için teslim tarihi bütünleşik IPPS'in sıradan çözüm ve arama yöntemlerinin sonuçları sırasıyla bulunmuştur. Sıradan çözümde elde edilen program çıktıları Tablo 4.12a'da verilmiştir. Sonuçlara göre en iyi performans değeri 9.10, en iyi teslim tarihi belirleme kuralı kural 14 – PPW ($k=3, q_3$), en iyi gönderme kuralı ATC olmuştur.

Rassal arama sonuçları 80 iterasyon sonunda en iyi kromozomun performans değeri 6.91, en iyi teslim tarihi kuralı 13 – PPW ($k=3, q_2$) ve en iyi gönderme kuralı 6 (LPT) olarak gözlemlenmiştir (Bkz Tablo 4.12b).

Genetik ve hibrid arama sonuçları ise Tablo 4.12c,d'de verilmiştir. Hibrid aramanın en iyi performansı 5.82 iken genetik aramanın değeri 5.71 olarak gerçekleşmiş, hibrid

ve genetik aramada en iyi teslim tarihi belirleme kuralı sırasıyla 13 - PPW ($k=3, q_2$) ve 14 - PPW ($k=3, q_3$)'dür. Gönderme kuralları ise her ikisi içinde 3'dür (MS).

Tablo 4.12a. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, sıradan çözüm (DD bütünleşik)

| |
|--|
| Performans olcusune gore dizilmis populasyon PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0: 9.10 14 1 1 2 0 0 3 3 4 3 4 1 2 4 4 2 1 4 3 0 2 1 1 0 3 2 0 4 4 1 1 1 1 3 3 0 0 3 2 3 2 0 3 1 1 3 1 2 1 4 1 2 4 1 0 0 3 1 4 4 2 4 3 4 4 0 0 4 1 3 4 2 3 3 2 0 3 1 2 0 2 4 4 4 4 4 2 4 3 0 2 2 3 2 3 0 3 3 2 0 2 0 En iyi : 9.10 Ortalama :3028.62 En kotu :6655.89 |
|--|

Tablo 4.12b. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, rassal arama (DD bütünleşik)

| |
|---|
| Iterasyon 80 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0: 6.91 13 6 0 4 1 3 1 4 3 3 2 3 1 1 4 0 4 4 4 2 0 3 0 0 3 1 3 4 1 4 3 2 0 0 2 3 1 4 1 3 1 4 2 3 0 2 2 2 2 0 3 4 3 2 1 4 3 0 4 0 4 1 3 0 1 3 0 4 4 4 3 3 4 4 0 4 2 4 0 1 2 0 1 0 3 4 2 0 2 0 0 3 1 1 2 4 0 0 2 0 3 En iyi : 6.91 Ortalama : 7.99 En kotu : 8.54 Program durmadan once en son Iterasyon 80 uygulandi |
|---|

Tablo 4.12c. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, genetik arama (DD bütünleşik)

| |
|---|
| Iterasyon 80 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0: 5.71 14 3 1 1 4 2 4 2 4 4 3 2 3 4 4 2 1 4 3 0 2 1 1 0 3 2 0 4 4 1 1 1 1 3 3 0 0 3 3 3 2 0 3 1 3 3 3 3 3 3 2 0 4 1 3 0 0 2 4 4 1 1 1 4 4 0 1 4 0 3 2 2 3 3 2 0 3 1 2 0 4 3 3 0 2 3 2 2 0 0 4 2 3 4 4 0 3 0 2 0 2 0 En iyi : 5.71 Ortalama : 5.79 En kotu : 5.88 Program durmadan once en son Iterasyon 80 uygulandi |
|---|

Tablo 4.12d. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – orta büyüklükte atölye, hibrid arama (DD bütünleşik)

| |
|---|
| Iterasyon 80 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0: 5.82 13 3 2 0 3 2 0 4 0 4 4 1 3 3 1 3 4 0 3 1 1 2 2 2 2 1 3 0 4 4 0 2 1 4 1 0 2 1 2 0 3 2 2 3 0 1 0 3 3 1 1 1 0 1 0 3 1 1 3 2 0 1 4 0 1 2 3 1 1 0 4 0 4 1 1 2 1 4 3 3 4 0 2 0 0 0 1 4 2 1 2 3 2 1 1 1 2 0 1 4 3 1 En iyi : 5.82 Ortalama : 5.91 En kotu : 5.98 Program durmadan once en son Iterasyon 80 uygulandi |
|---|

Aşağıdaki Tablo 4.13a,b,c,d'de büyük atölye için elde edilen popülasyonların en iyi kromozomları verilmiştir.

Tablo 4.13a. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, sıradan çözüm (DD bütünleşik)

| |
|--|
| Performans olcusune gore dizilmis populasyon PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 3321.19 14 4 0 2 1 1 0 0 2 2 1 1 0 2 1 1 2 2 0 2 2 0 2 2 0 1 2 2 1 0 1 0 1 1 1 0 2 1 0 2 1 0 0 1 2 1 1 2 0 0 2 0 0 1 0 1 1 0 1 1 0 0 2 0 1 2 0 0 1 2 2 0 1 0 2 1 1 1 1 2 0 1 2 2 2 0 2 1 0 2 1 0 1 0 1 0 2 0 2 2 0 1 2 0 0 2 1 0 0 1 2 2 0 2 2 0 2 1 2 2 0 0 1 1 2 1 0 0 1 0 1 0 0 2 0 0 0 0 0 2 2 2 1 2 1 1 0 1 1 1 1 1 2 1 2 0 2 1 0 1 0 1 0 2 1 1 0 1 2 1 0 1 1 2 0 2 1 2 0 2 2 1 2 0 0 0 1 0 2 0 0 0 1 0 1 0 2 0 0 1 0 En iyi :3321.19 Ortalama :14244.93 En kotu :30248.91 |
|--|

Tablo 4.13b. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, rassal arama (DD bütünleşik)

| |
|---|
| Iterasyon 40 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 2386.49 14 9 2 1 1 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 2 2 0 0 2 2 0 2 0 0 2 0 1 1 2 1 0 1 0 0 2 0 1 2 2 2 1 0 1 1 2 0 1 1 1 0 0 2 1 0 0 1 2 1 1 2 1 2 0 1 1 2 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0 2 1 2 2 1 0 2 2 1 1 1 0 2 2 1 1 2 1 1 0 1 1 0 1 1 2 1 2 2 1 0 0 1 2 2 1 1 1 1 2 2 0 2 2 0 2 0 0 1 0 2 0 1 1 0 2 1 0 0 2 2 0 1 2 2 0 1 2 0 1 2 1 0 1 1 2 1 0 0 2 1 0 2 0 1 0 2 1 2 1 2 0 1 1 0 1 0 0 1 1 2 0 0 1 1 2 0 2 1 2 1 2 2 1 0 0 1 2 2 2 1 2 0 2 En iyi :2386.49 Ortalama :2716.96 En kotu :2920.52 Program durmadan once en son Iterasyon 40 uygulandi |
|---|

Tablo 4.13c. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, genetik arama (DD bütünleşik)

| |
|---|
| Iterasyon 40 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 1740.73 12 9 0 2 1 1 0 1 1 0 1 2 2 2 1 2 2 2 0 2 2 0 1 0 1 0 1 1 2 1 0 2 0 2 0 1 0 1 2 2 2 1 0 1 2 1 1 2 0 0 2 0 0 1 0 1 1 0 0 1 0 2 2 2 2 0 1 1 0 1 0 1 0 0 2 0 1 1 2 0 2 1 0 2 0 2 1 1 2 1 0 0 2 0 0 1 1 0 1 0 0 1 2 0 0 2 1 0 0 1 2 2 0 2 2 0 2 1 2 2 0 0 1 1 2 1 0 0 1 0 1 0 0 2 0 0 0 0 0 2 2 2 1 2 1 1 0 1 2 1 1 1 2 0 2 0 2 1 0 1 1 0 1 0 0 2 1 1 2 1 0 0 1 2 0 1 1 2 2 2 0 0 1 0 0 1 2 2 1 0 2 0 1 0 2 2 0 1 2 1 0 En iyi :1740.73 Ortalama :1838.02 En kotu :1897.25 Program durmadan once en son Iterasyon 40 uygulandi |
|---|

Tablo 4.13d. Performanslara göre dizilmiş popülasyon – büyük atölye, hibrid çözüm (DD bütünleşik)

| |
|---|
| Iterasyon 40 PERF DD DR J0---->Diger isler Row 0 : 1839.38 12 9 0 0 1 1 1 0 0 2 1 1 2 0 2 2 2 1 1 0 2 1 1 1 1 1 0 1 0 2 2 2 1 1 1 2 0 2 2 0 1 0 2 0 2 1 2 1 2 1 1 0 0 0 1 0 2 1 2 0 1 1 1 2 2 1 0 0 0 2 1 1 2 0 2 2 0 0 0 2 0 1 2 0 2 2 0 0 2 2 1 0 2 1 2 2 2 0 2 0 2 2 2 0 1 0 2 0 0 2 0 1 1 0 1 2 1 0 0 1 0 1 0 2 0 2 0 1 0 1 0 1 2 1 0 0 1 2 1 2 2 2 1 1 1 1 2 0 1 1 2 0 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 0 0 0 1 0 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 0 1 0 2 2 2 1 2 0 0 0 0 1 2 0 2 2 0 0 2 1 2 1 En iyi :1839.38 Ortalama :1905.19 En kotu :1940.38 Program durmadan once en son Iterasyon 40 uygulandi |
|---|

Büyük atölye için sıradan çözümde performans değeri 3321.19, teslim tarihi belirleme kuralı 14 – PPW (k=3, q₃), gönderme kuralı 4 – WSPT olmuştur.

Büyük atölye için rassal arama sonuçlarına göre (Bkz. Tablo 4.13b) performans değeri en iyi kromozom için 2386.49, teslim tarihi belirleme kuralı 14 – PPW ($k=3$, q_3), gönderme kuralı 9 – EDD olmuştur.

Genetik ve hibrid arama sonuçlarında performans değerleri sırasıyla 1740.73 ve 1839.38 olmuştur. Genetik aramada ve hibrid aramada teslim tarihi belirleme kuralı 12 – PPW ($k=3$, q_1), gönderme kuralı her iki arama yöntemi için 9 – EDD olmuştur.

Küçük, orta ve büyük ölçekli statik atölyeler için bulunan sonuçlarla bütünleşik teslim tarihli IPPS ile diğer IPPS'lerin karşılaştırılması yapılabilecek, bütünleşik yaklaşımın sağlayacağı yarar sayısal olarak ifade edilebilecektir.

BÖLÜM 5. UYGULAMA SONUÇLARI

Tezin önceki bölümlerinde proses planlama yaklaşımları, çizelgeleme teknikleri ve uygulamaları, teslim tarihi belirleme kuralları üzerinde durulmuştur. Teslim tarihi sabit, değişken ve bütünleşik IPPS için dört çözüm tekniği kullanılarak bu çözüm tekniklerinin farklı atölye ortamlarında gösterdikleri performanslar bulunmuştur.

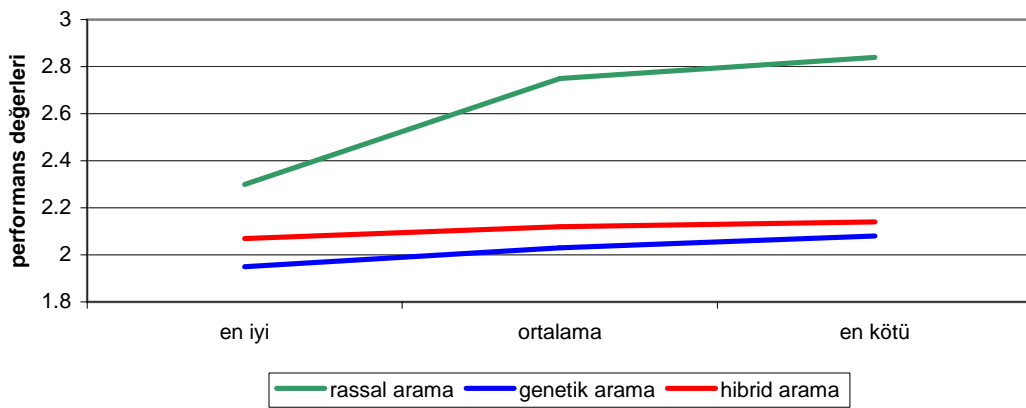
Teslim tarihi bütünleşik IPPS ile sabit ve değişken teslim tarihli IPPS'in karşılaştırılabilmesi için yapılan deneyler sonucunda her atölye ortamına ait dört çözüm elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan sıradan çözüm arama yöntemlerinin başlangıç popülasyonu olarak seçilmiştir. Arama yöntemlerinde küçük, orta ve büyük atölye ortamları için sırasıyla 200, 80 ve 40 iterasyon sonrası değerler sonuçlar olarak alınmıştır.

Bu bölümde teslim tarihi bütünleşik IPPS ile diğer IPPS problemlerinin çeşitli göstergelere göre karşılaştırılması yapılacaktır. Öncelikle arama yöntemleri kendi aralarında her bir atölye ortamı için karşılaştırılacaktır, böylece performans göstergelerindeki iyileşmeler daha net ortaya konabilecektir. Sonrasında teslim tarihi bütünleşik yaklaşımın sağladığı faydalar atölye ortamındaki iyileşmelere, performans göstergelerindeki iyileşmelere ve hesaplama sürelerindeki iyileşmelere göre açıklanacaktır. Üç konuda karşılaştırma yapılmasının nedeni ise atölye ortamı, rotalama, çizelgeleme gibi üretim fonksiyonlarının performans göstergelerini doğrudan etkilemesi ve problem çözümü için gerekli işlem sürelerinin işletmenin rekabetçi ortamda hızlı karar alma sürecini etkilemesidir.

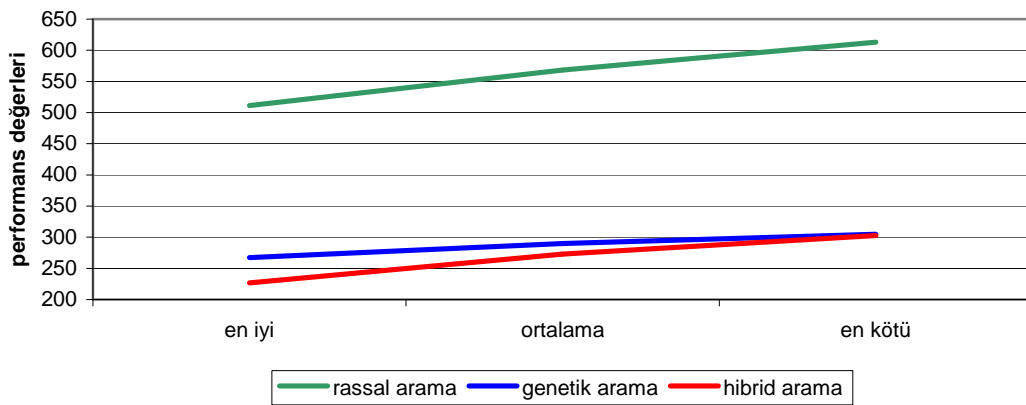
5.1 Arama Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Tezde dört farklı çözüm tekniği kullanılmıştır. Tüm atölye ortamları için elde edilen sonuçlar her bir teslim tarihi belirleme kuralına göre ayrı olarak aşağıda verilmiştir.

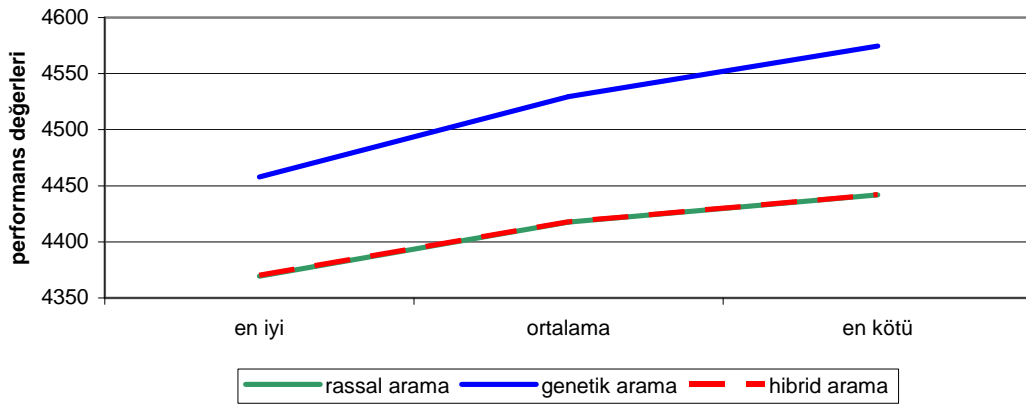
Şekil 5.1a,b,c'de sırasıyla teslim tarihi sabit küçük, orta ve büyük atölyeler için elde edilen son popülasyonların en iyi, ortalama ve en kötü sonuçlarına göre verilmiştir.



Şekil 5.1a. Küçük atölye - DD sabit, arama yöntemi sonuçları



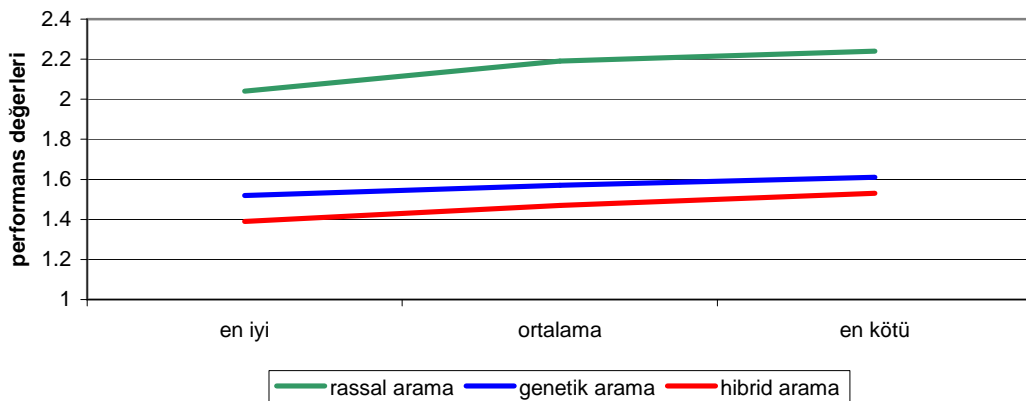
Şekil 5.1b. Orta büyüklükte atölye - DD sabit, arama yöntemi sonuçları



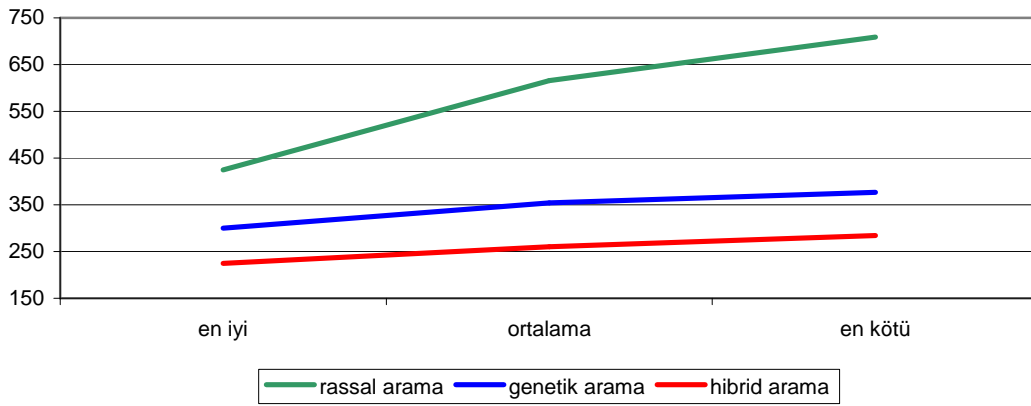
Şekil 5.1c. Büyük atölye - DD sabit, arama yöntemi sonuçları

İterasyonlar sonucunda küçük ve orta büyüklükteki atölyelerde rassal arama sonuçları gerek en iyi gerekse ortalama ve en kötü çözümler bakımından diğer yöntemlerden daha kötü performansa sahiptirler. Sıradan çözüm ise diğer üç arama yönteminden çok daha kötü sonuçlar verdiği için şekillerde yer almamıştır. Orta ve küçük atölyelerde hibrid ve genetik arama yakın sonuçlar vermesine rağmen genetik arama küçük atölyede en iyi çözümlerde yaklaşık olarak %17 daha iyi sonuç vermiştir. Büyük atölyede ise genetik arama diğer arama yöntemlerine göre daha kötü sonuç vermiş, rassal ve hibrid arama yöntemleri çok yakın sonuçlar üretmişlerdir .

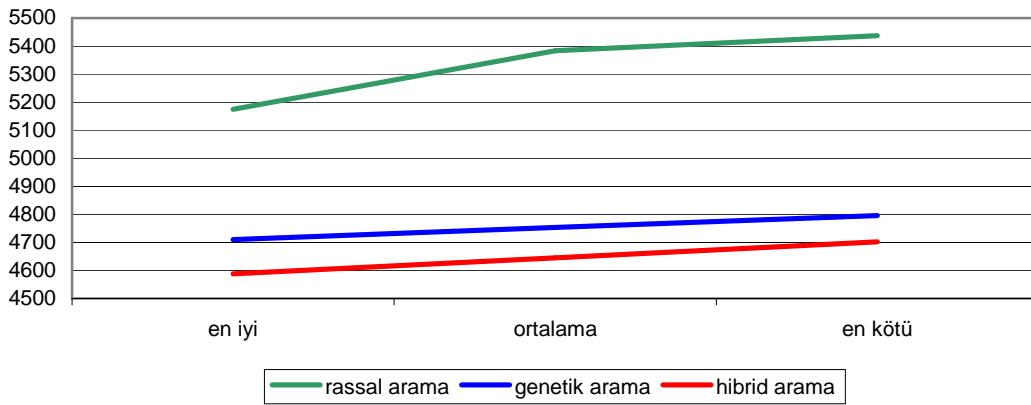
Şekil 5.2a,b,c'de teslim tarihinin PPW kurallarına göre yapıldığı deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.2a. Küçük atölye - DD kuralı sabit, arama yöntemi sonuçları



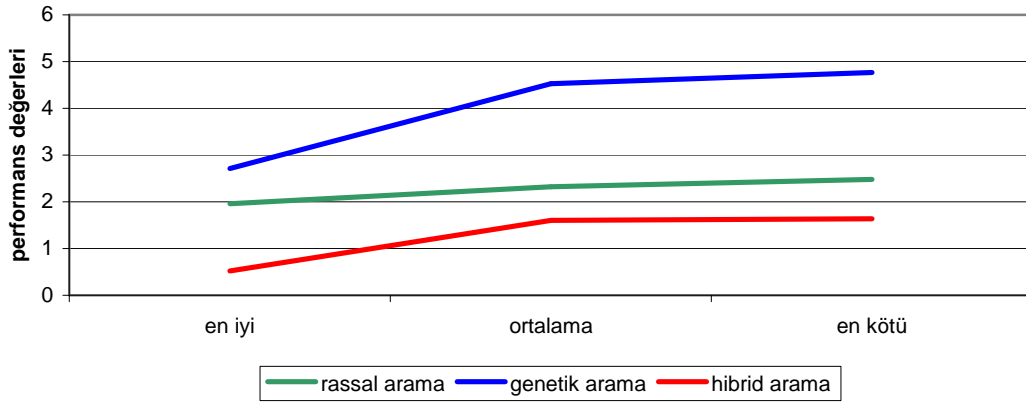
Şekil 5.2b. Orta büyüklükte atölye - DD kuralı sabit, arama yöntemi sonuçları



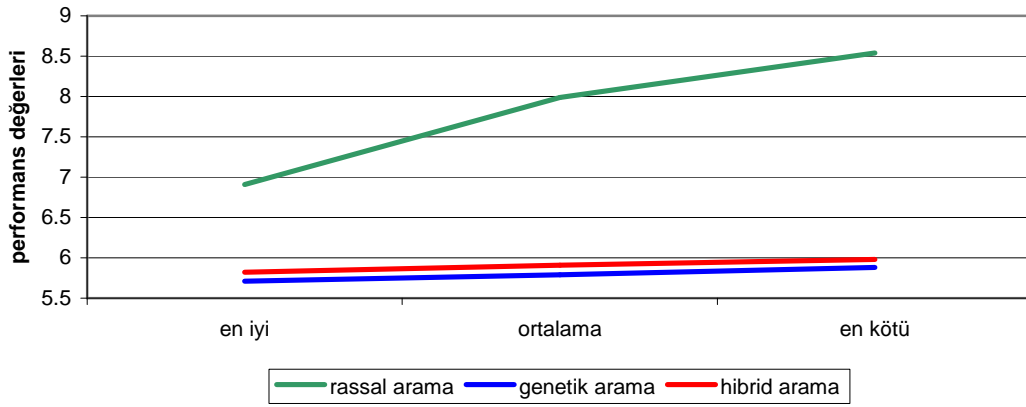
Şekil 5.2c. Büyük atölye - DD kuralı sabit, arama yöntemi sonuçları

Şekil 5.2a,b,c'ye bakıldığında teslim tarihi değişken atölye ortamında sıradan çözüm sonuçlarının şekillerde yer alamayacak kadar kötü olduğu, rassal aramanın da tüm atölye ortamları için genetik ve hibrid arama yöntemlerinden kötü olduğu görülmüştür. Beklendiği şekilde genetik arama rassal aramadan iyi sonuç vermiş, hibrid arama ise genetik aramaya göre ortalama %26 iyileşme sağlamıştır.

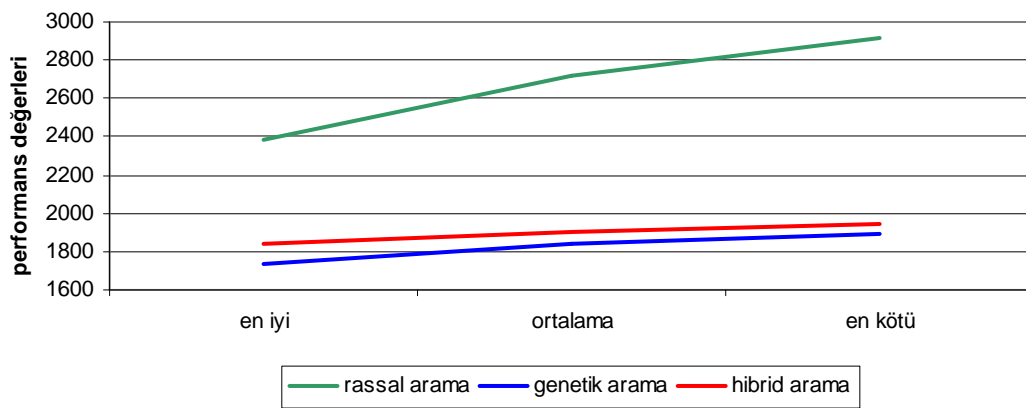
Şekil 5.3'de teslim tarihi bütünleşik çözümler yer almaktadır. Küçük atölyede genetik arama kötü sonuç verirken orta ve büyük atölyede en iyi sonuçları vermiştir. Hibrid arama ise orta ve büyük atölyede genetik aramaya oldukça yakın sonuçlar üretmiştir (Bkz. Şekil 5.3b,c).



Şekil 5.3a. Küçük atölye - DD kuralı bütünlük, arama yöntemi sonuçları



Şekil 5.3b. Orta büyüklükte atölye - DD kuralı bütünlük, arama yöntemi sonuçları



Şekil 5.3c. Büyük atölye - DD kuralı bütünlük, arama yöntemi sonuçları

Arama yöntemlerinin karşılaştırılması sonucunda toplam dokuz sonuçtan beşinde hibrid arama genetik aramaya göre daha iyi sonuç vermiş, üç aramada ise genetik arama sonuçları hibrid arama sonuçlarına yaklaşmıştır. Yalnızca bir sonuçta genetik arama hibrid aramaya göre açık şekilde daha iyi sonuç vermiştir. Böylece sıradan arama en kötü çözümleri verirken rassal arama sıradan aramaya göre iyi sonuçlar üretmiş, genetik arama rassal aramadan daha iyi sonuçlar vermiş, hibrid arama ise genetik aramaya göre daha iyi sonuçlar üreterek beklenen sonuçları vermiştir.

5.2 Teslim Tarihi Bütünleşik Yaklaşımın Sağladığı İyileşmeler

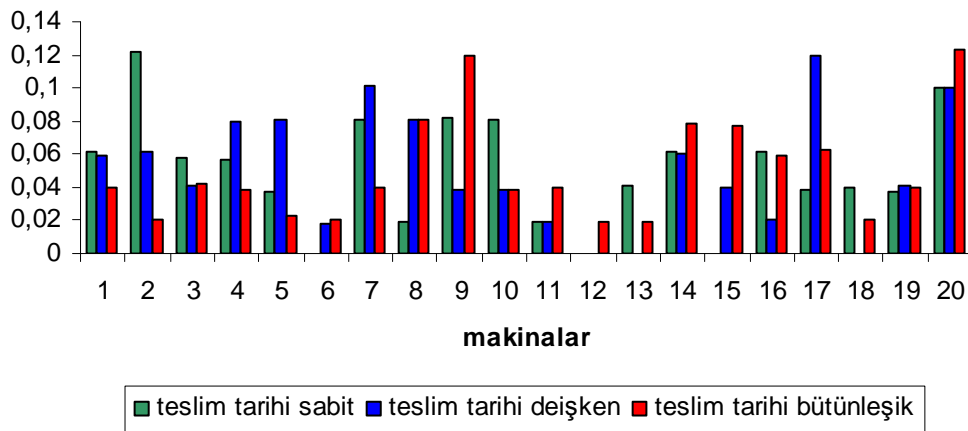
Teslim tarihinin bütünleşik çalışılması ile performans göstergelerinde ve atölye ortamlarında iyileşmeler beklenmektedir. Bu nedenle deney sonuçları örnek olarak seçilen küçük atölyedeki makinaların kullanım oranlarına, tüm atölye ortamlarının en iyi performans göstergelerindeki değerlere ve hesaplama sürelerine göre incelenecektir. Hesaplama sürelerinin de bir gösterge olarak alınmasının nedeni iyi çözümlerin aynı zamanda makul sürede elde edilmesinin gerekliliğidir.

5.2.1 Atölye ortamındaki iyileşmeler

Teslim tarihi bütünleşik yaklaşımın atölye ortamlarında nasıl fayda sağladığının anlaşılabilmesi için en iyi çözümleri veren hibrid çözümün bu atölyelerde iş atamalarını ne şekilde yaptığının incelenmesi gerekir. Bu nedenle hibrid çözümün örnek atölye olarak seçilen küçük atölyede teslim tarihinin sabit, DD kuralı sabit ve teslim tarihinin bütünleşik olduğu durumlardaki sonuçları karşılaştırılmıştır. Atölye özellikleri önceki bölümlerde verilmiştir (Bkz. Bölüm 4.2.1). Makina yüklerinin dağılımının incelenmesi için küçük atölyenin seçilmesinin nedeni iş, rota sayıları ile makinaların işlem sürelerinin diğer atölyeleri yansıtacak nitelikte olması ve performans değerleri bakımından en az iyileşmenin bu atölyede sağlanmasıdır.

Hibrid aramanın yapıldığı 20 makinalı küçük atölyede makina başına düşen ortalama işlem süresi toplam işlem süresinin %5'idir. Ancak teslim tarihi belirleme kurallarının farklı IPSS yöntemlerinde her işe ait rota değişik olduğundan bazı işler bazı makinalara daha çok atanabilirken bazı makinalar ise aylak kalabilmektedir. Bütünleşik planlamanın en büyük faydalarından biri de makinalara atanan işlerin olabildiğince eşit şekilde yapılarak iş yükü dağılımının daha iyi yapılabilmesidir.

Teslim tarihi sabit iken, bir başka deyişle tamamen rassal olarak belirlenirken, bazı makinalar yüksek iş yüküyle çalışırken, makinaların bazıları ise (Bkz. Şekil 5.4, 6., 12., 15. makinalar) hiç kullanılmamaktadır. DD kuralı sabit IPSS'de 6., makinaya iş ataması yapılmış, ancak 12, 13, 18. makinalara atama yapılmamıştır. Atölye ortamındaki makina sayısının sabit olduğu düşünüldüğünde tüm makinaların eşit yükte kullanıldığı, teslim tarihlerini en az ihlal eden teslim tarihi belirleme kuralı en iyi çözüm olacaktır. Şekil 5.4'de her makinanın farklı teslim tarihi belirleme kuralında toplam işlerin tamamlanma süresine göre çalıştıkları zaman yüzdesi verilmiştir. Toplam iş süreleri teslim tarihi sabit IPSS'de en uzunken, bütünleşik IPSS'de en azdır. Yani 50 işten oluşan küçük atölyede makina sürelerinin toplam iş süresine göre oranları azalmıştır. Bunun nedeni teslim tarihi sabit ve DD kuralı sabit IPSS'de aylak kalan makinalara iş atanmasının yapılmasıdır. Ayrıca Şekil 5.4'e bakıldığında hem işlerin daha makul sürelerde tamamlandığı hem de iş atamalarının makinalara daha eşit dağıtıldığı (makine uygunluklarının arttığı) görülecektir.



Şekil 5.4. Makinaların toplam iş süresine göre çalıştıkları sürelerinin dağılımı (%)

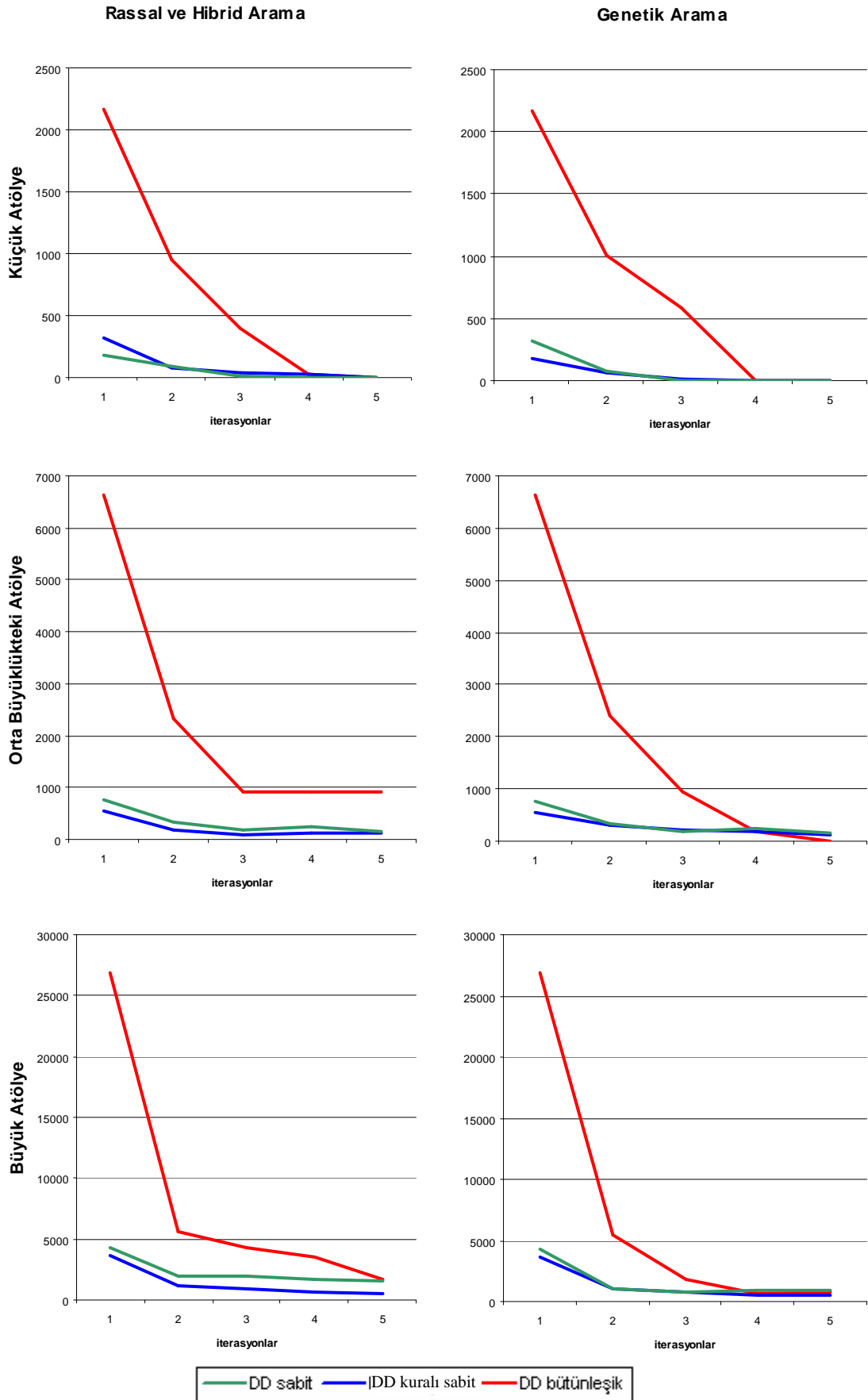
5.2.2 Performans göstergelerindeki iyileşmeler

Performans göstergelerinin hesaplanması kromozomlardaki genlerin uygun rotalarındaki makinaların her işe ait operasyon sürelerinin toplamıyla başlar. İşlerin göreceli ağırlıkları göz önünde bulundurularak gönderme kuralları ile hesaplanan her işe ait bitiş süresi teslim tarihlerine göre karşılaştırılarak, geç tamamlanan işler kuadratik ve sabit bir gecikme maliyetine yol açacak şekilde, erken tamamlanan işler doğrusal olarak cezalandırılır (Bkz. Formül 4.1).

İncelenen tüm atölye ortamları ve tüm arama yöntemleri için teslim tarihi bütünleşik IPPS yaklaşımının performans göstergeleri diğer yaklaşımlarla karşılaştırılmıştır. Tüm atölyeler için sıradan çözüm diğer arama yöntemlerine göre oldukça kötü sonuçlar verdiğiinden sonuçlarının üzerinde durulmayacaktır.

Öncelikle teslim tarihi belirlemenin performans değerleri üzerinde ilk beş iterasyonda nasıl bir etkiye sahip olduğu açıklanacaktır. Teslim tarihinin sabit ve PPW kuralı ile belirlendiği durumlarda kromozomların ilk geni çaprazlama veya mutasyona uğramamaktadır. Ancak teslim tarihi sabit ve PPW kuralı ile belirlenirken (RDM ve PPW kuralı ile kullanılırken) çözüm uzayında arama sınırlı kalmakta bu da ileri iterasyonlarda verimsiz sonuçlara neden olmaktadır.

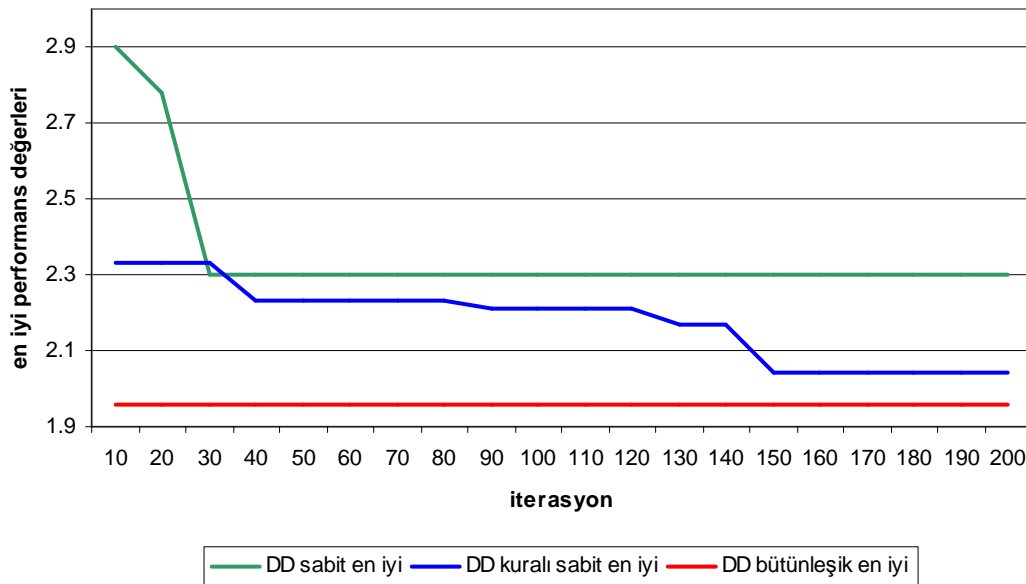
Şekil 5.5’de küçük, orta ve büyük atölye için ilk beş iterasyonda teslim tarihi sabit, DD kuralı sabit ve DD bütünleşik IPPS popülasyonlarının en iyi ve en kötü performans değerleri farkı verilmiştir.



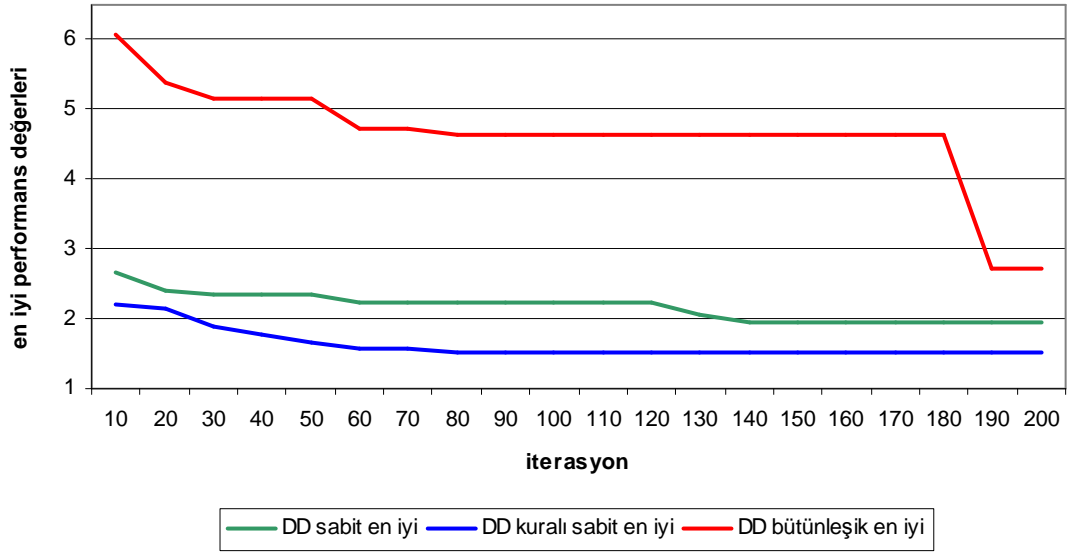
Şekil 5.5. Teslim tarihi belirleme kuralları farklı IPPS'lerde iyileşme

Hibrid arama ilk iterasyonlarında rassal aramayı kullandığı için rassal aramayla aynı sonuçları vermiş, bu nedenle ayrı olarak gösterilmemiştir. Teslim tarihi bütünleşik IPPS çözüm tekniğinden bağımsız olarak tüm arama tekniklerinde daha çok noktada arama yapmıştır. Bu nedenle elde edilen ilk popülasyon değerleri arasındaki fark diğer yaklaşımlara göre daha fazladır. DD kuralı sabit IPPS’de PPW kuralı kullanıldığından dolayı teslim tarihi sabit IPPS’e yakın sonuçlar çıkmıştır. Popülasyon değerleri arasındaki farkın her iterasyon için farklı olması, iterasyonlar arasındaki değişkenliği göstermektedir. Teslim tarihi bütünleşik IPPS’in diğer yaklaşımlara göre ilk beş iterasyonda değişkenliğinin daha fazla olduğu, ancak bu değişkenliğin ilerleyen iterasyonlarda giderek azaldığı söylenebilir.

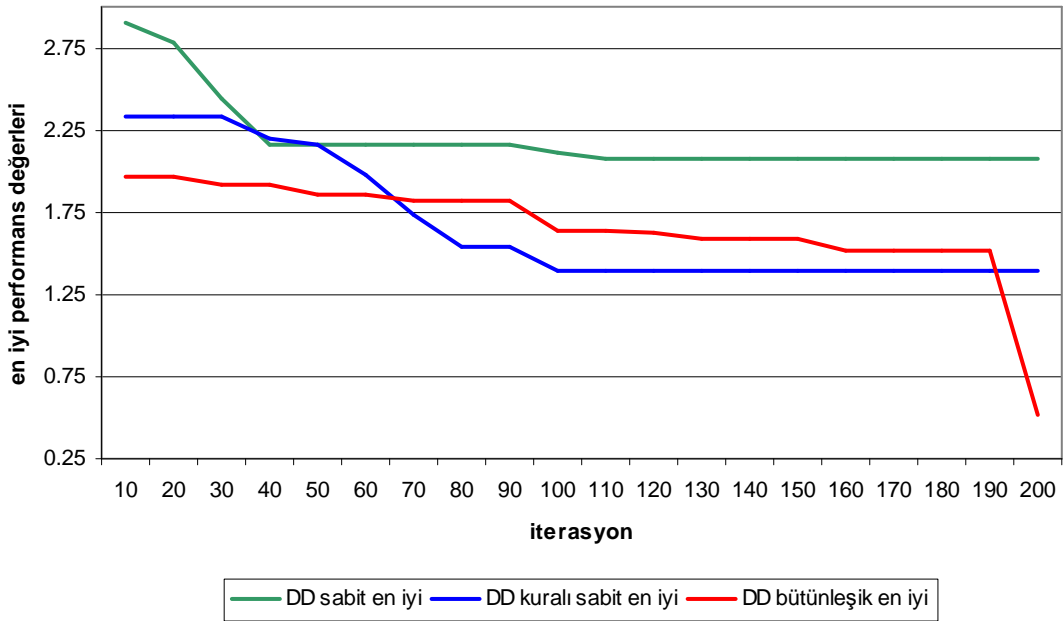
İlk beş iterasyondan sonra değişkenliği azalan IPPS’ler için küçük, orta ve büyük atölye için rassal, genetik ve hibrid arama yöntemlerinden oluşan dokuz karşılaştırma yapılacaktır. Karşılaştırmalar aynı zamanda arama yöntemlerinin her 10 iterasyonda ne kadar gelişim gösterdiklerini de göstermektedir. Küçük atölyede rassal, genetik ve hibrid arama yöntemlerine göre teslim tarihi belirleme kurallarının (DD kuralları) performans göstergeleri üzerinde gösterdikleri etkiler Şekil 5.6a.b.c’de verilmiştir.



Şekil 5.6a. DD kurallarının performansları - küçük atölye, rassal arama



Şekil 5.6b. DD kurallarının performansları - küçük atölye, genetik arama



Şekil 5.6c. DD kurallarının performansları - küçük atölye, hibrid arama

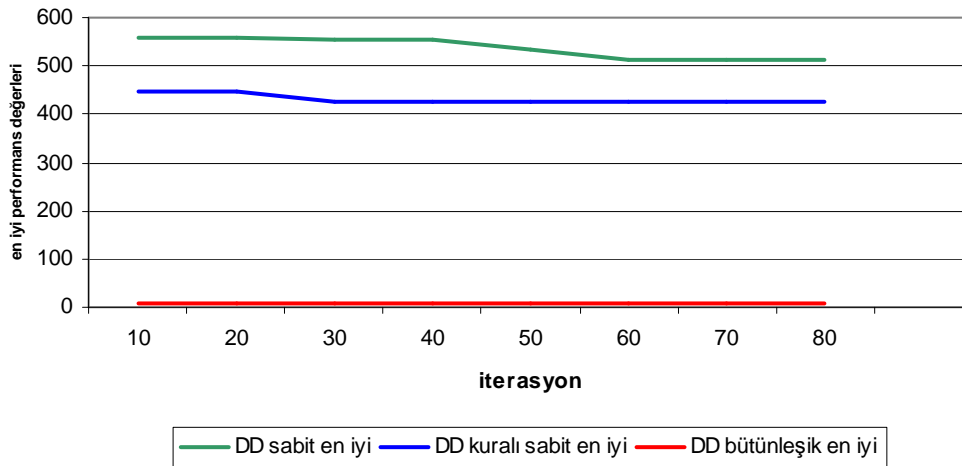
Şekil 5.6a'da teslim tarihi sabit veya DD kuralı sabit olduğunda kromozomlardaki DD geni sabit kalmaktadır. Bu nedenle bu genler aramada kullanılmakta bu da performans göstergelerinin iyileşmesini belirli bir iterasyona kadar etkilemektedir. 30. iterasyon sonrasında DD sabit ve DD kuralı sabit için iyileşme yaşansa da, DD bütünleşik yaklaşım teslim tarihi genlerini kullandığı için ilk iterasyonlardan itibaren çok daha iyi sonuçlar vermektedir. DD bütünleşik rassal aramada bulunan ilk popülasyonun en

iyi değeri diğer rassal popülasyonlardan iyi çıktığı için bu çözümde bir iyileşme görülmemiştir. Buradan DD bütünleşik yaklaşımda ilk iterasyonlarda DD geninin değiştiği ve bunun da performansı yaklaşık %16 iyi etkilediği sonucu çıkarılabilir.

Genetik arama sonuçlarının verildiği Şekil 5.6b'de DD kuralı sabit çözüm en iyi sonucu vermiştir. DD bütünleşik yaklaşımda kromozomların DD geninin ve gönderme kuralı geninin çaprazlanma olasılığı daha yüksek olduğundan ilk iterasyonlarda daha iyi gelişme göstermiştir. 180. iterasyondan sonra yine büyük gelişme göstermiş ve diğer DD kurallarına yaklaşmıştır. İterasyon sayısı daha uzun tutulduğunda (1200), DD bütünleşik yaklaşım DD sabit çözümü yalnızca 37 iterasyon sonrasında geçmiş, DD kuralı sabit çözümü ise yakalayamamıştır.

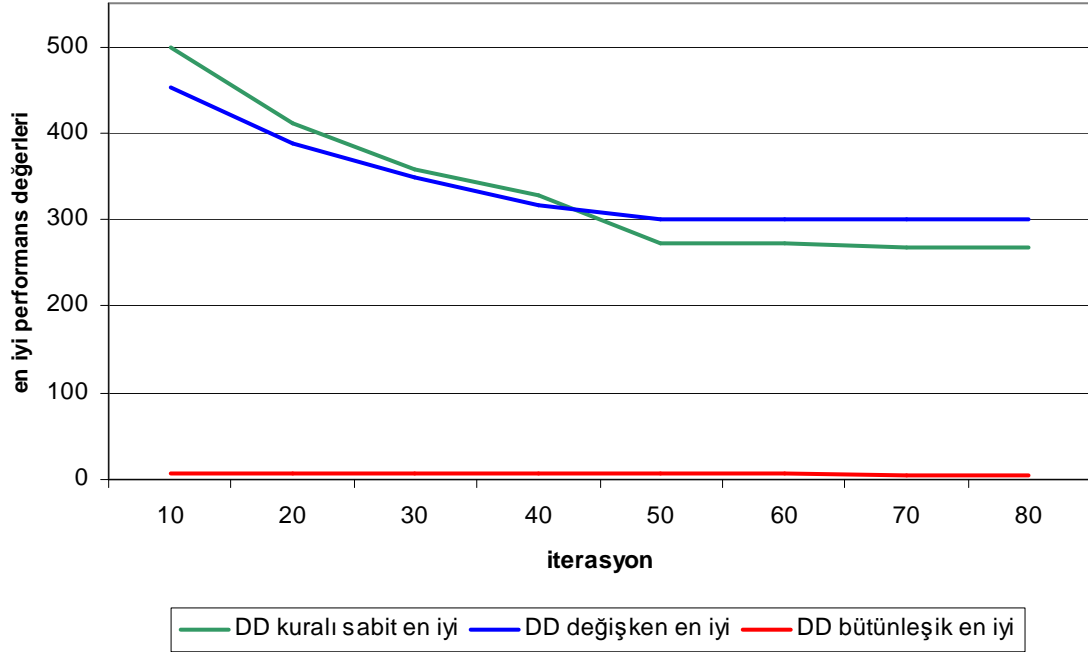
Hibrid arama sonuçlarının verildiği Şekil 5.6c'de DD bütünleşik çözüm en iyi sonuç verirken DD sabit en kötü sonucu vermiştir. İlk 20 iterasyonunda rassal arama kalan 180 iterasyonunda genetik arama yapan hibrid aramada, DD sabit aramanın rassal arama kısmında iyileşme yaşanırken hibrid ve genetik aramada bir iyileşme olmamıştır. Ancak ilerleyen iterasyonlarda genetik aramanın sağladığı gelişim hibrid aramayı da etkilemiş hibrid arama bu yolla daha iyi sonuçlar üretmeye başlamıştır.

Orta büyüklükteki atölye için rassal, genetik ve hibrid arama yöntemlerine göre teslim tarihi belirleme kurallarının performans göstergeleri üzerinde gösterdikleri etkiler Şekil 5.7a.b.c'de verilmiştir. Şekil 5.7a'da rassal aramanın en iyi performansları sırasıyla DD bütünleşik, DD değişken ve DD sabit çözümler olmuştur. DD sabit ve değişken sonuçlar birbirine yakın sonuçlar verirken kromozomların ilk genini değiştirebilen DD bütünleşik iterasyonlarda çok daha iyi sonuçlar vermiştir.

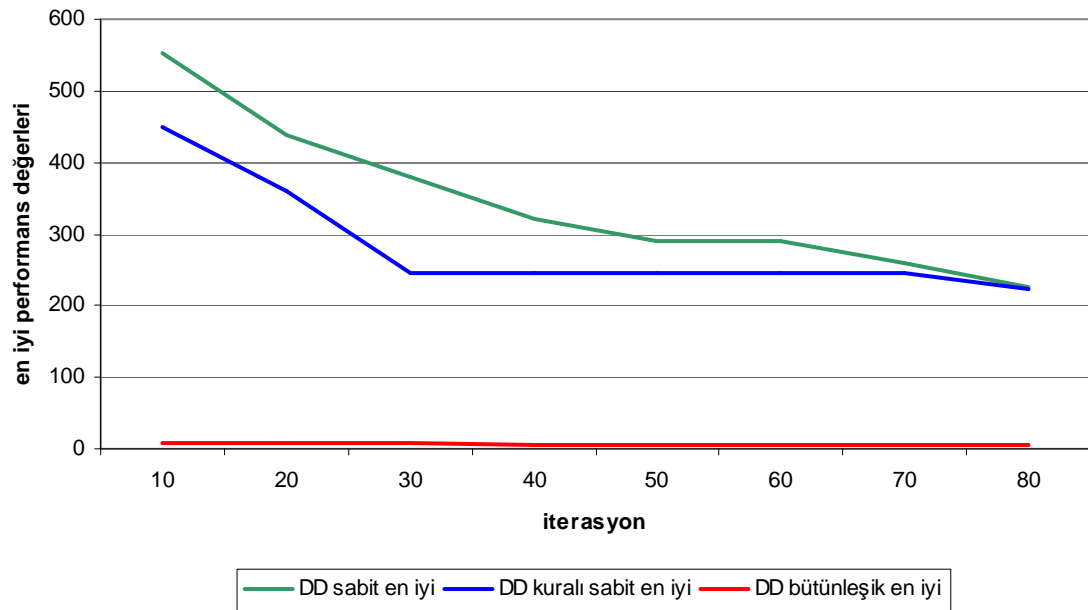


Şekil 5.7a. DD kurallarının performansları – orta büyüklükte atölye, rassal arama

Şekil 5.7b ve c’de de DD bütünleşik çözümler çok daha iyi sonuçlar vermiştir. Genetik aramada 50. iterasyona kadar sürekli iyileşme gösteren DD sabitken ve DD kuralı sabitken bu noktadan sonra bir iyileşme gösterememişlerdir. DD bütünleşik yaklaşım genetik algoritma sayesinde 40 iterasyondan performansını geliştirmiştir.



Şekil 5.7b. DD kurallarının performansları – orta büyüklükte atölye, genetik arama

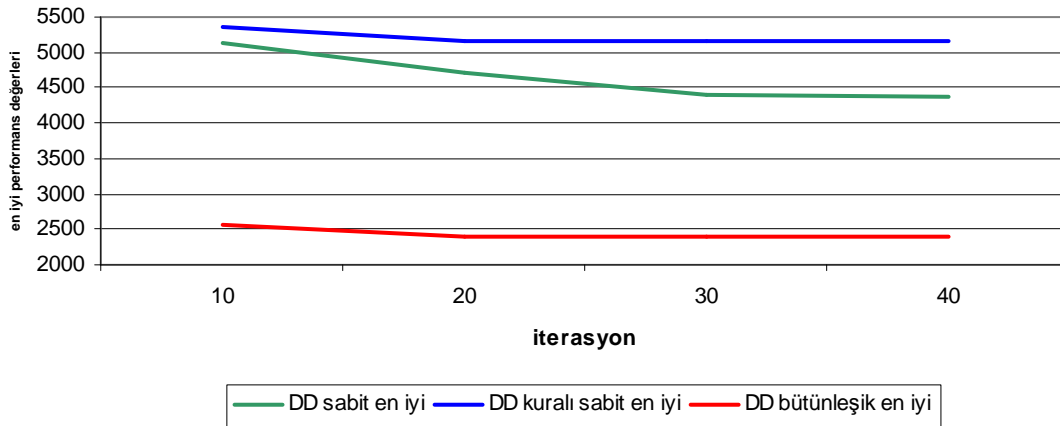


Şekil 5.7c. DD kurallarının performansları – orta büyüklükte atölye, hibrid arama

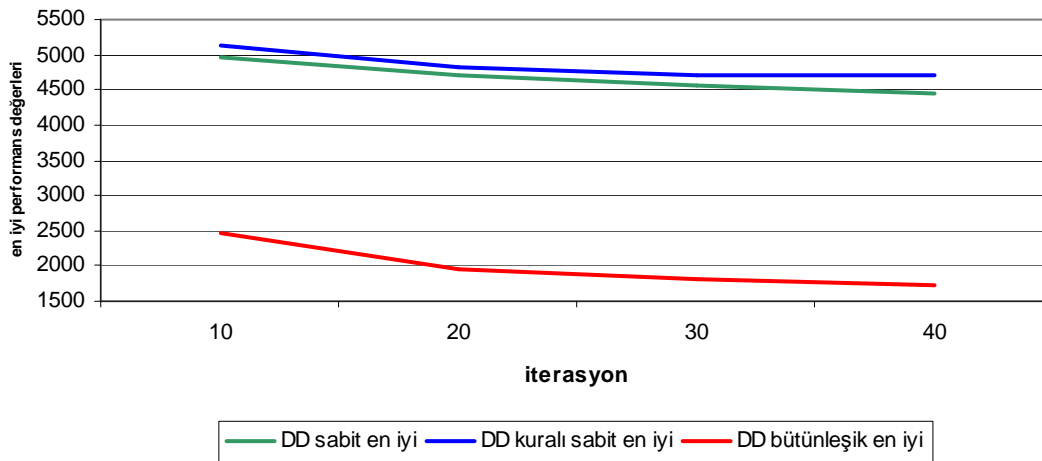
Orta büyüklükteki atölyede çözüm yöntemi ne olursa olsun DD bütünleşik yaklaşım ile çalışıldığında performans göstergelerinde 37 kat ile 61 kat civarında iyileşme yaşanmıştır. İterasyon sayısı 80'den fazla olduğu durumlarda ise DD sabit ve DD kuralı sabit yaklaşımlar DD bütünleşik yaklaşıma yaklaşırsa da aradaki büyük iyileşme farkı korunmaktadır.

Büyük atölye için rassal, genetik ve hibrid arama yöntemlerine göre teslim tarihi belirleme kurallarının (DD kuralları) performans göstergeleri üzerinde gösterdikleri etkiler Şekil 5.8a.b.c'de verilmiştir.

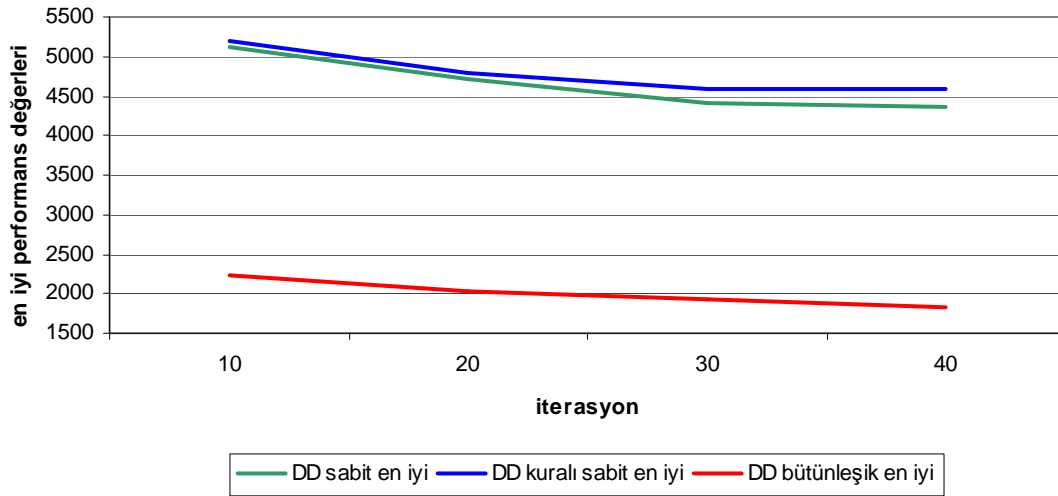
Şekil 5.8a,b ve c'de büyük atölye için 40 iterasyon sonrası elde edilen sonuçlarda tüm arama yöntemlerine göre en iyi çözümleri DD bütünleşik yaklaşım verirken DD sabit DD kuralı sabit yaklaşıma göre daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 5.8a. DD kurallarının performansları - büyük atölye, rassal arama



Şekil 5.8b. DD kurallarının performansları – büyük atölye, genetik arama



Şekil 5.8c. DD kurallarının performansları - büyük atölye, hibrid arama

Küçük atölye için sonuçlar özetlenecek olursa, atölyede genetik arama hariç rassal ve hibrid arama yöntemlerinde teslim tarihinin bütünleşik çalışılması, sabit ya da PPW kuralına uygun olarak çalışılmasından daha iyi sonuçlar vermektedir. Genetik aramada ise DD bütünleşik çözümler iterasyonların artırılması durumunda DD sabit ve PPW uygulanan çözümlere oldukça yaklaşabilmektedir.

Orta büyüklükteki atölyede ise teslim tarihinin bütünleşik çalışılması oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Büyük atölyede ise orta büyüklükteki sonuçlara benzer sonuçlar bulunmuş, teslim tarihi bütünleşik yaklaşımın daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Böylelikle tüm atölyelerde performans göstergeleri teslim tarihinin bütünleşik çalışılması ile gelişme göstermiştir. Performans göstergeleri incelenirken hibrid çözüm ile teslim tarihi bütünleşik yaklaşımın nasıl sonuçlar verdiği de incelenmelidir.

Bütünleşik IPPS'in diğer IPPS'ler ile rassal arama yöntemi kullanılarak karşılaştırılması Tablo 5.1'de verilmiştir. Rassal aramada küçük atölyede bütünleşik çözüm iyileşme sağlamamasına rağmen orta ve büyük atölyelerde önemli iyileşme sağlamıştır.

Tablo 5.1. Rassal aramada DD bütünleşik IPPS'in gösterdiği iyileşmeler (%)

| (%) | Küçük Atölye | | | Orta Büyüklükte atölye | | | Büyük Atölye | | |
|------------|--------------|-------|------------|------------------------|------|------------|--------------|------|------------|
| DD KURALI | RDM | PPW | bütünleşik | RDM | PPW | bütünleşik | RDM | PPW | bütünleşik |
| RDM | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| PPW | 22.1 | - | - | -12.4 | - | - | -5.1 | - | - |
| bütünleşik | -38.9 | -78.3 | - | 97.9 | 98.1 | - | 57.9 | 59.9 | - |

Tablo 5.2'de DD kuralı sabit ve bütünleşik IPPS tüm atölyelerde sabit teslim tarihli IPPS'e göre tüm atölyelerde daha iyi sonuçlar vermiştir (yalnızca büyük atölyede DD kuralı sabit IPPS daha kötü sonuç vermiştir). Genetik aramanın rassal aramadan farklı olarak gelişimsel bir yöntem izlemesi ile bu sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 5.2. Genetik aramada DD bütünleşik IPPS'in gösterdiği iyileşmeler (%)

| (%) | Küçük Atölye | | | Orta Büyüklükte atölye | | | Büyük Atölye | | |
|------------|--------------|-----|------------|------------------------|------|------------|--------------|------|------------|
| DD KURALI | RDM | PPW | bütünleşik | RDM | PPW | bütünleşik | RDM | PPW | bütünleşik |
| RDM | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| PPW | 11.3 | - | - | 17.2 | - | - | -18.4 | - | - |
| bütünleşik | 14.8 | 3.9 | - | 98.7 | 98.4 | - | 45.4 | 53.9 | - |

Tablo 5.3'de verilen hibrid arama sonuçları tüm atölye ortamları için iyileşme sağlamıştır. Hibrid aramanın rassal ve genetik aramanın üstün yönlerinden yararlanması nedeniyle genetik aramaya ve rassal aramaya göre iyileşmeler sağlanmıştır.

Tablo 5.3. Hibrid aramada DD bütünleşik IPPS'in gösterdiği iyileşmeler (%)

| (%) | Küçük Atölye | | | Orta Büyüklükte atölye | | | Büyük Atölye | | |
|------------|--------------|------|------------|------------------------|------|------------|--------------|------|------------|
| DD KURALI | RDM | PPW | bütünleşik | RDM | PPW | bütünleşik | RDM | PPW | bütünleşik |
| RDM | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| PPW | 32.9 | - | - | 0 | - | - | -0.5 | - | - |
| bütünleşik | 74.9 | 37.4 | - | 97.4 | 97.4 | - | 57.9 | 59.9 | - |

Hibrid aramanın diğer arama yöntemlerine göre sağladığı faydalar Bölüm 5.1’de verilmiştir. Hibrid aramada teslim tarihinin bütünlük çalışılması tüm atölyelerin performans göstergelerini olumlu etkilemiştir.

Hibrid arama yönteminin diğer arama yöntemlerinden, teslim tarihi bütünlük yaklaşımın da diğer yaklaşımlardan daha iyi sonuçlar verdiği aynı rassal sayı üretici kullanılarak bulunmuştur. Deneilerin farklı durumlarda verdiği sonuçlar da değerlendirilmiş, farklı rassal sayı üreteçleri kullanılarak deneyler tekrarlanmıştır. Seçilen rassal sayı üreteçleri (RSÜ) 807 ve 1303 olarak belirlenmiştir. Küçük atölyeye ait en iyi performans değerine sahip sonuçlar Tablo 5.4’de verilmiştir. Tüm atölyelerde farklı rassal sayı üreteçleri kullanılarak elde edilen arama yöntemleri ve teslim tarihi yaklaşımları sonuçları Ek – 5’de verilmiştir.

Tablo 5.4. Farklı rassal sayı üreteçleri ile arama yöntemlerinin ve IPPS yaklaşımlarının karşılaştırılması

| | | Rassal Arama | Genetik Arama | Hibrid Arama |
|--|-----------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Teslim tarihi sabit IPPS (RDM) | RSÜ=807 | 2.44 | 1.80 | 1.84 |
| | RSÜ=1105 | 2.3 | 1.95 | 2.07 |
| | RSÜ=1303 | 2.01 | 1.82 | 1.53 |
| Teslim tarihi belirleme kuralı sabit IPPS (PPW) | RSÜ=807 | 1.97 | 1.41 | 1.29 |
| | RSÜ=1105 | 2.04 | 1.52 | 1.39 |
| | RSÜ=1303 | 2.06 | 1.49 | 1.55 |
| Teslim tarihi bütünlük IPPS | RSÜ=807 | 2.33 | 1.59 | 1.56 |
| | RSÜ=1105 | 1.96 | 2.71 | 1.52 |
| | RSÜ=1303 | 2.23 | 1.88 | 1.59 |

Tablo 5.4 incelendiğinde, tüm RSÜ değerleri için PPW yaklaşımın diğer yaklaşımlardan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu sonuç belirlenen teslim tarihi kuralının iyi olduğunu göstermektedir. En iyi sonuçlarda hibrid arama yönteminin yalnızca üç deneyde daha kötü sonuç verdiği, kalan deneylerin tamamında ise daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Böylece küçük atölyede hibrid arama yönteminin diğer IPPS yaklaşımlarından iyi olduğu ve hibrid arama yönteminin diğer arama yöntemlerinden iyi olduğu sonucuna varılabilir.

Ek – 5’de küçük ölçekli atölye için verilen sonuçlara bakıldığında farklı RSÜ değerleri kullanılarak elde edilen deney sonuçları verilmiştir. Yapılan deneylerin altısında ilk sırada (%66), üçünde ikinci sırada (%34) yer aldığı görülmektedir. Genetik arama ise %33 ile ilk sırada, %66 ile ikinci sırada gelmiştir. Rassal arama ise diğer arama yöntemleri ile karşılaştırıldığında hiçbir deneyde bir veya ikinci sırada yer almamıştır.

Orta ölçekli atölyede hibrid arama, diğer arama yöntemleri ile karşılaştırıldığında dört deneyde ilk sırada (%44.4), 5 deneyde ikinci sırada (%55.6) geldiği görülmüştür. Genetik arama deneylerde %55.6 ile ilk, %44.4 ile ikinci sırada yer almıştır.

Büyük ölçekli atölye ele alındığında, hibrid arama deneylerin % 66’sında en iyi performanslarda ilk sırada yer almıştır. Hibrid arama ikinci sırada ise %34 oranında gözlemlenmiştir. Genetik arama %34 oranında ilk sırada, %66 oranında ise ikinci sırada yer almıştır. Rassal arama ise büyük ölçekli atölyede hibrid arama ile aynı sonuçları vermiştir.

Teslim tarihi belirleme yaklaşımları farklı IPPS’lerin karşılaştırılmasında da Ek – 5’deki deney sonuçları kullanılmıştır. RSÜ 807,1105 ve 1303 değerleri için teslim tarihi bütünlük yaklaşımının diğer iki yaklaşımdan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Küçük ölçekli atölyede, teslim tarihi sabit yaklaşım deneylerde diğer yaklaşımlardan kötü sonuçlar vermiştir. Farklı RSÜ değerleri için teslim tarihi belirleme kuralı sabit IPPS sürekli olarak diğer yaklaşımlardan iyi sonuçlar vermiştir. Bütünlük yaklaşım ise deneylerde ikinci sırada gelmiştir. Teslim tarihinin rassal belirlendiği IPPS ise hiçbir deneyde diğer yaklaşımlardan iyi sonuç vermemiştir. PPW kuralı uygulayan IPPS’in iyi sonuç vermesi, seçilen kuralın iyi bir kural olduğunu göstermektedir.

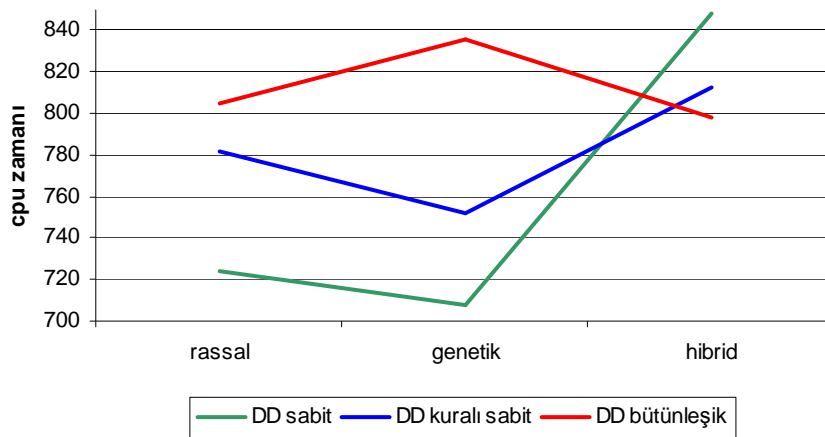
Orta ve büyük ölçekli atölyelerde farklı RSÜ değerleri için bütünlük IPPS tüm deneylerde en iyi sonuçları vermiştir. Teslim tarihi belirleme kuralı sabit IPPS ise RDM kuralı uygulayan IPPS’den iyi sonuçlar vermiştir.

Sonuç olarak, deneylerde farklı rassal sayı üreteçleri kullanımında da bütünlük yaklaşımın diğer yaklaşımlardan daha iyi bir yaklaşım olduğu görülmüş, hibrid aramanın da daha etkin bir arama yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır.

5.2.3 CPU zamanlarının karşılaştırılması

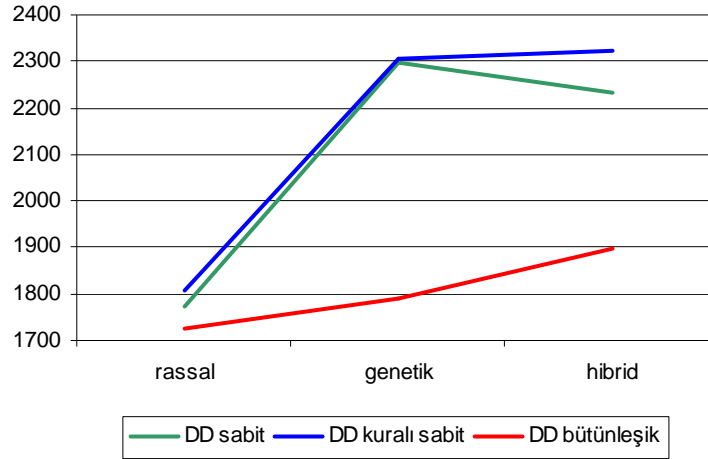
Yapılan deneylerde hesaplama süreleri de ölçülmüştür. Çizelgeleme ve proses planlamanın gerek ayrık gerekse bütünlük çalışıldığı problemlerde, bu problemler NP-zorlu olduğundan, çözümlerin makul süreler içerisinde bulunması önemlidir. Uzun sürede bulunan daha iyi sonuçlardansa, makul sürelerde bulunan daha kötü sonuçlar tercih edilebilmektedir. C++ programında farklı atölye ortamları için farklı arama yöntemleri kullanılarak çözülen teslim tarihi sabit, değişken ve bütünlük IPPS problemlerinde T2300 1.66 GHz dual işlemcili, 1 GB ram'e sahip bilgisayar kullanılmıştır.

Küçük atölye için rassal ve genetik aramada DD sabit çözüm en kısa sürede çözüm bulmuş, ancak arama yöntemlerinde en iyi performans değerlerini üreten hibrid çözümde DD bütünlük çözüm daha hızlı sonuç vermiştir. Böylece en iyi arama tekniği olarak belirlenen hibrid arama ve en iyi teslim tarihi belirleme kuralı olarak belirlenen DD bütünlük kuralı en kısa sürede sonuçlar vermiştir. Bir başka deyişle, teslim tarihi bütünlük IPPS'de performans göstergeleri ve atölye ortamı daha iyi olarak sonuçlanırken işlem süresi de en kısa olmaktadır (Bkz Şekil 5.9).



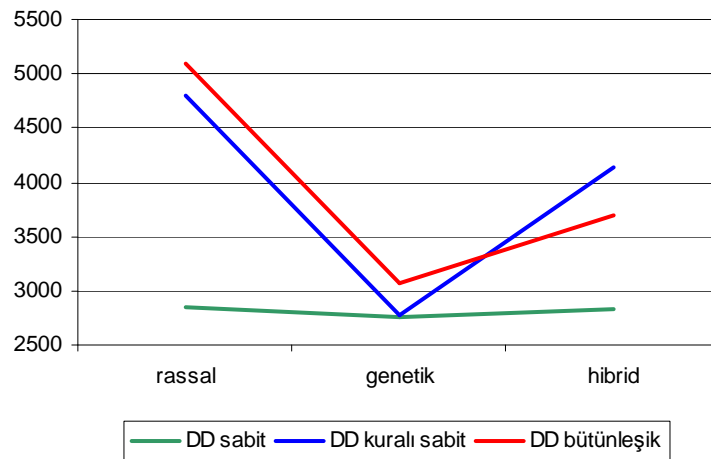
Şekil 5.9. Küçük atölyede cpu zamanlarının karşılaştırılması

Orta büyüklükteki atölyede işlem süreleri küçük atölyeden farklı olarak rassal aramada en kısa, hibrid aramada ise en uzundur. Şekil 5.10'da, en iyi arama yöntemi olarak belirlenen hibrid arama, teslim tarihi bütünleşik IPPS'de çok daha kısa sürede sonuç vermektedir.



Şekil 5.10. Orta büyüklükteki atölyede cpu zamanlarının karşılaştırılması

Büyük atölyede iş ve makina sayısının artmasıyla işlem sürelerinde büyük uzama olmuştur. Küçük ve orta atölyede en uzun işlem süreleri sırasıyla yaklaşık 850 ve 2350 saniye olurken büyük atölyede en kısa süreler 2500 saniye üzerindedir (Bkz. Şekil 5.10). Büyük atölyede hibrid arama yönteminin kullanıldığı DD bütünleşik IPPS, DD kuralı sabit IPPS'den kısa sürede, DD sabit IPPS'den uzun sürede sonuçlar üretmiştir. Bunun nedeni kromozomlardaki çaprazlama ve mutasyon noktalarının DD bütünleşik IPPS'de fazla olmasıdır. Buna rağmen büyük atölye için sonuçların makul sürelerde üretildiği kabul edilebilir.



Şekil 5.11. Büyük atölyede cpu zamanlarının karşılaştırılması

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, teslim tarihi belirlemenin çizelgeleme ve proses planlama ile bütünleşik çalışılmasının faydaları gösterilmiştir. Çizelgeleme ve proses planlama üzerine yapılan pek çok çalışma bu önemli üretim fonksiyonlarını ayrı olarak ele almıştır. Çizelgeleme ve proses planlamanın bütünleşik çalışılması ise daha yeni olup, bu konudaki problemler IPPS problemleri olarak nitelendirilmiştir.

Teslim tarihi belirleme çizelgeleme ve proses planlamayı doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle teslim tarihi belirleme kurallarının farklı olduğu durumlarda performans göstergeleri, atölye ortamları ve çözüm süreleri hesaplanarak değerlendirilmiştir. Teslim tarihi bütünleşik IPPS'in faydalarının anlaşılabilmesi için bu yaklaşımın farklı statik atölye ortamlarındaki ve farklı arama yöntemleri ile verdiği sonuçları karşılaştırılmıştır. Atölye ortamları küçük, orta ve büyük olmak üzere üç tip olarak belirlenmiş, her atölyedeki iş, makina, rota sayıları ile iş süreleri farklı olarak alınmıştır. Atölye ortamlarında amaç fonksiyonunun hesaplanabilmesi için üç arama yöntemi kullanılmıştır.

Teslim tarihi bütünleşik IPPS, teslim tarihi sabit ve sabit bir teslim tarihi belirleme kuralının kabul edildiği IPPS'den gerek performans göstergeleri bakımından gerekse atölye ortamlarında sağladığı iyileşmeler bakımından daha iyi sonuçlar üretmiştir. Böylece işlerin pozitif ve negatif gecikmesi maliyetleri minimize edilmiş, atölye ortamında iyileşme sağlanmıştır. Ayrıca işlerin daha iyi zamanlamalarla bitirilmesiyle müşteri memnuniyetinde artış, teslim tarihinin daha tutarlı belirlenebilmesi gibi önemli iyileşmeler sağlanabilecektir.

İlerleyen çalışmalarda bu çalışmanın devamı niteliğinde olarak dinamik atölye ortamının çalışılması ve diğer kısıtlarını (personel, ara stok, hazırlık süreleri gibi) da ele alan çalışmalar yapılması mümkündür.

Ayrıca teslim tarihinin bütünleşik olduğu IPPS için en iyi çaprazlama ve mutasyon operatör parametrelerinin bulunması; makina arızalanmasını da içeren önleyici bakım altında teslim tarihi bütünleşik IPPS; işlerin hazır zamanlarının 0 olmayıp, atölyenin iş alabilmesine olanak sağlayan yeniden çizelgeleme (rescheduling) ve işlerin atölyeye geliş sürelerinin stokastik olarak çalışıldığı teslim tarihi bütünleşik IPPS konularının da çalışılması mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] Heizer J. and Render B., "Operations Management", Prentice Hall, New Jersey, 2004.
- [2] Demir, H. İ., "Bütünleşik Proses Planlama, Çizelgeleme ve Teslim Tarihi Belirleme", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2004.
- [3] Morad N., Zalzalá A., "Genetic Algorithms in Integrated Process Planning and Scheduling", Journal of Intelligent Manufacturing, 10, 169-179, 1999.
- [4] Groover M. P., "Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing", Prentice Hall
- [5] Kamrani, A. K., Sferro P. and Handleman J., "Critical Issues in Design and Evaluation of Computer-Aided Process Planning", Computers & Industrial Engineering, Vol. 29, N0. 1-4, pp 619-623,1995.
- [6] Chang, T-C., Wysk R.A., "An Introduction to Automated Process Planning Systems", Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 1985.
- [7] Tompkins J. A., "Facilities Planning", John Wiley and Sons, 2003
- [8] Salvendy G. (Editor), "Handbook of Industrial Engineering", John Wiley & Sons, Ney York, 1982.
- [9] Zhang H. and Alting L., "Computerized Manufacturing Process Planning Systems", Chapman Hall, London, 1994
- [10] Saygin C., Chen F.F., Singh J., "Real-time Manipulation of Alternative Routings in Flexible Manufacturing Systems: A Simulation Study", Advanced Manufacturing Technology, Vol. 18, pp 755-763, 2001.
- [11] Lee H. and Kim S.S., "Integration of Process Planning and Scheduling with Outsourcing in Manufacturing Supply Chain", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 18, pp 586-590, 2001.
- [12] Sawik T., "Simultaneous Versus Sequential Loading and Scheduling of Flexible Assembly Systems", International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Vol. 38, N0. 14, pp 3267-3282.

- [13] Ming X. G., Mak K. L., “A Hybrid Hopfield-genetic Algorithm Approach to Optimal Process Plan Selection”, *International Journal Of Production Research*, Vol. 38, NO. 8, pp 1823-1839, 2000.
- [14] Kahlbacher H. G., and Cheng T. C. E., “Parallel Machine Scheduling to Minimize Costs for Earliness and Number of Tardy Jobs”, *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 47, NO. 2, pp 139-164, 1993.
- [15] Pinedo M., “Scheduling: Theory Algorithms, and Systems”, Prentice Hall, SAYFA NO, New Jersey, 2002.
- [16] <http://mathworld.wolfram.com/ComplexityTheory.html>
- [17] Morton T. E., and Pentico D. W., “Heuristic Scheduling Systems: With Applications to Production Systems and Project Management”, John Wiley & Sons, Sayfa No, USA, 1993.
- [18] Srinivasan V., “A hybrid Algorithm For the One Machine Sequencing Problem to Minimize Total Tardiness”, *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 18, pp 317-327, 1971.
- [19] Winston W. L., “Operations Research: Applications and Algorithms”, Duxbury Pres, pp 516-519, California, 1993.
- [20] Florian M., Trepant P., and McMahon G., “An Implicit Enumeration Algorithm for the Machine Sequencing Problem”, *Management Science*, Vol. 17, pp 782-792, 1971.
- [21] Schwimmer J., “On the n-Job, One Machine, Sequence Independent Scheduling Problem with Tardiness Penalties: A Branch and Bound Solution”, *Management Science*, Vol 18., pp 301-313, 1972.
- [22] Fox M. S., and Smith S. F., “ISIS - A knowledge based System for Factory Scheduling”, *Expert Systems*, Vol 1., pp 25-49, 1984.
- [23] Bensana E., Bell G., and Dubois D., “OPAL – A Multi-knowledge-based System for Industrial Job-shop Scheduling”, *International Journal of Production Research*, Vol 26., pp 795-819, 1988.
- [24] Shaw M. J., Park S., and Ramadan N., “Intelligent Scheduling with Machine Learning Capabilities: The Induction of Scheduling Knowledge”, *IIE Transactions*, Vol.24, pp 156-168, 1992.
- [25] Byrd T. A., and Hauser R. D., “Expert Systems in Production and Operations Management: Research Directions in Assessing Overall Impact”, *International Journal of Production Research*, Vol. 29, pp 2471-2482, 1991.

- [26] Holland J. H., "Adaptation of Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, New York, 1975.
- [27] Cheng, R., Gen, M. Tsujimura, Y., "A Tutorial Survey of Job-shop Scheduling Problems Using Genetic Algorithms, Part II: Hybrid Genetic Search Strategies", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 37, pp 51-55, 1999.
- [28] Karacapilidis N. I., Pappis C. P., "Optimal Due Date Determination and Sequencing of n Jobs on a Single Machine Using SLK Method", *Computers in Industry*, Vol. 21, NO. 3, pp 335-339, 1993.
- [29] Gordon V., Proth J. M., and Chu C., "A Survey of the State-of-art of Common Due Date Assignment and Scheduling Research", *European Journal of Operational Research*, Vol. 139, pp 1-25, 2002.
- [30] JM Usher, KJ Fernandes, "Dynamic Process Planning, Static Phase", *Journal of Materials Processing Technology*, 1996
- [31] Lim M. K., Zhang Z., "A multi-agent Based Manufacturing Control Strategy for REsponsive Manufacturing", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 139, pp 379-384, 2003.
- [32] Tan W. and Khosnevis B., "Integration of Process Planning and Scheduling – A Review", *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 11, pp 51-63, 2000.
- [33] Weintraub, A., Cormier D., Hodgson T., King R., Wilson J., and Zozom A., "Scheduling with Alternatives: A Link Between Process Planning and Scheduling", *IIE Transactions*, Vol. 31, pp 1039-1102, 1999.
- [34] Zalzalá A., Morad N., "Genetic algorithms in integrated process planning and scheduling", *Journal of Intelligent manufacturing*, Vol. 10, pp 169-179, 1999.
- [35] Clark M. Gordon, "Introduction to Manufacturing Applications", *Proceedings of the 28th conference on Winter simulation*, pp 85-92, 1996
- [36] Conway, R., Maxwell, W. and Miller, L. , "Theory of Scheduling, Addison-Wesley Publishing Company.
- [37] Yang, Y.-N., Parsaei, H.R., Leep H.R., "A Prototype of a Feature-based Multialternative Process Planning System with Scheduling Verification", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 39, pp 109-124, 2001.
- [38] Chen Q., Khoshnevis B., "Scheduling with Alternative Process Plans", *Production Planning and Control*, Vol. 4, pp 333-343, 1993

- [39] Saygin C., Kılıc S. E., “Integrating Flexible Process Plans with Scheduling in Flexible Manufacturing Systems”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 18, pp 268-280, 1999.
- [40] Thomalla C. S., “Job Shop Scheduling with Alternative Process Plans”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 74, pp 125-134, 2001.
- [41] Zhao C. W. Wu Z. M., “A Genetic Algorithm Approach to the Scheduling of FMSs with Multiple Routes”, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 13, pp 71-88, 2001.

EKLER

Ek – 1 Büyük Atölye İçin Hibrid İterasyon Örneği

Performans olcusune gore dizilmis populasyon
İterasyon 10

PERF DD DR J0---->Diger isler

Row 0 : 2226.11 13 9 00111002112022211021111101022211120220102021212011212011
200112100002112022000200121110001020021221001100111002101210010102020
101012100121220120201021102111111222000101112111211110021122000012022
002122
Row 1 : 2272.77 12 9 12120210022112010222112020022002112010220001021110001021
202110221220211212210200121110001020021221001100111002101210010102020
1010121001212201202010211021111112220001011121112111201021022001102010
111101
Row 2 : 2284.33 14 9 12120210022112010222112020022002112010220001021112001200
121112210221012002020010101020112110220211121110110201112002122220121
110202012022120212120012111200201112100100020110010111120101102010
111001
Row 3 : 2328.94 13 9 12120212112022211021111101022211120220102021212011212011
200112100002112022000200121110001020021221001100111002101210010102020
101012100121220120201021102111111222120101112111211101021022001102010
111002
Row 4 : 2368.50 13 9 00111002112022211021111101022211120220102021212011212011
2022210211022010210100001211021110200020022012110110201112002122220121
11020220200022211120112021221220211101112202201200110021122000012022
002122
Row 5 : 2408.22 13 9 00111002112022211021111101022211120220102021212011212011
202221021102201021012201202200221021222020222010200221022000210100220
001010112001221112110211201221220211101112202201200120212210021121011
020022
Row 6 : 2416.20 13 9 00111000022112010222112020022002112010220001021110001021
202110221220211212212201202200221021222020212200012210020212100011010
011210101202212021212001211120020111001102222201122220212210021121011
020022
Row 7 : 2430.09 13 9 00111002112022211021111101022211120220102021212011212010
121112210221201021012201202200221021222020222010200201112002122220121
110202201202212021212001211120020111101112202201100120212210021121011
020022
Row 8 : 2479.19 12 9 12120210022112010222112020022002112010220001021110001021
202110221220211212210000121102110200020022012110110201112002122220121
11020220120221202121200121112002011112100100020110010111120101102010
111001
Row 9 : 2481.87 13 9 00002010010200102202010201210100120220102020021021110120
200112100002112022000200121110001020021221001100111002101210010102020
101012100121220120201021102111111222000101112111211110021122000012022
002122

En iyi :2226.11 Ortalama :2369.62 En kotu :2481.87

İterasyon 20

PERF DD DR J0---->Diger isler

Row 0 : 2031.29 12 9 00111002112022211021111101022211120220102021212011212011
201112210002112022000201202200221021222020222010200201101210010102020
10101210012122012020102110211111122200010111211121111010222120010102022
002121
Row 1 : 2041.63 13 9 00111002112022211021111101022211120220102021212110001021
202110221220211212210201202200221021222020222010200201101210010102020
101012100121222111120112022111110211101112202201200120211122000012022
002122

Row 9 : 2037.42 13 9 00 11 1002 11 2022 21 1021 11 11 1010 22 21 11 2022 01 02 02 12 12 01 12 12 01 1
 201 11 22 21 22 02 11 21 22 00 20 12 02 20 02 21 02 12 22 02 02 22 01 02 00 20 11 01 21 00 10 10 20 20
 10 10 12 10 01 21 22 01 11 12 01 12 02 21 11 11 12 21 10 11 12 20 22 01 20 01 20 21 11 22 00 00 12 02 2
 00 21 22

En iyi :1933.14 Ortalama :1975.33 En kotu :2037.42

.....

Iterasyon 40

PERF DD DR J0---->Diger isler

Row 0 : 1839.38 12 9 00 11 1002 11 2022 21 1021 11 11 1010 22 21 11 2022 01 02 02 12 12 01 10 00 10 21
 201 11 22 21 00 02 11 2022 00 02 01 2022 00 22 10 21 22 20 20 22 20 10 20 02 01 10 12 10 01 01 02 02 0
 10 10 12 10 01 21 22 21 11 12 01 12 02 21 11 11 12 22 00 01 01 11 21 11 21 11 10 10 22 21 20 00 01 20 22
 00 21 21

Row 1 : 1875.40 12 9 00 11 1002 11 2022 21 1021 11 11 1010 22 21 11 2022 01 02 02 12 12 01 10 00 10 21
 201 11 22 21 00 02 11 2022 00 02 01 2022 00 22 10 21 22 20 20 22 20 10 20 02 01 10 12 10 01 01 02 02 0
 10 10 12 10 01 21 22 01 11 12 01 12 02 21 11 11 12 22 00 01 01 11 21 11 21 11 10 10 22 21 22 00 00 12 02 2
 00 21 21

Row 2 : 1890.39 12 9 00 11 1002 11 2022 21 1021 11 11 1010 22 21 11 2022 01 02 02 12 12 01 12 12 01 1
 201 11 22 21 20 21 12 02 20 00 20 12 02 20 02 21 02 12 22 02 02 22 01 02 00 20 11 01 21 00 10 10 20 20
 10 10 12 10 01 21 22 21 11 12 01 12 02 21 11 11 12 22 00 01 01 11 21 11 21 11 10 10 22 21 22 00 00 12 02 2
 00 21 21

Row 3 : 1897.52 12 9 00 11 1002 11 2022 21 1021 11 11 1010 22 21 11 2022 01 02 02 12 12 01 12 12 01 1
 201 11 22 21 00 02 11 2022 00 02 01 2022 00 22 10 21 22 20 20 22 20 10 20 02 01 10 12 10 01 01 02 02 0
 10 10 12 10 01 21 22 21 11 12 01 12 02 21 11 11 12 22 00 01 01 11 21 11 21 11 10 10 22 21 20 00 01 20 22
 00 21 21

Row 4 : 1904.70 12 9 00 11 1002 11 2022 21 1021 11 11 1010 22 21 11 2022 01 02 02 12 12 01 10 00 10 11
 201 11 22 21 00 02 11 2022 00 02 01 2022 00 22 10 21 22 20 20 22 20 10 20 02 01 10 12 10 01 01 02 02 0
 10 10 12 10 01 21 22 21 11 12 01 12 02 21 11 11 12 22 00 01 01 11 21 11 21 11 10 10 22 21 20 01 01 20 22
 00 21 21

Row 5 : 1921.38 12 9 00 11 1002 11 2022 21 1021 11 11 1010 22 21 11 2022 01 02 02 12 12 01 10 00 10 21
 201 11 22 21 00 02 11 2022 00 02 01 2022 00 22 10 21 22 20 20 22 20 10 20 02 01 10 12 10 01 01 02 02 0
 10 10 12 10 01 21 22 21 11 12 01 12 02 21 11 11 12 22 00 01 01 11 21 11 21 11 10 10 22 21 22 00 00 12 02 2
 00 21 21

Row 6 : 1922.87 12 9 00 11 1002 11 2022 21 1021 11 11 1010 22 21 11 2022 01 02 02 12 12 01 12 12 02 1
 201 11 22 21 00 02 11 2022 00 02 01 2022 00 22 10 21 22 20 20 22 20 10 20 02 01 10 12 10 01 01 02 02 0
 10 10 12 10 01 21 22 21 11 12 01 12 02 21 11 11 12 22 00 01 01 11 21 11 21 11 10 10 22 21 20 00 01 20 22
 00 21 21

Row 7 : 1926.73 13 9 00 11 1002 11 2022 21 1021 11 11 1010 22 21 11 2022 01 02 02 12 12 01 10 00 10 21
 201 11 22 21 00 02 11 2022 00 02 01 2022 00 22 10 21 22 20 20 22 20 10 20 02 01 10 12 10 01 01 02 02 0
 10 10 12 10 01 21 22 01 20 20 10 21 00 21 11 11 12 22 00 01 01 11 21 11 21 11 10 10 22 21 20 01 01 20 22
 00 21 22

Row 8 : 1933.14 12 9 00 11 1002 11 2022 21 1021 11 11 1010 22 21 11 2022 01 02 02 12 12 01 10 00 10 21
 201 11 22 21 00 02 11 2022 00 02 01 2022 00 22 10 21 22 20 20 22 20 10 20 02 01 10 12 10 01 01 02 02 0
 10 10 12 10 01 21 22 01 20 20 10 21 10 21 11 11 12 22 00 01 01 11 21 11 21 11 10 10 22 21 20 01 01 20 22
 00 21 21

Row 9 : 1940.38 12 9 00 11 1002 11 2022 21 1021 11 11 1010 22 21 11 2022 01 02 02 12 12 01 10 00 10 21
 201 11 22 21 00 02 11 2022 00 02 01 2022 00 22 10 21 22 20 20 22 20 10 20 02 01 10 12 10 01 01 02 02 0
 10 10 12 10 01 21 22 21 11 12 01 12 02 21 11 11 12 22 00 01 01 11 21 11 21 11 10 10 22 21 20 01 01 20 22
 00 21 21

En iyi :1839.38 Ortalama :1905.19 En kotu :1940.38

Program durmadan once en son Iterasyon 40 uygulandi

En son iterasyonda ulasilan

En iyi performans : 1839.38

En iyi teslim tarihi belirleme kurali : 12

En iyi gonderme kurali : 9

Cpu zamani :3701.84 saniye

Ek – 5 Arama Yöntemleri ve Teslim Tarihi Yaklaşımları Sonuçları

| Atölye Ölçeği | Teslim Tarihi Yaklaşımı | RSÜ | Arama Yöntemi | En İyi | Ortalama | En Kötü |
|---------------|-------------------------|------|---------------|--------|----------|---------|
| Küçük | RDM | 807 | Rassal | 2.44 | 2.71 | 2.87 |
| Küçük | RDM | 807 | Genetik | 1.80 | 2.02 | 2.13 |
| Küçük | RDM | 807 | Hibrid | 1.84 | 1.93 | 2 |
| Küçük | RDM | 1105 | Rassal | 2.3 | 2.75 | 2.84 |
| Küçük | RDM | 1105 | Genetik | 1.95 | 2.03 | 2.08 |
| Küçük | RDM | 1105 | Hibrid | 2.07 | 2.12 | 2.14 |
| Küçük | RDM | 1303 | Rassal | 2.01 | 2.25 | 2.42 |
| Küçük | RDM | 1303 | Genetik | 1.82 | 1.87 | 1.89 |
| Küçük | RDM | 1303 | Hibrid | 1.53 | 1.58 | 1.61 |
| Küçük | PPW | 807 | Rassal | 1.97 | 2.14 | 2.20 |
| Küçük | PPW | 807 | Genetik | 1.41 | 1.52 | 1.56 |
| Küçük | PPW | 807 | Hibrid | 1.29 | 1.45 | 1.51 |
| Küçük | PPW | 1105 | Rassal | 2.04 | 2.19 | 2.24 |
| Küçük | PPW | 1105 | Genetik | 1.52 | 1.57 | 1.61 |
| Küçük | PPW | 1105 | Hibrid | 1.39 | 1.47 | 1.53 |
| Küçük | PPW | 1303 | Rassal | 2.06 | 2.19 | 2.26 |
| Küçük | PPW | 1303 | Genetik | 1.49 | 1.62 | 1.68 |
| Küçük | PPW | 1303 | Hibrid | 1.55 | 1.64 | 1.70 |
| Küçük | Bütünleşik | 807 | Rassal | 2.33 | 2.39 | 2.54 |
| Küçük | Bütünleşik | 807 | Genetik | 1.59 | 1.71 | 1.80 |
| Küçük | Bütünleşik | 807 | Hibrid | 1.56 | 1.62 | 1.68 |
| Küçük | Bütünleşik | 1105 | Rassal | 1.96 | 2.32 | 2.48 |
| Küçük | Bütünleşik | 1105 | Genetik | 2.71 | 4.53 | 4.77 |
| Küçük | Bütünleşik | 1105 | Hibrid | 1.52 | 1.6 | 1.64 |
| Küçük | Bütünleşik | 1303 | Rassal | 2.23 | 2.39 | 2.54 |
| Küçük | Bütünleşik | 1303 | Genetik | 1.88 | 1.99 | 2.07 |
| Küçük | Bütünleşik | 1303 | Hibrid | 1.59 | 1.69 | 1.76 |

| | | | | | | |
|-------------|-------------------|-------------|----------------|--------|--------|--------|
| Orta | RDM | 807 | Rassal | 496.24 | 564.15 | 625.93 |
| Orta | RDM | 807 | Genetik | 185.79 | 216.08 | 239.14 |
| Orta | RDM | 807 | Hibrid | 89.04 | 134.02 | 148.50 |
| Orta | RDM | 1105 | Rassal | 511.55 | 568.49 | 613.25 |
| Orta | RDM | 1105 | Genetik | 267.16 | 289.81 | 304.68 |
| Orta | RDM | 1105 | Hibrid | 286.73 | 273.06 | 302.71 |
| Orta | RDM | 1303 | Rassal | 512.44 | 612.89 | 674.84 |
| Orta | RDM | 1303 | Genetik | 153.54 | 194.47 | 210.28 |
| Orta | RDM | 1303 | Hibrid | 367.36 | 414.36 | 436.67 |
| Orta | PPW | 807 | Rassal | 651.24 | 695.66 | 721.76 |
| Orta | PPW | 807 | Genetik | 491.26 | 511.01 | 523.63 |
| Orta | PPW | 807 | Hibrid | 438.30 | 489.23 | 510.43 |
| Orta | PPW | 1105 | Rassal | 424.53 | 615.65 | 708.77 |
| Orta | PPW | 1105 | Genetik | 299.95 | 354.27 | 376.99 |
| Orta | PPW | 1105 | Hibrid | 224.46 | 260.14 | 284.04 |
| Orta | PPW | 1303 | Rassal | 655.80 | 690 | 713.79 |
| Orta | PPW | 1303 | Genetik | 453.24 | 503.12 | 524.33 |
| Orta | PPW | 1303 | Hibrid | 294.45 | 313.08 | 327.88 |
| Orta | Bütünleşik | 807 | Rassal | 7.17 | 7.70 | 8.24 |
| Orta | Bütünleşik | 807 | Genetik | 5.93 | 6.12 | 6.22 |
| Orta | Bütünleşik | 807 | Hibrid | 6.32 | 6.40 | 6.45 |
| Orta | Bütünleşik | 1105 | Rassal | 6.91 | 7.99 | 8.54 |
| Orta | Bütünleşik | 1105 | Genetik | 5.71 | 5.79 | 5.88 |
| Orta | Bütünleşik | 1105 | Hibrid | 5.82 | 5.91 | 5.98 |
| Orta | Bütünleşik | 1303 | Rassal | 6.89 | 7.93 | 8.41 |
| Orta | Bütünleşik | 1303 | Genetik | 5.71 | 5.78 | 5.86 |
| Orta | Bütünleşik | 1303 | Hibrid | 6.91 | 6.04 | 6.08 |

| | | | | | | |
|--------------|-------------------|-------------|----------------|---------|---------|---------|
| Büyük | RDM | 807 | Rassal | 4644 | 4801.12 | 4849.65 |
| Büyük | RDM | 807 | Genetik | 4535.43 | 4629.45 | 4675.24 |
| Büyük | RDM | 807 | Hibrid | 4644 | 4801.12 | 4849.65 |
| Büyük | RDM | 1105 | Rassal | 4369.42 | 4417.63 | 4441.77 |
| Büyük | RDM | 1105 | Genetik | 4457.90 | 4529.47 | 4547.59 |
| Büyük | RDM | 1105 | Hibrid | 4369.42 | 4417.63 | 4441.77 |
| Büyük | RDM | 1303 | Rassal | 4869.94 | 4951.47 | 4995.73 |
| Büyük | RDM | 1303 | Genetik | 4979.85 | 5034.51 | 5074.22 |
| Büyük | RDM | 1303 | Hibrid | 4869.94 | 4951.97 | 4995.73 |
| Büyük | PPW | 807 | Rassal | 5162.47 | 5424.03 | 5607.55 |
| Büyük | PPW | 807 | Genetik | 4550.83 | 4590.33 | 4636.95 |
| Büyük | PPW | 807 | Hibrid | 4302.05 | 4528.90 | 4617.43 |
| Büyük | PPW | 1105 | Rassal | 5174.33 | 5384.12 | 5437.53 |
| Büyük | PPW | 1105 | Genetik | 4709.96 | 4753.06 | 4796.12 |
| Büyük | PPW | 1105 | Hibrid | 4588.29 | 4645.49 | 4701.82 |
| Büyük | PPW | 1303 | Rassal | 5162.47 | 5424.03 | 5607.55 |
| Büyük | PPW | 1303 | Genetik | 4607.73 | 4705.98 | 4741.46 |
| Büyük | PPW | 1303 | Hibrid | 4505.34 | 4566.90 | 4630.08 |
| Büyük | Bütünleşik | 807 | Rassal | 2423.73 | 2679.29 | 2909.84 |
| Büyük | Bütünleşik | 807 | Genetik | 2088.62 | 2119.72 | 2139.02 |
| Büyük | Bütünleşik | 807 | Hibrid | 1978.78 | 2029.76 | 2074.12 |
| Büyük | Bütünleşik | 1105 | Rassal | 2384.49 | 2716.96 | 2920.52 |
| Büyük | Bütünleşik | 1105 | Genetik | 1740.73 | 1838.02 | 1897.25 |
| Büyük | Bütünleşik | 1105 | Hibrid | 1839.38 | 1905.19 | 1940.38 |
| Büyük | Bütünleşik | 1303 | Rassal | 2229.19 | 2728.49 | 2968.02 |
| Büyük | Bütünleşik | 1303 | Genetik | 1913.10 | 1979.65 | 2017.96 |
| Büyük | Bütünleşik | 1303 | Hibrid | 2009.63 | 2068.33 | 2125.87 |

ÖZGEÇMİŞ

Erdem Çeven, 26.10.1983 de Sivas'da doğdu. İlköğretimine Malatya Atatürk ilkokulunda başladı ve sırasıyla Malatya Üniversitesi Kampüs İlkokulu, Kayseri Atatürk İlkokulu'nda okuyarak tamamladı. 1994 yılında Anadolu Liseleri sınavı ile Ali Sami Yangın Anadolu Lisesi'ni kazandı. Bir sene ingilizce hazırlık ve ortaokul birinci sınıfı burada okuduktan sonra Sakarya Anadolu Lisesi'nde eğitimine devam etti. Lise iki ve üçüncü sınıflarını ise Denizli Anadolu Lisesi'nde okuyarak 2001 yılında mezun oldu. Aynı yıl içinde ÖSYS sınavı sonuçlarına göre Çankaya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde tam burslu olarak eğitim görmeye hak kazanmıştır. 2005 yılında üniversiteden mezun olmuş, mezuniyetini takiben Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansa başlamıştır. 2006 yılında Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne araştırma görevlisi olarak akademik kariyerine başlamış ve halen bu görevini sürdürmektedir.