

Tekrar İşlemeli Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi İçin Yapay Bağışıklık Sistemi
İle Bir Çözüm Yaklaşımı

Alper ALADAĞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat 2010

A Solution Approach for Flexible Job Shop Scheduling Problem with Reentrant Process
Using Artificial Immune System

Alper ALADAĞ

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

February 2010

Tekrar İşlemeli Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi İçin Yapay Bağışıklık Sistemi
İle Bir Çözüm Yaklaşımı

Alper ALADAĞ

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Yöneylem Araştırması Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Aydın SİPAHİOĞLU

Şubat 2010

ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Alper Aladağ'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Tekrar İşlemeli Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi İçin Yapay Bağışıklık Sistemi İle Bir Çözüm Yaklaşımı” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Aydın SİPAHİOĞLU

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Yrd. Doç. Dr. Aydın SİPAHİOĞLU

Üye : Prof. Dr. Bülent DURMUŞOĞLU

Üye : Prof. Dr. Atilla İŞLİER

Üye : Yrd. Doç. Dr. Servet HASGÜL

Üye : Yrd. Doç. Dr. İnci SARIÇİÇEK

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

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

TEZ KONUSU

Tekrar İşlemeli Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi İçin Yapay Bağışıklık Sistemi
İle Bir Çözüm Yaklaşımı

ADI SOYADI

Alper ALADAĞ

ÖZET

Atölye tipi çizelgeleme, NP-Zor sınıfında yer alan, en zor kombinatoriyel eniyileme problemleri arasındadır. Atölye tipi çizelgelemede, paralel makinelerin kullanımı ile ortaya çıkan Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi (EATÇP) ise karmaşıklık derecesi klasik atölye tipi çizelgeleme problemlerinden daha fazla olan bir problem türüdür. Bu tür problemlerin çözümünde eniyi çözümü garanti eden klasik yaklaşımlar yetersiz kalmakta ve bu nedenle söz konusu problemlerin çözümünde sık sık sezgisel ve metasezgisel yaklaşımlara başvurulmaktadır.

Yapay Bağışık Sistemi (YBS), canlılardaki bağışıklık sisteminin, hesaplama problemlerinde taklit edilmesi sonucu ortaya çıkmış sezgisel bir problem çözüm yaklaşımıdır.

Bu çalışmada, tekrar işlemeli (geri dönüşlü) esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için YBS'yi kullanan bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşımın başarılı sonuçlar verdiği literatürdeki test problemleri kullanılarak gösterilmiştir. Ayrıca önerilen yaklaşım ile çok büyük boyutlu bir gerçek hayat problemi de başarıyla çözülmüştür. Bu amaçla geliştirilen program, diğer Esnek Atölye tipi çizelgeleme problemlerinde de uygulanabilecek yapıda tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tekrar İşleme (Geri Dönüş), Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme, Paralel Makineler, Yapay Bağışıklık Sistemi

THESIS TITLE

A Solution Approach for Flexible Job Shop Scheduling Problem with Reentrant Process Using Artificial Immune System

NAME LASTNAME

Alper ALADAĞ

SUMMARY

Job Shop Scheduling Problem (JSSP) is one of the hardest problems in NP-Hard class problems. Flexible job shop scheduling problem that occurs parallel machines in job shop is harder and more complex than JSSP. Classical Methods that ensure optimal solutions cannot sufficient to solve this problem type. Therefore, lots of heuristic and metaheuristic methods are used to solve these problems, frequently.

Artificial Immune System that occurs using biological immune system to solve computation problems is a heuristic problem solving approach.

In this study, a new solution approach using AIS has been developed for flexible job shop scheduling with reentrant process. It was shown that the proposed approach could obtain successful results on some test problems taken from literature. Besides, a large scale real life problem was solved successfully. The program developed for this purpose was designed so as to use other flexible job shop scheduling problem.

Keywords: Reentrant Process, Flexible Job Shop Scheduling, Parallel Machines, Artificial Immune System

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım süresince sabırla beni destekleyen, moral motivasyonumun yüksek seviyede kalmasını sağlayan, bilgi ve tecrübesiyle çalıőmalarımın olgunlaőmasında değerli katkıları bulunan danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Aydın SİPAHİOğLU'na, yüksek lisans sürecim boyunca derslerime ve çalıőmalarıma devam edebilmem konusunda sabırla ve anlayıőla beni destekleyen sayın komutanım Hv.İkm.Alb.Vefa DOğU'ya, tez hazırlık çalıőmalarımın uygulama problemi ile ilgili kısımlarında bilgi ve desteğini esirgemeyen 1'inci HİBM K.lığı İmalat Atölyeleri Müdürü Hv.Müh.Yzb. Muzaffer BAKİ'ye ve diğer 1'inci HİBM K.lığı personeline, ayrıca sabır ve anlayıőıyla beni destekleyen eőim Memnune ALADAğ'a teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
SUMMARY.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÜRETİM PLANLAMA VE ÇİZELGELEME.....	5
2.1. Çizelgeleme.....	5
2.2. Üretim Planlama ve Kontrol.....	6
2.3. Üretim Çizelgeleme.....	8
2.4. Çizelgeleme Türleri.....	11
2.4.1. Tesis yerleşimi türleri ve çizelgeleme.....	11
2.4.2. Tesisteki atölye yapısı.....	12
2.4.2.1. Ortamdaki makine sayısına göre atölye yapısı.....	12
2.4.2.2. İşlerin atölyedeki akış şekline göre atölye yapısı.....	13
2.4.2.3. İşlerin atölyeye gelişine göre atölye yapısı.....	14
2.4.3. Başarı ölçütü.....	14
2.5. Çizelgeleme Problemlerinin Gösterimi.....	15
2.6. Çizelgeleme Yaklaşımları.....	20
2.6.1. Matematiksel teknikler.....	20
2.6.1.1. Doğrusal programlama.....	20
2.6.1.2. Dal sınır teknikleri.....	20
2.6.2. Sezgisel yöntemler.....	21
2.6.2.1. Öncelik kuralları.....	21
2.6.2.2. Darboğaz kaydırma teknikleri.....	22
2.6.2.3. Yerel arama ve yapay zeka teknikleri.....	23
3.1. Genel Bilgi.....	24
3.2. EATÇP İçin Çözüm Yaklaşımları.....	25
3.2.1. Hiyerarşik yaklaşım.....	25
3.2.2. Bütünleşik yaklaşım.....	26
3.3. EATÇP'nin Ayrık Serimi ve Kritik İşlerin Belirlenmesi.....	26
3.3.1. Ayrık serim.....	26
3.3.2. En erken ve en geç olay zamanı.....	27
3.4. EATÇP ve Literatürdeki Çalışmalar.....	28
4. YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMLERİ.....	33
4.1. Canlılarda Bağışıklık Sistemi.....	33
4.1.1. Bağışıklık sistemi organları.....	34
4.1.2. Bağışıklık hücreleri.....	36
4.1.2.1. Lenfositler.....	37
4.1.2.2. Fagositler, gronüositler ve akrabaları.....	39
4.1.2.3. Kompleman sistem.....	40
4.1.3. Bağışıklık sisteminin çalışması.....	41
4.1.4. Kendinden ve kendinden olmayan ayrımı.....	43
4.2. Yapay Bağışıklık Sistemleri.....	45

4.2.1. Negatif seçim mekanizması.....	45
4.2.2. Klonal seçim mekanizması.....	47
5. GELİŞTİRİLEN YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ YAKLAŞIMI	49
5.1. Antikor Gösterimi	50
5.2. İlk Popülasyon	51
5.3. Klonlama	52
5.4. Somatik Hipermutasyon.....	52
5.5. Reseptör Denetimi	54
5.6. Hafıza Hücreleri.....	55
5.7. İş Rotalaması	55
6. ELE ALINAN PROBLEM VE HESAPLAMA SONUÇLARI	56
6.1. Uygulama Yapılan Kurum	56
6.2. Karşılaşılan Problem.....	57
6.3. Çözüm ve Sonuçlar	60
6.3.1. Parametrelerin belirlenmesi.....	60
6.3.2. Test problemlerinin çözümüyle elde edilen sonuçlar	61
6.3.3. Gerçek hayat probleminin çözümüyle elde edilen sonuçlar.....	64
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	69
EKLER	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Bir Üretim Planlama Sistemi.....	7
Şekil 2.2. Bir üretim sistemindeki bilgi akışı.....	10
Şekil 3.1. EATÇP için örnek bir ayırık serim diyagramı.....	30
Şekil 4.1. Bağışıklık Sistemi Organları	40
Şekil 4.2. Bağışıklık Sistemindeki Hücreler ve Salgılar	41
Şekil 4.3. Antikorun Yapısı	42
Şekil 4.4. Fagositik Hücreler.....	44
Şekil 4.5. Kompleman Zincir Reaksiyonu (Kompleman Kaskad).....	45
Şekil 4.6. Bağışıklık Mekanizmasının İşleyişi.....	47
Şekil 4.7. Klonal Seçim Mekanizması.....	49
Şekil 4.8. Negatif Seçim Mekanizması	51
Şekil 4.9. CLONALG algoritmasının akış diyagramı.....	52
Şekil 5.1. Geliştirilen YBS'ndeki İşleri Tekrarlı Permütasyon Gösterimi	54
Şekil 5.2. Operasyonların Makinelere Atanması	55
Şekil 5.3 Antikor Gösterimi	55
Şekil 5.4 Araya Girme Mutasyonu Örneği	56
Şekil 5.5 Karşılıklı Yer Değiştirme(Swap) Mutasyonu Örneği	57
Şekil 5.6 Tek Makine Değiştirme Mutasyonu Örneği	57
Şekil 5.7 İki Makine Değiştirme Mutasyonu Örneği	58
Şekil 6.1. Uygulama Probleminin Çözümüne Ait Gantt Şeması.....	68
Şekil 6.2. Uygulama Problemine Ait Nesil Sayısı-Cenb Grafiği.....	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı İşlemlerin Öncelik Seçim Kuralları	2
Çizelge 5.1. Çizelgeleme Problemlerinin YBS İle Çözümünde	
Kullanılan Kavramlar.	53
Çizelge 6.1. Programın 5 kez koşturulması sonucu elde edilen ortalama değerler	64
Çizelge 6.2. Elde Edilen Test Sonuçlarının Gruplara Göre Ortalama Değerleri.....	64
Çizelge 6.3. Brandimarte (1993)'ye ait BRdata test problemlerinde elde edilen.....	
eniye değerler.....	65

1. GİRİŞ

Üretim, fiziki bir varlık üzerinde değer artırıcı işlemler yapmak suretiyle hammadde ve yarı ürünlerin, ürünlere dönüşümüdür (Bitran,1989).

İşletmelerin günümüz rekabet ortamında ayakta kalabilmeleri, ürettikleri ürün ya da hizmeti hem daha kaliteli hem de daha ucuza mal etmeleri ile mümkün olmaktadır. Üretim faaliyetleri, her geçen gün gelişen üretim teknikleri ve büyüyen üretim sistemleri nedeniyle karmaşıklaşmış, basit üretim kontrol faaliyetleriyle başa çıkılmaz bir hale gelmiştir. Eskiden basit yaklaşımlarla iş sahipleri tarafından bile kontrol edilebilen üretim faaliyetleri; zaman içinde, kullanılan yöntem, araç ve teknoloji değişikliklerine bağlı olarak karmaşıklaşmış ve bunların ancak üst düzeyde eğitilmiş ve gelişen yöntemleri takip eden kişilerce yapılmasını zorunlu kılmıştır.

Bir üretim sisteminde, karar vermeyi gerektiren birçok faaliyet mevcuttur. Bu faaliyetler hiyerarşik olarak üç seviyede oluşur. Bunlar; stratejik, taktik ve operasyonel kontrol seviyesidir (Bitran, 1989).

Üretim yönetimi açısından stratejik seviyede üretim tesislerinin tasarımı kapsamında, kurulacak tesislerin yeri ve sayısı, yeni teçhizatların edinimi, yeni üretim hatlarının seçimi ve lojistik sistemlerin tasarımı gibi konular yer alır.

Taktik seviyede verilen kararlar, kaynakların nasıl kullanılacağı konusuna odaklanmıştır. Fiziksel tesislerle ilgili problem çözüldükten sonra, bu tesislerdeki işgücü, kapasite, depolama ve dağıtım kaynaklarının nasıl tahsis edileceği planlanır. Planlanan üretim çizelgesi, stok, makine kapasitesi, bakım planı ve işçi verimliliği gibi bazı atölye kısıtları ile koordine edilir.

Operasyonel kontrol seviyesinde verilen kararlar ise, üst seviyelerde alınan kararlara bağlı olarak gelen bilgiler doğrultusunda detaylandırılarak çözülmesi gereken operasyonel ve çizelgeleme problemlerinin gün gün takibinin yapılması ile ilgilidir. Buradaki tipik kararlar; üretim sıralama ve parti büyüklüğü belirleme, müşteri siparişlerinin makinelere atanması, stokmuhasbesi ve stokkontrol faaliyetleri,

siparişlerin önceliklendirilmesi, atölyelerdeki iş akışının belirlenmesi ve işlenmesinin yanında araçların çizelgelemesi ile ilgilidir.

Operasyonel kontrol seviyesinde ise, planlanan üretim çizelgelerinin uygulanabilmesi için, işlerin akışı sürekli olarak düzenlenir ve beklenmedik olaylarla bozulan çizelgeler derhal güncelleştirilir.

Üretim faaliyetleri, atölyede ortamı çok dinamik olduğu için planlandığı gibi gerçekleşmeyebilir. Atölyede ortaya çıkan problemler, atölyenin dinamik ortamı, problemlere ait kararların zaman kısıtı altında alınması gerekliliği ve çok fazla bilgi gerektirmesi nedeniyle oldukça karmaşık niteliktedir. Atölyede ortaya çıkan problemlerin en önemlilerinden biri işlerin atölyede çizelgelenmesidir.

Çizelgeleme, kısıtlı kaynakların, işlemlere zamana dayalı olarak tahsis edilmesidir (Pinedo, 2002). Çizelgeleme, başka bir deyişle bir veya birden fazla amacı eniyilemeye çalışan bir karar verme sürecidir. Çizelgelemeye örnek olarak, okullarda derslerin yapılacağı sınıfların belirlenmesi, hastane kliniklerinde muayene olacak hastaların sıralanması, fabrikalarda makinelerin bakım ve onarım sıralarının belirlenmesi, yapılacak işlerin makinelere atanması v.b. verilebilir.

Üretim çizelgeleme, bir ürünü oluşturan iş parçalarının eldeki tek veya çok sayıdaki makinelerde hangi sırada ve ne zaman işleneceğinin saptanmasıdır. Üretim çizelgeleme problemleri, üretim tipine göre çok farklı biçimlerde olabilir.

Günümüzde çizelgelemenin önemi, müşteri talebi ve çeşitliliğinin artması, ürün ömür devrinin azalması, global rekabet içinde sürekli değişen pazar yapısı ve yeni süreçlerde ve teknolojilerdeki hızlı değişimler nedeniyle oldukça artmış durumdadır. Değişen bu iş ortamının gereksinimlerini karşılayabilmek için, daha esnek üretim sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur. İstenen amaçlara ulaşmak için sadece esnek ve otomatik makinelerin yanı sıra esnek çizelgeleme sistemleri kurabilme zorunluluğu da ortaya çıkmıştır (Ho et al., 2006). Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi (EATÇP), klasik atölye tipindeki işlerin sadece bir makine yerine, birden fazla makinede işlenebilme durumunun olduğu problem tipini belirtmektedir. Yani klasik atölye tipi

çizelgeleme probleminin daha da genelleştirilmiş halidir. EATÇP, işlerin en iyi şekilde sıralanmasının yanı sıra, bu işlere en iyi makinelerin atanması kararını da içerir.

Bu çalışmada, literatürdeki en karmaşık ve zor problemlerden biri olarak anılan yer alan Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü için canlılardaki bağışıklık sistemini taklit eden Yapay Bağışıklık Sistemi algoritması temelli bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım öncelikle literatürde BRdata olarak bilinen test problemleri üzerinde test edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edildiği gösterilmiştir. Söz konusu algoritma daha sonra Türk Hava Kuvvetleri Komutanlığına ait jet uçaklarının bakım ve onarımının yapıldığı 1. Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığının (1. HİBM) imalat atölyelerinde karşılaşılan esnek atölye tipi çizelgeleme probleminin çözümü için kullanılmıştır. Bahsedilen imalat atölyelerinde bir uçakta bulunan çeşitli sistemlerin ve parçaların üretimleri yapılmaktadır. İmalatta ürünler, çok fazla işlemde geçmekte, birden fazla atölyeye uğramakta ve daha önce uğradığı makineye sonraki işlem adımlarında tekrar uğrayabilmektedir. Yapılan çalışmada problemin çok büyük olması nedeniyle, en kritik imalat atölyeleri seçilerek bu atölyelerde çizelgeleme uygulaması ele alınmıştır.

Önerilen yaklaşımdaki yapay bağışıklık algoritması bu türdeki bütün problemlere uygulanabilecek şekilde parametrik olarak MatLab ile kodlanmıştır. Literatürden alınan toplam 10 test problemi ve 1. HİBM K.lığında karşılaşılan çizelgeleme problemi geliştirilen yazılım ile çözülmüştür.

Çalışma 7 bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde çizelgeleme kavramı ve bu kavramla ilgili tanımlar, çizelgeleme problemi türleri, çizelgeleme problemi ilgili literatürde bulunan çözüm yaklaşımları ele alınmıştır. Üçüncü bölümde, ele alınan problemin içinde yer aldığı çizelgeleme problemi türü olan Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri (EATÇP) hakkında genel bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde ele alınan problemin çözümü için geliştirilen algoritmada kullanılan Yapay Bağışıklık Sistemleri (YBS) ve uygulama alanları tanıtılmıştır. Beşinci bölümde ele alınan problem için geliştirilen YBS algoritması tanıtılmıştır. Altıncı bölümde uygulama yapılan kurum olan 1. Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığı hakkında genel bilgi verilmiş, çözülecek problemin tanımı ile bunun literatürdeki çizelgeleme problemleri

arasındaki yeri belirlenmiş ve geliştirilen algoritmanın, bilgisayar ortamında test edilmesiyle elde edilen sonuçlara yer verilmiştir. Sonuç ve öneriler bölümünde ise çalışmada elde edilen bulgular ve sonuçlar tartışılmış ve gelecek çalışmalara ışık tutacak öneriler getirilmiştir.

2. ÜRETİM PLANLAMA VE ÇİZELGELEME

2.1. Çizelgeleme

Çizelgeleme, işlerin etkili etkin ve düzenli bir şekilde kaynaklara tahsisi işlemidir (Pinedo, 2002). Genel olarak, işlerin ihtiyaç duyduğu çok farklı kaynaklar söz konusudur ve diğer yandan da kaynakların miktarı ve işler için gerekli zaman oldukça kısıtlıdır. Ayrıca işlerin belirli bir zaman aralığında ve belirli bir sıraya göre bitirilmesine de ihtiyaç duyulabilir. Bu dinamikler işlerin ve bunun yanısıra kaynakların çok farklı kısıtlara sahip olabileceği anlamına gelir ve bu yüzden çizelgeleme çok karmaşık bir süreçtir.

Örnek olarak, bir okuldaki derslerin çizelgelenmesini ele alınsın. Buradaki iş, öğrencilerin farklı derslere atanmasıdır. Burada bir sınıfta oturabilecek öğrenci sayısı, okuldaki sınıf sayısı, ders verebilecek öğretmen sayısı, okuldaki toplam çalışma saati, ders aralarındaki teneffüs için gereken süre v.b. gibi bir çok kısıt söz konusudur. Görüldüğü gibi çok basit gibi görünen bir okuldaki öğrencilere göre ders çizelgesi hazırlanması işlemi bile, oldukça karmaşık yapıya sahip bir karar verme problemine dönüşebilmektedir. Ayrıca öğrenciler, öğretmenler, ders saatleri, derslik sayısı gibi bir çok kaynak kısıtının da göz önüne alınması gerekmektedir.

Çizelgeleme, kaynakların çakışmalarını önleyerek dengeli bir şekilde tahsisini sağlarken, okuldaki çalışma saatlerinin eniyi şekilde kullanımını sağlayacak, ayrıca öğrencilerin ve öğretmenlerin okulda geçirdiği gereksiz zamanları da enküçükleyecek şekilde, etkin bir yapıya sahip olmalıdır. Çizelgeleme, işlemleri gerçek hayat ortamlarında oldukça yaygın olarak yapılmaktadır; bu çalışmaların en çok görüldüğü alanlar ise bir üretim tesisindeki işlerin çizelgelenmesi, okullarda ders çizelgelerinin yapılması, havaalanlarında uçakların iniş, kalkışlarının ve uçuş mürettebatının çizelgelenmesi, örnek olarak gösterilebilir.

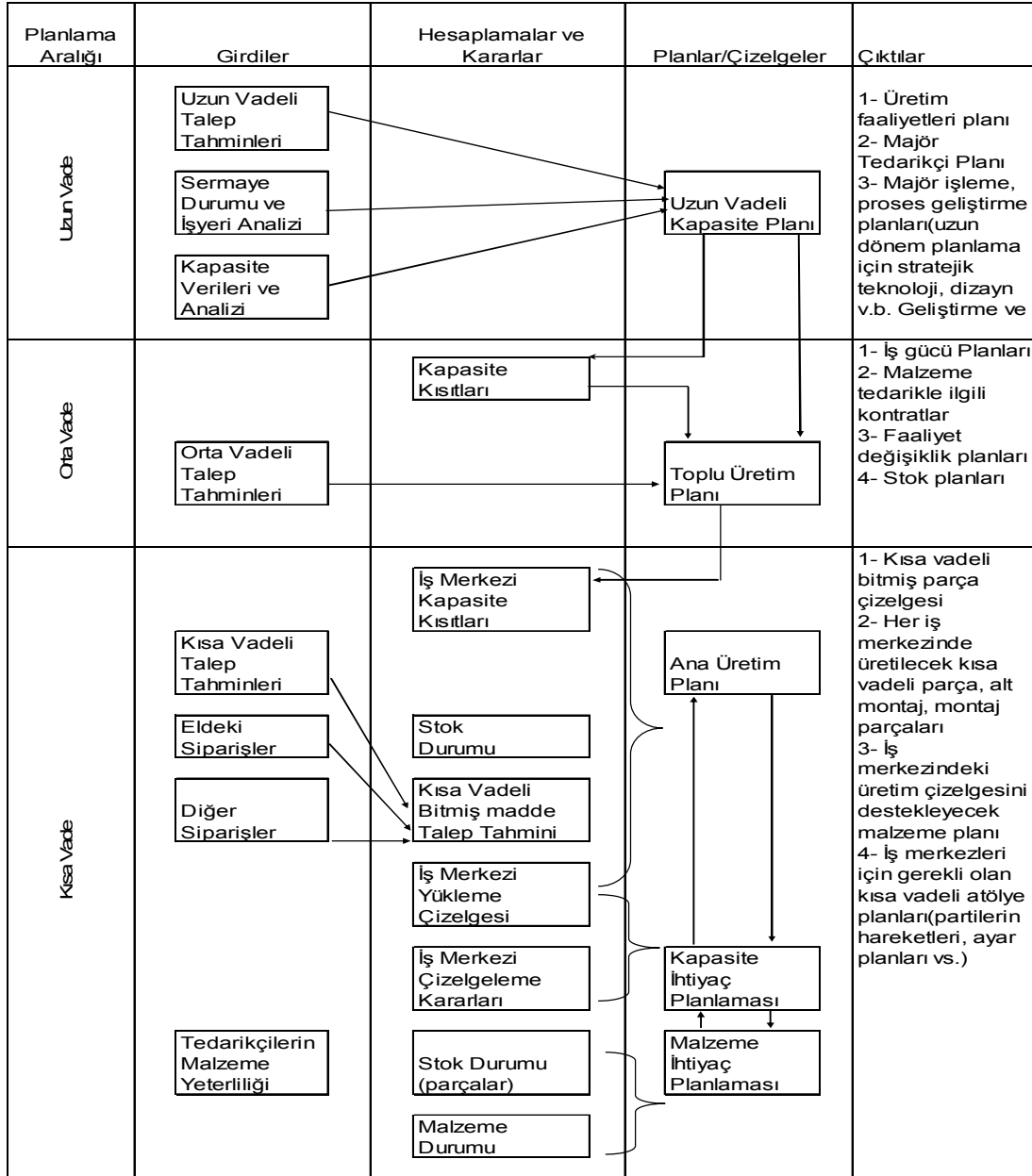
2.2. Üretim Planlama ve Kontrol

Üretim, en yalın tanımıyla yaratılan değerdir. Üretim planlama ve kontrol ise bir üretim yönetimi etkinliği olarak üretilecek ürünü belirlemek, üretim için donanım gereğini saptamak ve ürünlerin istenen kalite ve maliyette, istenen sürede, doğru zamanlarda ve istenen miktarlarda oluşumunu sağlayacak çizelgeleme, programlama çalışmalarını kapsar. Diğer bir ifadeyle gelecekteki faaliyetlerin (veya miktarlarının) düzeylerini veya sınırlarını belirleyen ve gerekli zamanlarda önlem alan fonksiyona üretim planlama ve kontrol denir. Görüldüğü üzere Üretim Planlama ve Kontrol, planlama ve kontrol olmak üzere iki ana faaliyetten oluşmaktadır. Üretim planlama ne zaman, ne miktarda, nerede ve hangi olanaklar ile üretimin yapılacağı ile ilgilenirken; üretim kontrol planlanan üretime uygunluğu denetler ve aksaklıkları gidermeye çalışır. Kobu (1987)'ya göre üretim planlamanın aşamaları şu şekilde ifade edilebilir:

- Üretim planının kapsayacağı zaman aralığı tespit edilir
- Ekonomik stok düzeyleri hesaplanır
- Talep tahminleri yapılır
- Plan dönemi başındaki ve sonundaki stok düzeyleri belirlenir
- Başlangıç ve bitiş stokları arasındaki fark bulunur
- Planlama dönemi içinde üretilmesi gereken miktar bulunur
- Üretilmesi gereken miktar dönem dilimlerine dağıtılır.

Üretim planlama farklı örgüt düzeylerinde ve değişik zaman aralıklarını içerecek şekilde oluşur (Şekil 2.1.). Firmanın üst yönetimi uzun vadeli kapasite planlarını oluşturur. Bu yüksek düzeyli planlar genellikle üretim hatları, fabrikalar, pazarlarla ilgili olup yıl ölçeğindedir. Bir aşağı düzeyde işlemlerin yönetilmesinden sorumlu yöneticiler orta vadeli planlar oluşturur. Bu planlar ürünlerin ayrıntılı planları yerine toplu üretim miktarlarını içerir. Kısa vadeli planlar (çizelgeler) fabrika düzeyinde

oluşturulur ve ayrıntılı olarak ürünlerin üretim miktarlarını ve üretilecekleri zamanları içerir. Haftalık ya da aylık olabilirler (Kobu, 1987).



Şekil 2.1. Bir Üretim Planlama Sistemi

2.3. Üretim Çizelgeleme

Bir üretim tesisindeki çizelgeleme faaliyetleri, gelen işlerin, o işlerin yapılması için gerekli kaynaklara (makine, zaman, işgücü v.b.) atanması süreci ile ilgilidir.

Üretim tesisleri karmaşık, dinamik ve rassal sistemlerdir. Planlı bir üretim faaliyetinin başından itibaren, işçiler, yöneticiler, mühendisler ve üst yöneticiler, üretim faaliyetlerini kontrol altında tutabilmek için birçok pratik ve akıllıca yöntemler geliştirirler. Birçok imalat organizasyonu, kontrol edilebilen belirli aktivitelerin yerine getirilebilmesi için, üretim çizelgeleri hazırlarlar ve bunları sürekli güncellerler. Üretim çizelgeleri, faaliyetleri koordine ederken, üretkenliği artırır ve işletme maliyetlerini düşürür. Bir üretim çizelgesi kaynak çatışmalarını tanımlar, işlerin atölyeye gelişlerini kontrol eder, ihtiyaç duyulan hammaddenin zamanında sipariş edilmesini sağlar, sipariş teminatlarının karşılanıp karşılanamayacağına karar verir ve önleyici bakım için gerekli zaman aralıklarının belirlenmesini sağlar (Herrmann, 2007).

Çizelgelemede önceliklendirme ve kapasite olmak üzere iki ana problem vardır. Yani hangi iş önce yapılacağı ve o işi kimin yapacağı soruları cevaplanmaya çalışılmaktadır (Herrmann, 2007).

Bitran (1989)'a göre üretim çizelgeleme, ürün veya hizmet üretimi için kaynakların tahsisini ve işlerin sıralanması ile ilgilidir. Tahsis ve sıralama kararları birbiri ile yakından alakalı olsa da aralarındaki ilişkiyi matematiksel olarak modellemek oldukça zordur.

Çizelgeleme, aşağıdaki sorunlarla ilgilidir (Brucker, 2007):

- Hangi iş merkezi hangi işi yapacak?
- Bir işlem/iş ne zaman başlayacak ne zaman bitecek?
- İş hangi donanımla, kim tarafından yapılacak?
- İşlemlerin/işlerin sıralaması ne olacak?

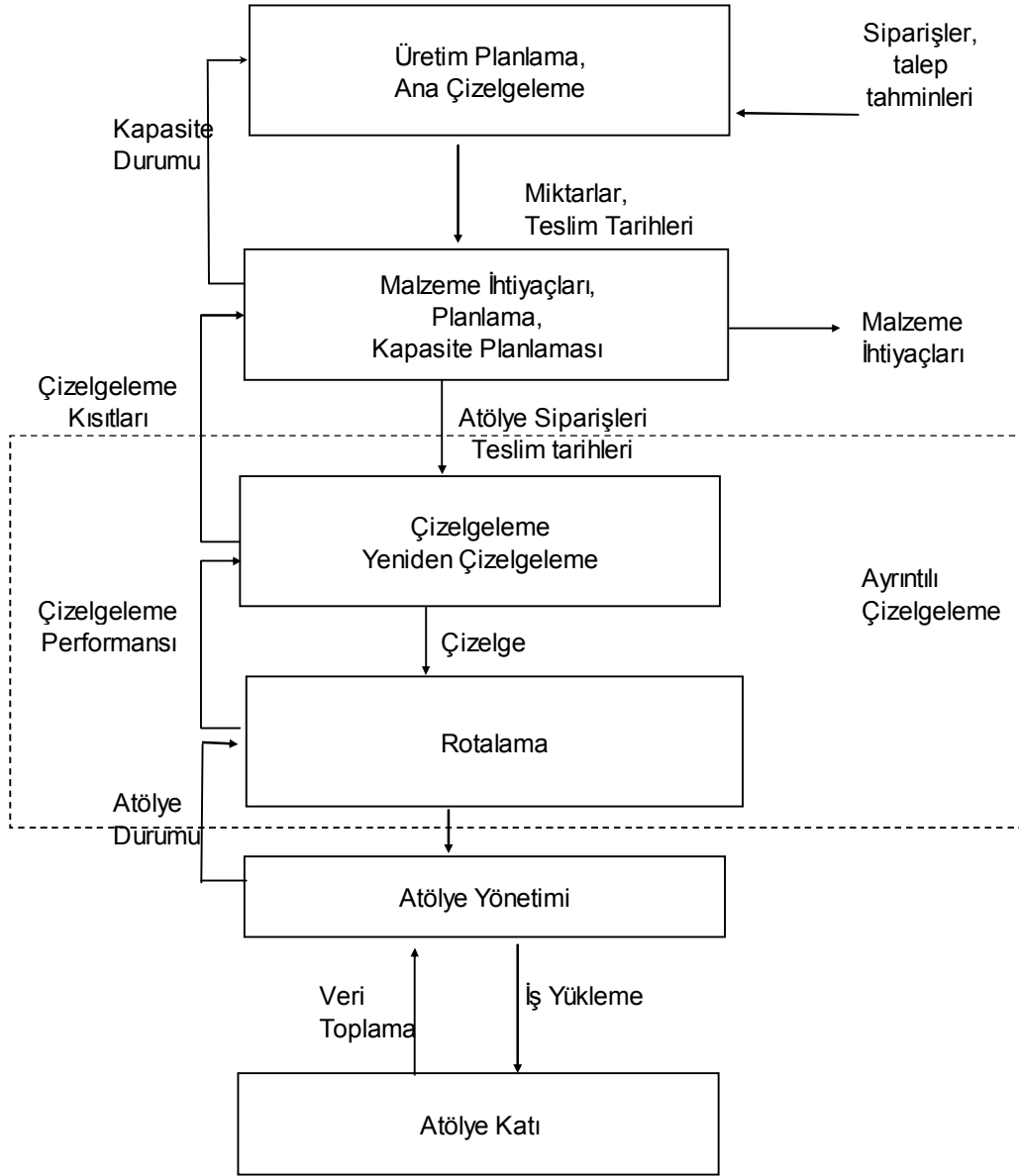
Herrmann (2007)'a göre çok karmaşık bir yapıya sahip olmasından dolayı çizelgeleme üç farklı açıdan ele alınabilir:

Problem çözümü açısından bakıldığında, çizelgeleme bir eniyileme problemidir. Çizelgeleme, üretim planlama ve kontrol alanından izole edilerek, kombinatoryel eniyileme problemi olarak modellenerek, çözülmeye çalışılır.

Karar verme açısından bakıldığında çizelgeleme bir insanın alması gereken bir karardır. Çizelgeleme yapan kişi, bunu başarmak için resmi ve gayri resmi bilgileri kullanarak çok çeşitli faaliyetleri yerine getirir. Çizelgeleme yapan kişi belirsizlikleri vurgulamak, darboğazları yönetebilmek ve insanların neden olduğu problemleri önceden sezebilmek durumundadır.

Kurumsal açıdan bakıldığında çizelgeleme, üretim planlama ve kontrol sistemindeki karmaşık bilgi akışı ve karar-verme akışının bir parçasıdır.

Çoğu sistem toplu üretim planlama ve malzeme ihtiyaç planlaması örneğindeki gibi farklı fonksiyonları yerine getiren modüllere bölünmüştür (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Bir üretim sistemindeki bilgi akışı (Pinedo, 2002)

2.4. Çizelgeleme Türleri

Üretim tesisindeki çizelgelemenin nasıl yapılacağı, o tesiste yapılan üretim tipi ile yakından ilgilidir. Çizelgelemeye etki eden faktörler üç temel başlık altında incelenebilir (Brucker, 2007) :

- Üretim(Tesis) Yerleşimi Türü
- Tesisteki Atölye Yapısı
- Atölye Başarı Ölçütü

2.4.1. Tesis yerleşimi türleri ve çizelgeleme

Bir üretim tesisindeki çizelgelemenin nasıl yapılacağı, o tesiste yapılan üretimin niteliği ve buna bağlı olarak da tesisteki makine yerleşimi ile yakından ilgilidir. Tesis yerleşimi bir üretim birimindeki kaynakların nasıl organize edildiğini ifade eder. Temel olarak 4 ana yerleşim türü mevcuttur (Meyers, 1993):

Ürün Odaklı Yerleşim: Bu yerleşim türünde, her ürün kendi üretim hattında ilerler. Bu da o birimdeki makinelerin ve kaynakların her ürünün ihtiyaç duyduğu işlemlere göre düzenlenmesi anlamına gelir. Burada kaynaklar o ürünün üretim hızını eniyilemek için düzenlenir. Genellikle bu tür yerleşimde, makinelerin ürünün işlem sırasına göre yerleştirilmesi esas alınır. Bu tür yerleşimde, aynı üründen çok büyük hacimlerde üretim yapılması söz konusudur ve amaçlardan biri de üretimin çevrim süresini enküçükmektir.

Süreç Odaklı Yerleşim: Bu yerleşim türüne fonksiyonel yerleşim de denmektedir çünkü benzer fonksiyonları yerine getiren makineler bir araya getirilerek grup oluşturulur. Örneğin ısıl işlem biriminde, ısıl işlemlerle ilgili bütün makine ve donanım bir arada bulunur. Bu yerleşim türünde amaç kapasite kullanım oranını enbüyüklemektir. Bu sırada kapasite kullanım oranları artarken, makinelerde işlenen ürünlerin hazırlık süreleri ve maliyetleri artabilir. Ürün odaklı yerleşimin aksine, burada makineler, işler arasında ihtiyaç duyulan oranlarda paylaşılır.

Hücresel Yerleşim: Benzer işlemlerden geçen ürünlerin bir arada toplanması ve bu gruba ait işlemleri gerçekleştirecek makinelerin düzenlenerek bir hücrede bir araya getirilmesi ile oluşturulan yerleşim türüdür. Süreç odaklı yerleşim ile hücresel yerleşim arasındaki fark; hücredeki makinelerin benzer olmaması ve, daha çok bir ürün grubuna ait bütün işlemleri yerine getirebilecek nitelikte bulunmalarıdır. Bu yerleşim türü, ürün odaklı ve süreç odaklı yerleşim türlerinin etkilerini dengeleyen bir yaklaşımdır. Bu nedenle, kapasite kullanımı ürün odaklı yerleşimdeki kadar düşük değildir ve hazırlık zamanları da süreç odaklı yerleşimdeki kadar yüksek değildir.

Sabit Yerleşim: Bu yerleşim türünde iş bir yerde sabit durumdayken, makineler işin bulunduğu konuma göre hareket etmektedir. Bu yerleşim, bir üretim biriminde hareket ettirmesi çok zor olan özel ürünler için kullanılır. Gemi inşası ve uçak üretimi endüstrilerinde kullanılan bir yerleşim türüdür. Burada ürünleri hareket ettirmektense, kaynakları ürünün yanına getirmek daha kolaydır.

2.4.2. Tesisteki atölye yapısı

Atölyelerin yapısı, üretim biriminde ürünlerin akışının nasıl düzenlendiği ile ilgilidir. İşlerin nasıl çizelgeleneceği, işlerin aktığı atölyenin yapısı ile yakından ilgilidir. Bu yüzden farklı atölye yapılarının özelliklerini bilmek oldukça önemli kazanmaktadır. Bir tesisteki atölyelerin yapısı 3 ana başlık altında incelenebilir (Brucker, 2007):

- Atölyelerdeki Makine Sayısına Göre
- İşlerin Atölyede Akış Şekline Göre
- İşlerin Atölyeye Gelişine Göre

2.4.2.1. Ortamdaki makine sayısına göre atölye yapısı

Atölyedeki makine sayısının bir tane veya birden fazla olmasına göre iki tür yapıdan söz edilebilmektedir:

Tek Makineli Atölye: Tüm makine ortamlarının en basit halidir ve diğer daha karmaşık makine ortamlarının özel bir durumudur. Çok karmaşık yapıya sahip olan, çok makineli ortamları anlayabilmek için tek makineli modelleri iyi bilmek gerekir.

Çok Makineli Atölye: Atölyede birden fazla makinenin bulunduğu atölyedir. Bu makineler seri veya paralel olabilir.

Eğer atölyede paralel makineler var ve gelen işler bu makinelerin herhangi birinde aynı sürede işlenebiliyorsa bu makineler “paralel özdeş” makinelerdir. Eğer bu paralel makinelerin işleme hızları birbirinden farklı ise bu makineler “farklı hızda paralel” makinelerdir. Eğer paralel makinelerin işleme hızları gelen işin niteliğine göre değişebiliyorsa, bu makineler “paralel farklı makineler” olarak adlandırılır.

2.4.2.2. İşlerin atölyedeki akış şekline göre atölye yapısı

Akış Tipi (Flow Shop): Bu sistemlerde tek bir ürün veya birbirine benzeyen birkaç ürün vardır. İş merkezleri, ürünün üretimi için gerekli işlemlere göre oluşturulmuştur. Özel amaçlı donanımlar üretim akışına göre sıralanmış olup, oldukça düzgün ve hızlı bir ürün akışı vardır. İşlerin bütün makinelerdeki işleme sırası birbirinin aynıdır. Bu düzgün iş akışı, üretim içi stoklara olan ihtiyacı azaltmakta, dolayısıyla çizelgeleme ve planlama çalışmaları büyük ölçüde kolaylaşmaktadır.

Atölye Tipi (Job Shop): Bu sistemlerde iş merkezleri, bazı donanımlara veya işlemlere (operasyonlara) göre oluşturulmuştur. Örneğin pres, delme, montaj v.b. işlemlere gidecek olan ürünler, partiler halinde iş merkezlerinden geçerler. İş merkezleri arasındaki akış, herhangi bir sırayı izleyebilir. Bu sistemlerde ürün çeşitliliği çoktur. Donanım genel amaçlı olup donanımın kullanım oranı yüksektir. Bunun yanı sıra, ürün üretim aşamalarından yavaş yavaş geçer ve bundan dolayı üretim içi stok gereksinimleri doğar. Bu stokların kontrolü oldukça zordur. Doğal olarak çizelgeleme maliyetleri yüksektir. Donanım hazırlama maliyetleri de yüksek olup genel amaçlı donanımı tam anlamıyla kullanacak nitelikli iş gücü gereksinimi, personel giderlerini arttırmaktadır. Kısaca atölye tipi üretim sistemlerinde çizelgeleme işlevi zor ve pahalıdır.

Esnek Atölye Tipi (Flexible Job Shop): Klasik atölye tipinde paralel makineler yoktur. Atölyede işlerin paralel makinelerde işlenmesi söz konusu olduğunda “esnek atölye tipi çizelgeleme” problemi ortaya çıkar.

Açık Atölye (Open Shop): Atölyeye gelen işler atölyedeki makinelerde herhangi bir sırada işlenebilir. İşler için bir rotalama kısıtı söz konusu değildir.

2.4.2.3. İşlerin atölyeye gelişine göre atölye yapısı

Statik Çizelgeleme Problemleri: Eğer çizelgelenecek işler zamanla değişiklik göstermiyorsa, sistem *statiktir*. Statik modeller dinamik modellere göre daha kolay kontrol edilebilir bir yapıdadır ve daha geniş bir çalışma alanına uygulanmıştır. Ayrıca statik modellerin analizi, daha genel durumların çözümünde faydalı olabilecek faydalı girdiler ve sezgisel yaklaşımların bulunmasında etkili olmuştur (Brucker, 2007).

Dinamik Çizelgeleme Problemleri: Çizelgelenecek işler zamanla değişiklik gösterir. İşlerin sürekli ve rastgele olarak değiştiği durum söz konusudur.

Dinamik çizelgeleme problemleri bir serim içinde kuyruklama ile ilgili problemlerdir. Burada problemin deterministik veya rassal özellikler taşıması genel yapıyı değiştirmez. Atölye içindeki her makine serimde hizmet sağlayan bir kaynaktır.

Dinamik çizelgeleme, öncelik kurallarının kullanılmasına dayanır. Dinamik çizelgelemede kullanılan öncelik kurallarının statik çizelgelemedeki kurallardan farkı, işlerin değişmeyen özelliklerinin (işlem süresi veya teslim tarihi gibi) değil; süreç içinde değişen özelliklerinin (kalan işlem zamanı gibi) esas alınmasıdır (Brucker, 2007).

2.4.3. Başarı ölçütü

Çizelgeleme probleminin türü, atölyede eniyilenmesi istenen başarı ölçütüne göre de değişir. Atölye başarısını değerlendirmek için kullanılan ölçütler, çizelgeleme problemlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu ölçütlerden bazıları akış süresi, üretim içi stok seviyesi, işlerin tezgâhta bekleme süresi, işlerin ortalama gecikme süresi,

geciken iş yüzdesi, tezgâh ve iş gücü kullanım oranlarıdır. Bu başarı ölçütlerinden bazılarının açıklaması şu şekildedir (Pinedo, 2002):

En Büyük Tamamlanma Zamanı (Makespan (C_{enb})): Sistemdeki n adet işin tamamlanması ve sistemi terk etme zamanları $C_j = (C_1, C_2, \dots, C_n)$ ile gösterilecek olursa, sistemi en son terk eden işin tamamlanma zamanı enküçülenmeye çalışılır. Bu da yüksek makine kullanım oranı demektir.

Akış Süresi (Flow Time(F_j)): Kriter olarak işlerin sisteme girdiği an ile sistemi terk ettiği an arasındaki zaman farkı olarak tanımlanabilecek işlerin sistemde kalış süresi (F_j) esas alınır.

Geç Kalma Süresi (Lateness (L_j)): İşlerin teslim zamanları ile tamamlanma zamanları arasındaki farkı ifade eder. Geç Kalma Süresi planın teslim tarihinden sapmasını kontrol eder. Eğer pozitifse iş gecikmiş ve teslim zamanında yetiştirilememiş, negatifse iş teslim zamanından önce bitirilmiş demektir.

$$L_j = C_j - d_j$$

Gecikme (Tardiness (T_j)) : İşler teslim zamanında bitirilememişse, ne kadar süre geciktiğini ifade eder.

$$T_j = \max(0, L_j)$$

Geciken İş Sayısı (N_T) : Teslim edilmesi gereken tarihte teslim edilemeyen iş sayısı da başarı ölçütü olabilir.

Yapılan planların başarı veya başarısızlığını ölçebilmek için başarı ölçütü olarak yukarıda açıklanan ölçütler veya belirlenecek daha başka ölçütler de kullanılabilir.

2.5. Çizelgeleme Problemlerinin Gösterimi

Bütün çizelgeleme problemlerinde işler ve makineler sonludur. Makine sayısı **m** ve iş sayısı ise **n** ile gösterilir. Genellikle **j** indisi bir işi, **i** indisi ise bir makineyi ifade eder. Eğer bir iş çeşitli işlem adımlarından oluşuyorsa, j işinin i makinesinde gördüğü

işlemi ifade etmek için (i, j) ikilisi kullanılır. j işi ile ilgili diğer parametreler ise şu şekildedir:

İşlem Süresi (Processing Time (p_{ij})): p_{ij} , j işinin i makinesindeki işlem süresini belirtir. Eğer işlem süresi makineye göre değişmiyorsa veya j işi sadece belirli bir makinede işlenebiliyorsa i indisi atılır.

Salıverme Zamanı (Release Date (r_j)): j işinin işlemeye hazır olduğu zamanı belirtir. İşin sisteme geldiği ve en erken işlemeye başlanabileceği zamandır.

Teslim Zamanı (Due Date (d_j)): İşin tamamlanıp müşteriye teslim edilmesi gereken zamanı belirtir.

Ağırlık (Weight (w_j)): Genellikle işin öncelik faktörünü belirtmek için kullanılır. İşin diğer işlere göre bağıl önemini belirtir.

Bir çizelgeleme problemi genellikle $\alpha / \beta / \gamma$ üçlü notasyonu ile gösterilir (Pinedo, 2002). Burada α alanı makine ortamını belirtir ve yalnız bir değer alabilir. β alanı çizelgeleme kısıtları ve işleme özellikleri ile ilgili genel bilgilerin verildiği alandır. Bu alanda hiç girdi olmayabilir veya birçok girdi olabilir. γ alanı ise çizelgeleme sonucunda eniyilenecek performans kriterini belirtir. Genellikle tek girdi kullanılır.

α alanında tanımlanabilecek makine ortamları şu şekildedir:

Tek Makine (1): Ortamda bir adet makine vardır. Diğer bütün karmaşık ve çoklu makine ortamlarının en basit halidir.

Özdeş Paralel Makineler (P_m): Ortamda birbirine eşdeğer m adet paralel makine vardır ve işler bu makinelerin herhangi birinde işlenebilir. Eğer j işinin bazı makinelerde işlenmesine izin verilmiyor sadece m 'nin M_j alt kümesine ait makinelerde işlenmesine izin veriliyor ise M_j de β alanında gösterilir.

Farklı Hızdaki Paralel Makineler (Q_m): Farklı hızda m adet paralel makine söz konusudur. i makinesinin hızı v_i ile gösterilir. p_{ij} zamanında j işi i makinesine gelir ve bu makinede p_j/v_i kadar kalır.

Paralel Farklı Makineler (R_m): Burada işlem hızları kendilerine gelen işe göre değişen m adet paralel makine vardır. i makinesi j işin v_{ij} hızında işleyebilir ve j işinin i makinesinde işlem süresi p_{ij}/v_{ij} kadar olur. Eğer makinenin hızı gelen işlerden bağımsız ise bir önceki farklı hızdaki paralel makine ortamı ile aynı duruma gelir.

Akış Tipi (F_m): Birbirine seri m adet makine vardır. Bütün işler bu makinelerin herbirine uğramak zorunda ve aynı işlem rotasını takip etmek zorundadır.

Esnek Akış Tipi (FF_c): Akış tipi ve paralel makine ortamının birlikte olduğu durumdur. Seri olarak dizilmiş c adet aşama vardır. Her aşamada özdeş paralel makineler mevcuttur. Her iş aşama-1, aşama-2,...aşama- c olmak üzere bütün aşamalardan geçmek zorundadır.

Atölye Tipi (J_m): Birbirine seri m adet makine vardır ve sistemdeki her işin kendine özel rotası vardır. Bütün işler bütün makinelere aynı sırada uğramak zorunda değildir. Eğer işlerin daha önce uğradıkları makineye tekrar uğramaları gerekiyorsa β alanında tekrar faktörü ($recrc$) de gösterilmelidir.

Esnek Atölye Tipi (FJ_c): Atölye tipinin ve paralel makinelerin beraber olduğu durumun genel ifadesidir. Esnek atölyede c adet iş merkezi mevcuttur ve her iş merkezinde paralel makineler vardır. Eğer bir iş daha önce uğradığı iş merkezine daha sonra tekrar uğramak zorundaysa tekrar faktörü ($recrc$) β alanında gösterilmelidir.

Açık Atölye (O_m): m adet makine vardır ve bütün işler her bir makineye uğramak zorundadır fakat işlerin makinelere uğramaları ile ilgili herhangi bir rotalama kısıtı yoktur. İşler herhangi bir sırada makinelere uğrayabilir.

β alanında görünebilecek kısıtlar ve girdiler şöyledir:

Salıverme Zamanı (r_j): Bu sembol β alanında belirtilmişse, j işi kendi salıverme zamanından önce başlayamaz demektir. Eğer belirtilmemişse j işi herhangi bir zamanda başlayabilir.

Sıra Bağımlı Hazırlık Süresi (s_{jk}): Eğer bu sembol varsa, j işi ile k işi arasındaki geçişlerde sıra bağımlı hazırlık süresi var demektir. s_{0k} , k işi ilk iş ise onun

hazırlık zamanını, s_{j0} j işi son iş ise j işinden sonraki temizlik zamanını belirtir. Eğer hazırlık zamanları makine türüne göre değişiyorsa bu alanda s_{ijk} sembolü görünür. Eğer herhangi bir s_{jk} sembolü bulunmuyorsa sıra bağımlı hazırlık zamanları 0 alınır.

Kesinti (preemption (prmp)): Eğer makineye bağlanan iş işlem süresi sona erene kadar makinede kalmak zorunda değilse, işleme sırasında durdurulup yerine başka bir iş bağlanabiliyorsa β alanında **prmp** sembolü gözükür.

Öncelik Kısıtları (prec): Eğer işler arasında, bir iş başka bir iş tamamlanmadan başlayamaz, şeklinde öncelik kısıtı varsa bu sembol belirtilir.

Makine Kesintileri (Breakdowns (brkdwn)): Makinelerin sürekli olarak çalışmadığını, kesintiye uğrayabildiğini belirtir.

Permütasyon (prmu): Akış tipi atölyede her makine önüne gelen işleri ilk giren ilk çıkar kuralına göre işliyorsa bu sembol belirtilir.

Bekleme Yok (nwt): açık atölyede işlerin ardışık iki makine arasında beklemesine izin verilmiyorsa bu sembol belirtilir.

Bloklama (blocking): Açık atölyede ardışık iki makine arasında yer alabilecek iş yığını sınırlı ise ve iş yığını kapasitesi dolmuşsa, önceki makinede tamamlanan işlerin sonraki makineye salıverilmesine izin verilmez, bu duruma bloklama denir.

Tekrar İşleme (Geri Dönüş (recrc)): Atölye tipi veya esnek atölye tipi çizelgelemede, bir iş daha önce uğradığı makineye tekrar uğruyorsa, bu sembol belirtilir.

γ alanında ise eniyilenecek amaç fonksiyonu yer alır. Burada yer alabilecek girdilerden bazıları şunlardır:

Enbüyük Tamamlanma Zamanı (Cenb): C_j işlerin tamamlanma zamanlarını belirtir. Burada sistemi en son terk eden işin tamamlanma zamanı (Cenb) enküçüklenmeye çalışılır.

Enbüyük Geç Kalma Süresi (Lenb): Bir işin teslim zamanına göre ne kadar geciktiği ile ilgili kriterdir. Eğer iş teslim tarihinden sonra tamamlanmışsa pozitif, teslim tarihinden önce tamamlanmışsa negatif değer alır.

$$L_j = C_j - d_j$$

Eğer, erken bitirilen işin ne kadar erken bitirildiği önemli değilse bu değer **gecikme (tardiness)** olarak adlandırılır ve T_j ile gösterilir.

$$T_j = \text{Enb} (C_j - d_j , 0) = \text{Enb} (L_j , 0)$$

Toplam Ağırlıklı Tamamlanma Zamanı ($\sum w_j C_j$): n tane işin ağırlıklı tamamlanma zamanları elde bulundurma maliyeti veya stok maliyeti göstergesi olarak enküçüklenmeye çalışılır. İşlerin toplam tamamlanma zamanı literatürde akış süresi (F_j) olarak da belirtilir. Toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı ise toplam ağırlıklı akış süresi ($\sum w_j F_j$) olarak geçebilmektedir.

Toplam Ağırlıklı Gecikme ($\sum w_j T_j$): Toplam ağırlıklı tamamlanma zamanının daha genel maliyet fonksiyonudur.

γ alanında geciken iş sayısı v.b. ile ilgili başka amaç fonksiyonları da yer alabilir.

2.6. Çizelgeleme Yaklaşımları

Çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan yaklaşımlar eniyi çözümü garanti eden matematiksel teknikler ve eniyi çözümü garanti etmeyen sezgisel yöntemler olarak iki ayrı grupta ele alınabilir (Jain and Meeran, 1999):

2.6.1. Matematiksel teknikler

Eniyi çözümü bulmayı garanti eden tekniklerdir. Pratik olarak, bunlar uygulanması çok zor olan tekniklerdir.

2.6.1.1. Doğrusal programlama

Çizelgeleme problemleri doğrusal programlama teknikleriyle modellenip ve çözüm aranabilir. Fakat gerçek hayattaki çizelgeleme problemlerinin çok büyük ölçekli ve karmaşık olması nedeniyle pratikte uygulamak oldukça zordur.

2.6.1.2. Dal sınır teknikleri

Çizelgeleme problemlerinde kullanılan en önemli eniyileme yaklaşımı dal sınır yöntemidir. Doğrusal programlama problemlerine yeni kısıtlar eklemek suretiyle çizelgeleme problemi çözülmeye çalışılmıştır. Bu yöntem çözümün bulunduğu uygun çözüm alanını belirlemekte ve daha sonra aramayı bu bölgedeki eniyi değeri aramak için daraltmaktadır. Bu yöntemde uygun çözüm alanı dal olarak isimlendirilen daha küçük bölgelere ayrılmakta ve arama prosedürü eniyi çözüm bulununcaya kadar devam etmektedir. Dal olarak adlandırılan bölgeler bir ağaç yapısı altında gösterilmekte ve her bir küçük bölge ağacın bir dalını oluşturmaktadır. Burada her dal için bir alt sınır ve üst sınır söz konusudur. Bu sınırlar uygun çözüm alanındaki çözümlerin alabileceği en düşük ve enbüyük değerleri belirtmektedir. Alt ve üst sınırları belirleme işlemine “sınırlandırma” adı verilir. Bu yüzden yöntemin adı “Dal Sınır”dır.

Literatürde dallanma ve sınırlandırma ile ilgili bir çok teknik önerilmiştir. Önerilen tekniklerin yapısı, problemin tipine, ihtiyaçlarına, karmaşıklığına ve diğer özelliklerine göre değişiklik göstermektedir.

2.6.2. Sezgisel yöntemler

Eniyileme yöntemleri olarak adlandırılan teknikler eniyi çözümü garanti ederler fakat problemin boyutları büyüdükçe bu tekniklerin uygulanması oldukça zorlaşmakta ve problemin çözüm zamanı, problemin boyutuna göre polinom olmayan bir şekilde üstel olarak artmaktadır. Bazı problemlerin çözümü eniyileme teknikleri ile yüzlerce yıl alabilecek niteliktedir. Bu nedenle çözüm sürecini hızlandıracak yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur. Bundan dolayı, atölye tipi çizelgeleme problemleri gibi büyük ve karmaşık problemler için kullanılabilir fakat eniyi çözüme ulaşmayı her zaman garanti edemeyen ancak iyi sonuçlar üreten yöntemler üretilmiştir. Bunlara genel olarak eniyi değil fakat eniyiye yakın sonuç veren teknikleridir.

2.6.2.1.Öncelik kuralları

Makinelerde çizelgelenecek işler, üretilecek çizelgenin amacına ve ulaşılmak istenen esas amaca göre belirli kurallara göre çizelgelenir. Örneğin, amaç eğer işlerin teslim tarihlerini geçirmemek ve zamanında teslim etmek ise teslim zamanı önce olan işler makinelerde önce işlenebilir ya da makinelerin dengeli kullanımı amaçlanıyorsa işler enküçük ve enbüyük işlem zamanlarına göre sırasıyla çizelgelenebilir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki atölye tipi problemlerde öncelik kurallarının kullanımı, eniyi çözümü garanti etmemekle birlikte, iyi çizelgeler elde etmek için pratik bir yöntemdir (Baker, 1974). Çizelge 2.1.'de bu öncelik kurallarının kısa bir listesi ve açıklamaları yer almaktadır. Öncelik kurallarının kullanımı anlaşılmasının ve uygulanmasının kolay olması açısından oldukça avantajlıdır.

Çizelge 2.1. Bazı İşlem Öncelik Seçim Kuralları (Gen and Cheng, 1997)

Kural	Tanım
En Kısa İşlem Zamanı (EKİZÖ) (Shortest Processing Time (SPT))	En kısa işlem süresine sahip iş önce seçilir.
En Uzun İşlem Zamanı (EUZÖ) (Longest Processing Time (LPT))	En uzun işlem süresine sahip iş önce seçilir.
En Uzun Kalan İşlem Zamanı Most Work Remaining(MWR)	Kalan toplam işlem süresi en fazla olan iş önce seçilir.
En Az Kalan İşlem Zamanı (Least Work Remaining (LWR))	Kalan toplam işlem süresi en az olan iş önce seçilir.
Kalan En Fazla Operasyon Sayısı (Most Operations Remaining (MOR))	Kalan toplam operasyon sayısı en fazla olan iş önce seçilir.
Kalan En Az Operasyon Sayısı (Least Operations Remaining (LOR))	Kalan toplam operasyon sayısı en az olan iş önce seçilir.
En Erken Teslim Tarihi (Earliest Due Date (EDD))	En erken teslim tarihine sahip olan iş önce işlem görür.
İlk Gelen İlk Çıkar (First In First Out (FIFO))	Sisteme ilk önce gelen iş ilk önce işlem görür.
Rasgele (Random)	Operasyon seçimi rasgele yapılır.

2.6.2.2.Darboğaz kaydırma teknikleri

Darboğazı Kaydırma Sezgiseli ilk defa Adams, Balas ve Zawack tarafından 1988’de geliştirilmiştir. Adından da anlaşılacağı üzere, bu sezgisel teknik, çizelgedeki darboğazları tanımlamakta ve daha sonra darboğazın tüm çizelge üzerindeki etkisini enküçükleyecek şekilde yeniden çizelgeleme yapmaktadır. Sezgisel, her makine için kısmi çizelgeler oluşturarak başlamaktadır. İlk başta, problem tek makine çizelgeleme problemi gibi düşünülmekte ve her makine için ayrı bir çizelge oluşturulmaktadır. Bu çizelge oluşturulurken her makinede işlerin hazır bulunuş zamanı ve tamamlanma zamanı ile kendinden önceki işlerin tamamlanma zamanları göz önünde bulundurulmaktadır. Önce bütün çizelgeler oluşturulmakta sonra her makinedeki işlerin gecikmeleri ölçülmektedir.

Gecikmeyi enküçükleme için, darboğaz olan işlemlertanımlanmakta ve bu işlemlerin yeniden çizelgelenmesine çalışılmaktadır. Çizelgeler yapılan değişikliklerin tüm çizelge üzerindeki etkisinin ölçülmesi suretiyle yeniden yapılmaktadır. Yeni

darboğazlar tanımlandıkça, oluşturulan yeni çizelgeler daha da geliştirilmektedir. Bu süreç darboğaz değiştirme işlemi artık yapılamayınca kadar devam etmektedir. Bu sürecin sonunda elde edilen çizelge nihai çizelgeyi oluşturmaktadır.

Bu yöntem küçük ve karmaşık olmayan problemlerde oldukça etkin bir şekilde uygulanabilmektedir. Temel düşünce, problemi tek makine problemi olarak ele al, her makine için kısmi çizelgeleri oluştur, darboğazları tanımla ve bu darboğazları ortadan kaldır şeklindedir. Bu süreç, iş değiştirme süreci yapılamayana ve daha iyi bir çizelge elde edilemeyene kadar devam ettirilir.

2.6.2.3. Yerel arama ve yapay zeka teknikleri

Çizelgeleme alanında ve özellikle atölye tipi çizelgeleme problemlerinde sıklıkla uygulanan tekniklerdir. Bu tekniklerde bir başlangıç çizelgesinden hareketle, bu çizelgedeki işlerin yerlerinin belirli kurallara göre değiştirilmesi ile yeni komşu çizelgeler elde edilir ve bu süreç belli bir ölçüt sağlanıncaya kadar devam ettirilir ve bu ölçüt sağlandığında algoritma sonlandırılır. Sonuçta elde edilen çizelge nihai çizelge olarak uygulanır. Kullanılan bu teknikler arasında rassal arama, tepe tırmanma, tavlama benzetimi, tabu arama, genetik algoritmalar, yapay bağışıklık sistemleri, karınca kolonisi algoritması, parçacık sürüsü algoritması v.b. teknikler sayılabilir. Çizelgeleme problemlerinde, problemin niteliğine göre bu tekniklerden uygun olanı seçilerek uygulanabilir. Bunun yanında, bu tekniklerden birkaçı melezlenerek de uygulanabilir. Belli bir çizelgeleme problemi için oldukça iyi sonuçlar veren bir teknik, başka bir problem için kötü sonuçlar verebilmektedir.

3. ESNEK ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ (EATÇP)

3.1. Genel Bilgi

Çizelgeleme problemleri bilgisayar mühendisliğinden üretim yönetimine kadar çok geniş bir alanda sürekli karşılaşılan problemlerdir. Çoğu çizelgeleme problemi oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir ve çözümünü çok zordur. Atölye tipi çizelgeleme problemi NP-Zor sınıfında yer alan, en zor kombinatoriyel eniyileme problemleri arasında yer almaktadır (Jain and Meeran, 1998). Atölye tipi çizelgelemenin ana amacı, çoklu makine ortamında istenen başarı kriterini eniyileyen operasyon sıralamasını önceden belirleyen çizelgeyi oluşturmaktır. Klasik Atölye Tipi Çizelgeleme Probleminde (KATÇP) n adet iş, m adet birbirinden farklı makinede işlenir. Her işin kendine ait bir rotası vardır ve bu rota önceden bilinir. Her makine işlemler başlamadan önce hazır durumdadır ve operasyonlar bu makinelerde kesintiye uğramaksızın işlenmektedir.

Günümüzde çizelgelemenin önemi, müşteri talebi ve çeşitliliğinin artması, ürün yaşam çevriminin kısalması, küresel rekabet içinde sürekli değişen pazar yapısı ve yeni süreçlerde ve teknolojilerdeki hızlı değişimler nedeniyle oldukça artmış durumdadır. Değişen bu iş ortamının gereksinimlerini karşılayabilmek için, daha esnek üretim sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur. İstenen amaçlara ulaşmak için sadece esnek ve otomatik makinelerden yararlanma düşüncesinin yanısıra esnek çizelgeleme sistemleri kurabilme zorunluluğu da ortaya çıkmıştır (Ho et al., 2006). Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi (EATÇP), klasik atölye tipindeki işlerin sadece bir makine yerine, birden fazla makinede işlenebilme durumunun olduğu problem tipini belirtmektedir. Yani bu problem, klasik atölye tipi çizelgeleme probleminin daha da genelleştirilmiş halidir. EATÇP, işlerin en uygun şekilde sıralanmasının yanı sıra, bu işlere en uygun makinelerin atanması kararını da içerir. Burada görülebileceği gibi iki ana zorluk vardır. Birincisi, işlemlerin makinelere atanması, ikincisi ise önceden tanımlanan amaç fonksiyonunu eniyilemek için en uygun iş sıralamasının bulunmasıdır. Bu nedenle EATÇP, KATÇP'nin bütün zorluklarını ve karmaşıklığını barındırmanın yanısıra işlemlerin makinelere atanması sorunu da söz konusu olduğundan çok daha karmaşık bir problemdir (Fattahi et al., 2007). Literatürdeki problem tiplerine

bakıldığında, işlerin daha önce işlendiği makineye bir daha uğramadığı durumlar daha çok ele alınmıştır. Eğer işlerin işlendiği makineye ileride tekrar uğraması yani tekrar işleme söz konusu ise problemin zorluk derecesi daha da artmaktadır (Ho et al.,2007).

Kacem (2002), EATÇP'ni iki alt grupta incelemiştir. Birincisi, işlerin herbirinin, atölyedeki M adet makinelerden herhangi birinde işlenebildiği Toplam Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemidir (TEATÇP). Diğeri ise işlerin, atölyedeki M adet makinenin alt kümesi olarak tanımlanabilecek makinelerden birinde işlenebildiği Kısmi Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemidir (KEATÇP). Kacem'e göre aynı makine sayısı ve operasyon sayısı için KEATÇP'nin çözümü, TEATÇP'nin çözümüne göre daha zordur.

3.2. EATÇP İçin Çözüm Yaklaşımları

EATÇP'nin çözümünde karşılaşılan en temel problemlerden birincisi işlerin hangi sırayla işleneceği, diğeri ise her işin işlenebileceği birden fazla aday makine olması nedeniyle, bu işlerin hangi makinelerde işleneceğidir. Bu iki temel alt problemin nasıl çözüldüğüne bağlı olarak çözüm yaklaşımları, hiyerarşik yaklaşım ve bütünleşik yaklaşım olmak üzere ikiye ayrılır. Bütünleşik yaklaşımın uygulanması diğeri göre daha zor olmasına rağmen, genel olarak daha iyi sonuçlara ulaşabilmektedir (Pezzella, 2008).

3.2.1. Hiyerarşik yaklaşım

EATÇP iki alt problemi içerir. Bunlardan birincisi işlerin makinelere atanması, ikincisi ise işlerin işlem sırasının belirlenmesidir. Hiyerarşik yaklaşımda işlerin makinelere atanması ve işlerin işlem sırası birbirinden ayrı olarak değerlendirilmektedir. Yani operasyonların sıralaması ayrı olarak yapılmakta, bu operasyonların atandığı makineler ayrı olarak belirlenmekte ve daha sonra bu iki alt problem birleştirilmektedir. Makinelerin atanması ve işlerin sıralaması sırasında birbirine müdahale olmamaktadır. Bu yaklaşımı ilk defa Brandimarte (1993) çalışmasında kullanmıştır. Bu yaklaşımın ana fikri, EATÇP'de rotalamanın ve çizelgeleme probleminin birbirinden ayrıştırılarak, problemin karmaşıklığının daha da azaltılabileceğidir.

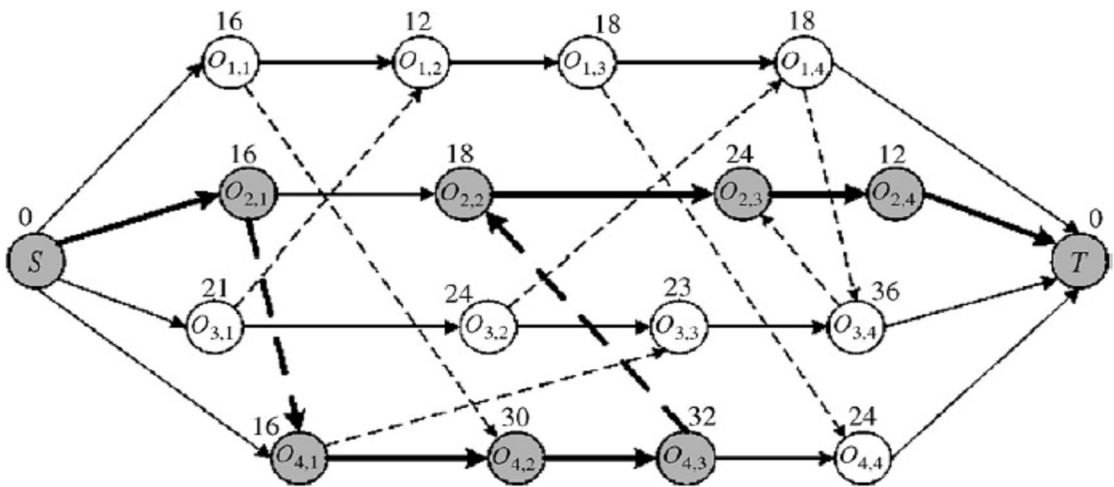
3.2.2. Bütünleşik yaklaşım

Bu yaklaşımda operasyonların sıralaması ve sıralanan operasyonların makinelere atanması eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Yani operasyonların sıralaması ile makineleri atanması birbirinden bağımsız değildir. Buna göre önce işleme sırasındaki iş belirlenmekte hemen akabinde sıradaki bu işe uygun makine atanmaktadır. Böylece sıralama yapıldığında makine ataması da tamamlanmış olmaktadır.

3.3. EATÇP'nin Ayrık Serimi ve Kritik İşlerin Belirlenmesi

3.3.1. Ayrık serim

EATÇP, $G = (N, A, E)$ yönlü serimi ile de gösterilebilir. Burada N düğüm kümesini, A sürekli ayrıt kümesini ve E de kesikli ayrıt kümesini göstermektedir. Burada G düğümleri işlemleri, sürekli ayrıtlar işlem sırasına ait iş önceliğini, kesikli ayrıtlar ise aynı makinede işlenen işlere ait iş önceliğini göstermektedir. İşlere ait işlemlerin sıralaması ile makinelerde yapılan işlemlerin sıralaması farklı iki (kesikli ve sürekli) ayrıt kümesi ile gösterildiği için bu serime, ayrık serim (disjunctive graph) adı verilmektedir.



Şekil 3.1. EATÇP için örnek bir ayrık serim diyagramı.(Gao et al.,2008)

Şekildeki S ve T kukla başlangıç ve bitiş düğümleridir. Her düğüm üzerindeki sayı, o işleme ait işlem süresini göstermektedir. PJ(r), r işleminin iş sıralamasına göre kendinden önceki işlemi belirtmektedir. PM(r) ise r işlemi ile aynı makinede işlenen ve bu makinedeki işlem sıralamasında kendinden önce gelen işlemi göstermektedir. Aynı şekilde SJ(r) ve SM(r) de iş sıralaması ve aynı makinedeki işlem sıralamasına göre r işinin kendinden sonra gelen işlemleri belirtmektedir.

3.3.2. En erken ve en geç olay zamanı

Ağ diyagramının çiziminin en önemli sebeplerinden biri işlemlere ait en erken başlama zamanı (s^E) ve en geç başlama zamanlarının (s^L) belirlenmesidir. $s^E(r)$, r işleminin başlayabileceği en erken zamanı belirtirken, $s^L(r)$, r işleminin bütün işlerin tamamlanma zamanını geciktirmeden başlayabileceği en erken zamanı belirtir. Aynı şekilde r işinin en erken (c^E) ve en geç (c^L) tamamlanma zamanı şu şekilde oluşur:

$$c^E(r) = s^E(r) + t(r), c^L(r) = s^L(r) + t(r) \text{ dir.}$$

Burada $t(r)$, r işinin işlem süresidir.

Burada ;

$$s^E(r) = \text{enb} \{ c^E[\text{PJ}(r)], c^E[\text{PM}(r)] \} \text{ dir.}$$

Eğer r işleminden önce, iş sıralamasında veya aynı makine sıralamasında herhangi bir işlem yoksa bunlara karşılık gelen $c^E[\text{PJ}(r)]=0$ veya $c^E[\text{PM}(r)]=0$ alınır.

R işleme ait en geç tamamlanma süresi ise

$$c^L(r) = \text{enk} \{ s^L[\text{SJ}(r)], s^L[\text{SM}(r)] \} \text{ dir.}$$

Eğer r işleminin iş sıralamasında veya aynı makine sıralamasında kendinden sonra işlem yer almıyorsa bunlara karşılık gelen değerlere “∞” atanır.

Daha sonra r işleminin gevşekliği bulunur. Yani r işleminin bütün işlerin tamamlanma süresi (Cenb)'ni geciktirmeden, ne kadar geciktirilebileceği tespit edilir. Burada gevşeklik $F(r)$ ile gösterilecek olursa;

$$F(r)=s^L(r) - s^E(r) .$$

Eğer bir işlemin gevşekliği $F(r)=0$ ise bu işlem kritik işlemdir. Bu şekilde başlangıç düğümü S 'den, bitiş düğümü T 'ye kadar kritik işlemler tespit edilir ve bu kritik işlemlerin birleştirilmesi ile kritik yol elde edilmiş olur. Bütün işlerin tamamlanma zamanı kritik yol üzerindeki işlerin tamamlanma zamanına eşittir. Serimde birden fazla kritik yol bulunabilir (Gao et al., 2008).

3.4. EATÇP ve Literatürdeki Çalışmalar

EATÇP ile ilgili olarak yapılan çalışmalar, klasik atölye tipi çizelgeleme problemleri konusunda yapılan çalışmalara göre oldukça azdır. Bruker ve Schlie (1990) bu problem hakkında ilk çalışmayı yaparak dikkat çekmişlerdir. Yaptıkları çalışmada iki işli bir EATÇP'nin çözümü için polinomial bir algoritma geliştirmişlerdir (Fattahi et al., 1990).

Eniyi çözümü garanti eden ve ayrık serime (disjunctive graph) dayalı yöntemler, EATÇP için yetersiz kalmakta ve 20 iş ile 10 makineden daha büyük problemlerde uygulanması mümkün olmamaktadır (Pinedo, 2002).

Tamaki et al. (2001), EATÇP'nin Karma tamsayılı doğrusal programlama yaklaşımlarıyla çözülebilmesi için bir model ortaya koymuşlar ve aynı zamanda bu modelin büyük boyutlu problemlerde çok fazla hesaplama zamanı gerektireceğinden problem için yeni bir genetik algoritma geliştirmişlerdir.

Kacem et al. (2002), hem rotalama, hem de sıralamayı bir arada gösteren bir kromozom gösterimi kullanarak yerelleşme yoluyla ilk atamaları yapan bir yaklaşım geliştirmiştir. İlk popülasyon bulunduktan sonra, popülasyona çaprazlama ve mutasyon yoluyla sonraki nesilleri üreterek, nesilleri daha da iyiye götürmüştür.

Jensen (2003), EATÇP’de makinelerin kesintiye uğraması, bozulmaması v.b. dinamik iş çevresi koşulları nedeniyle, eniyi çizelgeyi bulmaktansa eniyiye yakın fakat bu tür iş kesintilerinden sonra tekrar çizelgelemeyi mümkün kılan gürbüz ve esnek çizelgeler üretebilmek için genetik algoritmaların nasıl kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Zribi et al. (2004) çalışmalarında EATÇP için ilk aşamada atamaların sezgisel yerel aramayla yapıldığı, algoritmanın ilerlemesinin ise genetik algoritmalar yardımıyla sağlandığı bir aşamalı eniyileme tekniği geliştirmişler, sonuçları bazı problemlerin alt sınırları ile karşılaştırmışlar ve tatmin edici sonuçlara ulaşmışlardır.

Ong et al. (2005), tekrar işlemeli EATÇP için ClonaFLEX olarak adlandırılan, klonal seçim mekanizmasına dayalı olarak çalışan bütünlük yaklaşımli bir algoritma geliştirmiş ve kıyaslama problemlerinde oldukça başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Gao et al. (2008), çok amaçlı EATÇP’de kritik yol üzerindeki işlemlerin sıralamasını veya işlendiği makineleri değiştirmek suretiyle kritik yolu değiştiren darboğaz kaydırma sezgiseli ile genetik algoritma yaklaşımını hibritlemişler ve bazı kıyaslama problemlerinde diğer algoritmalara göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Gao et al. (2006), EATÇP için makinelerin bakımlarını da göz önüne alarak çizelgeleme yapan melez bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Genetik algoritmanın içinde kullanılan yerel aramada, sadece çizelgeyi daha da geliştirmesi muhtemel hareketleri içeren kritik yol kavramına dayalı iki adet etkili komşuluk mekanizması tanımlamışlardır.

Tay and Wibowo (2006) yaptıkları çalışmada, evrimsel algoritmalar için 4 farklı kromozom gösterimi üzerine çalışmış ve sonuçta kromozom gösteriminin de EATÇP’nin çözüm başarısında önemli rol oynadığını belirtmişlerdir.

Ho et al. (2007) çalışmalarında EATÇP için, evrimleşme ve öğrenme arasındaki etkileşimi sağlayan Öğrenebilir Genetik Mimari (Learnable Genetic Architecture(LEGA)) önermişlerdir. LEGA elitist seçim ve mutajen genetiğe dayalı klasik evrimsel algoritmaların tersine, önceki nesillerden schemata öğrenme modülü

yardımıyla bilgi toplamakta ve bu bilgiyi gelecek nesillerin çeşitliliğini ve kalitesini artırmada kullanmaktadır. Kıyaslama problemleri ile yapılan deneyler bu yaklaşımın klasik evrimsel yaklaşımlara göre daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Xing et al. (2007), EATÇP için karınca kolonisi algoritması ve genetik algoritma yaklaşımlarıyla farklı ve birbirinden bağımsız popülasyonlar elde etmişler, bu popülasyonları birbiri ile rekabet içinde olmasını sağlayacak bir mekanizma ile yeni popülasyonlar elde edilmiş, yeni popülasyon da bu şekilde hem KKA ve hem GA ileletilerek aynı mekanizma devam ettirilmiştir. Bu yaklaşımın, literatürdeki bazı diğer yaklaşımlardan daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Chen et al. (2008) çalışmalarında, Tip-1 paralel makineli ve tekrar işlemeli durumlar için EATÇP'ni incelemişlerdir. Bu çalışmada iki tip EATÇP probleminin varlığından söz edilmektedir.. Birinci tür problemlerde (Tip-1) işler alternatif işlem sıralamasına sahiptir ve her iş için alternatif özdeş veya özdeş olmayan makineler söz konusudur. Burada problem işlerin sıralanması ve makinelerdeki işlem sırasının belirlenmesidir. İkinci grup problemlerde, işler sadece belli bir işlem sıralamasında işlenebilmekte fakat her işlem için özdeş veya özdeş olmayan makine alternatifleri vardır. Problem işleri kendi işlem sıralamalarını bozmadan makinelere atayabilmektedir. Çizelgeleme, makine seçim modülü ve işlem çizelgeleme modülü olarak iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Makine seçiminde çeşitli öncelik (rotalama) kuralları kullanılmış ve daha sonra işlerin sıralaması da öncelik kurallarına göre eniyi çizelgeyi sağlayacak şekilde yapılmıştır. Uygulama bir silah fabrikasında gerçekleştirilmiş ve geliştirilen en erken teslim zamanı, malzeme listesindeki en düşük seviyeli kod ve en uzun işlem süresinin kombinasyonuna dayanan yöntem oldukça başarılı olmuştur.

Gao et al. (2008), çok amaçlı EATÇP için hibrid bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Çalışmada genetik algoritma ve değişken yöre iniş algoritmaları melezlenmiştir. Burada arama gücünün artırılabilmesi için; çizelgedeki kritik işlemler en erken ve en geç olay zamanına bağlı olarak belirlenmekte ve bu kritik operasyonlar üzerinden tanımlanan yeni komşuluklar sayesinde değişken iniş algoritmasına dayalı bir yerel arama algoritması işletilmektedir. Bu algoritma 181 kıyaslama problemi üzerinde

denenerek, geçmişteki algoritmalarla karşılaştırılmış, bunların 119'unda diğer algoritmalarla aynı eniyi çözüme ulaşılmış, 38'inde ise daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Pezzella et al. (2008), EATÇP için, bir genetik algoritma geliştirmiştir. Çalışmalarında genetik tabanlı yöntemlerin en az tabu arama ve diğer yöntemler kadar iyi sonuçlar verdiğini, başlangıç popülasyonu, yeniden üretme ve seçim için farklı stratejileri bir arada kullanmanın algoritma başarısını oldukça arttırdığını belirtmişlerdir.

Jian-jun et al. (2008), çalışmalarında çok amaçlı EATÇP için geliştirilmiş bağımsızlık sistemine dayalı bir algoritma geliştirmiştir. Bu çalışmada her antikorun en mükemmel bölgeleri belirlenerek, diğer antikora aşılanmaktadır. Algoritmanın uygulaması Çin'de havacılık endüstrisinde faaliyet gösteren bir tesiste test edilmiştir. Sonuçta, mükemmel bölgelerin belirlenerek aşılanması yönteminin, algoritmanın yakınsama hızını arttırdığı tespit edilmiştir.

Gholami and Zandieh (2008), dinamik esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri için benzetim ve genetik algoritma yaklaşımlarını bütünleştirmiştir. Çalışmalarında, literatürdeki çalışmaların çoğunda göz önünde bulundurulmayan, makinelerin sürekli olarak hazır olamaması (bozulma, bakım v.b. nedenlerle) veya işlerin kesintiye uğraması durumları gibi gerçek hayatta karşılaşılan durumlar da rassal olarak modele dahil edilmiştir. Benzetim sonuçları incelendiğinde, makinelerin ortalama tamir süresinin ve makinelerin ortalama arızalanma seviyesinin ($AS = \text{Ortalama Tamir Süresi} / (\text{Ortalama Tamir Süresi} + \text{Arızlar Arası Ortalama Süre})$) çizelgeleme verimi üzerinde çok önemli etkiye sahip oldukları tespit edilmiştir.

Zhang et al. (2008), EATÇP için tabu arama ve genetik algoritma yaklaşımlarını melezlemişlerdir. Genetik algoritmanın ilerlemesi sırasında, tabu aramaya dayalı bir yerel arama yöntemi algoritmaya dahil edilmiştir.

Tay and Ho (2008), amacı bütün işlerin tamamlanma zamanını(makespan), ortalama gecikmeyi(mean tardiness) ve ortalama akış zamanını enküçükmek olan çok amaçlı EATÇP'de çeşitli öncelik kurallarını çeşitli ağırlıklarda kullanmak suretiyle birleşik(Karma) öncelik kuraları oluşturmuşlardır. Ortaya koyulan bu birleşik öncelik

kurallarının genetik programlamayla evrimleştirilmesi sonucunda, tekil öncelik kurallarının kullanımıyla elde edilen çizelgelere göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Yazdani et al.(2009), EATÇP için rassal bir yerel arama yöntemi kullanan fakat algoritmanın yerel eniyilere takılmasını önlemek için kötü çözümlere de izin veren tavlama benzetimi algoritması geliştirmişlerdir.

Giovanni and Pazzella (2009), üretimin çeşitli esnek imalat birimlerinden oluşan bir sistemde yapıldığı dağıtık esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için geliştirilmiş bir genetik algoritma yaklaşımı ortaya koymuşlardır. Burada problem, işlerin esnek imalat birimlerine atanması ve her bir esnek imalat birimindeki işlem sıralamasının belirlenmesidir.

Xing et al. (2009), tüm işlerin tamamlanma zamanı, makinelerin toplam çalışma süresi ve enbüyük iş yüküne sahip kritik makinedeki işyükünü enküçükleyen çok amaçlı EATÇP için etkili bir arama yöntemi geliştirmiştir. Çalışmasında öncelikle işlemleri enküçük işlem zamanlı makineye atamaya çalışırken, aynı zamanda işlemleri en boş makineye da atamaya çalışan ve önceki çalışmalarda elde edilen deneysel sonuçları göz önüne alarak geliştirdikleri bir yöntem kullanmışlar,küçük ve büyük ölçekli gerçek hayat problemlerinde eniyi veya eniyiye yakın sonuçlar elde etmişlerdir.

Bagheri et al. (2009), yaptıkları çalışmada EATÇP için bütünleşik yaklaşımlı yeni bir yapay bağışıklık sistemi yaklaşımı geliştirmiş, literatürdeki test problemlerinde uygulamış ve literatürdeki diğer yaklaşımlarla karşılaştırarak YBS'nin EATÇP için iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

4. YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMLERİ

Yapay Bağışıklık Sistemleri(YBS), canlılardaki bağışıklık sistemi mekanizmasının çalışma ilkelerinin, çeşitli alanlardaki eniyileme, hata teşhisi, veri madenciliği v.b. problemlere uygulanmasını içerir ve gittikçe yaygınlaşan bir kullanıma sahiptir.

4.1. Canlılarda Bağışıklık Sistemi

Bağışıklık sistemi, insan vücudunun hastalıklara karşı savunma mekanizmasını oluşturan karmaşık bir sistemdir, vücudu yabancı ve zararlı maddelerden korur. Bu sistem vücudumuza giren milyonlarca bakteri, mikrop, virüs, toksin ve parazitlere karşı korunmak için düzenlenmiştir. İnsan vücudu, hastalıklara karşı bir savunma sistemiyle donatılmıştır ve bu yüzden de kendi kendini iyileştirme yeteneğine sahiptir.

Hastalığa yol açan maddeler tarafından uyarıldığında, bağışıklık sistemi harekete geçer. Bağışıklık sistemi, yabancı olarak algıladığı bir mikroorganizmayla karşılaşır karşılaşmaz, belirli hücreler yardımıyla bundan kurtulmak için savaşılmaya başlar.

Sistem, canlı vücudunda geniş bir çeşitlilikte, virüslerden parazit solucanlara, vücuda giren veya vücutla temasta bulunan her yabancı maddeye kadar tarama yapar ve onları, canlının sağlıklı vücut hücrelerinden ve dokularından ayırt eder. Bağışıklık sistemi, çok benzer özellikteki maddeleri bile birbirinden ayırabilir, örneğin; bir amino asidi farklı olan proteinleri bile birbirinden ayırabilecek özelliğe sahiptir. Bu ayırım, patojenlerin konak canlıdaki savunma sistemine rağmen enfeksiyon yapmaları için yeni yollar bulmalarına, bazı uyumlar sağlamalarına neden olacak kadar karmaşıktır. Bu mücadelede hayatta kalmak için patojenleri tanıyan ve onları etkisizleştiren bazı mekanizmalar gelişmiştir. Doğadaki tüm canlılar kendilerinden olmayan doku, hücre ve moleküllere karşı savunma sistemlerine sahiptirler. Hatta bakteriler gibi basit tek hücreli canlılarda da onları viral enfeksiyonlara karşı koruyan enzim sistemleri bulunur. Yüksek canlılardaysa çok daha karmaşık bir bağışıklık sistemi vardır. Omurgalılarda bağışıklık sistemi özel işlevlere sahip çok sayıda farklı hücre ve molekül içermektedir.

4.1.1. Bağışıklık sistemi organları

Vücut son derece farklı hücrelerden ve moleküllerden oluşan bir savunma sistemi tarafından korunur. Bu sistemde yer alan elemanlar öncelikle organizmanın kalıtsal yapısına yabancı, antijen olarak adlandırılan her türlü hücre dışı madde ve mikroorganizmanın (bakteri, virüs vb.) vücuda girmesini engeller. Antijenler, deri, solunum ve sindirim sistemi gibi engelleri aşarak, organizmaya dahil olduklarında, savunma sistemi hemen harekete geçer. Kemik iliği, timüs, lenf bezleri ve dalak gibi özelleşmiş merkezlerde yer alan fagositler, makrofajlar, lenfositler (B ve T hücreleri) gibi savunma hücreleri ve molekülleri devreye girerler.

Bağışıklık sisteminin organları lenfoid dokulu organlardır (Şekil 4.1.). Bu organlar, birincil lenfoid organlar ve ikincil lenfoid organlar olarak iki grup halinde incelenseler de birbirleriyle sürekli ilişki halindedirler. Birincil lenfoid organlarda, lenfositlerin üretim işleri yapılırken; ikincil organlarda lenfositler ilk defa antijenlerle yüzleşirler.

Birincil lenfoid organlar ya da merkezi (santral) veya primer lenfoid organlar, bağışıklık sisteminde lenfositlerin üretim ve olgunlaştırma işlerinin yapıldığı vücut organlarıdır. Bunlar; kemik iliği, timüs bezi ve fabriküs kesesidir :

Kemik İliği : Bağışıklık sisteminin tüm hücrelerinin kökeni olan kök hücrelerin bulunduğu bir merkezdir. Bağışıklık sisteminde en önemli rolü oynayan lenfositlerin öncüleri burada yapılır ve olgunlaştırılmak üzere diğer lenfoid organlarına giderler.

Timüs : Göğsün üst bölümünde, tiroid bezinin altında yer alan ve olgunlaşmamış lenfositlerin kemik iliğinden çıkıp, olgunlaşma sürecine tabi tutuldukları vücut organdır. Olgun lenfositler kan dolaşımıyla ikincil lenfoid organlara giderler.

Fabriküs Kesesi : Memeliler haricinde diğer hayvanlarda ve vücudun kalınbağırsağın anüs kısmında bulunan bir organdır. Bu organda da kemik iliğinden gelen öncü lenfositler olgunlaştırılır ve olgun B lenfosit halinde kana verilir. Memelilerde B-lenfosit olgunlaştırılması kemik iliğinde yapılır.

İkincil lenfoid organlar ya da yüzeysel (periferik) veya sekonder lenfoid organlar, bağışıklık sisteminde birincil lenfoid organlarda üretilen ve olgunlaştırılan lenfositlerin kan dolaşımıyla gelip yerleştiği vücut organlarıdır. Antijen ile karşılaşma ve bağışıklık yanıtı ikincil lenfoid organlarda gerçekleşir. Bunlar; lenf düğümleri, dalak ve mukozal lenfoid organlardır :

Lenf Düğümleri: Tüm vücuda yayılmış, B ve T hücrelerinin bulunduğu merkezlerdir. Vücutta koltuk altı, kasık, çene altı, boyun, dirsek ve göğüs bölgelerinde bol bulunurlar.

Lenf Bezleri: Geniz eti olarak da bilinen, yutağın üst kısmında, burun boşluğunun arka tarafında bulunan lenfoid doku parçalarıdır. Bakteri ve virüs gibi enfektöz ajanları ve onların ürettiği antikorları yakalarlar.

Bademcikler: Boğazda, lenfositlerin toplandığı ve dışarıya açılan bir açıklık olan ağızda ilk engeli oluşturan küçük yapılardır. Lenf sıvısı, bademciklerin içerisinde bulunan lenf damarlarından boyun ve çene altı düğümlerine doğru akar. Bu esnada lenf damarlarının duvarlarından lenfositler salgılanır. Vücuda girebilen mikroplar, buradan salgılanan lenfositler tarafından temizlenirler.

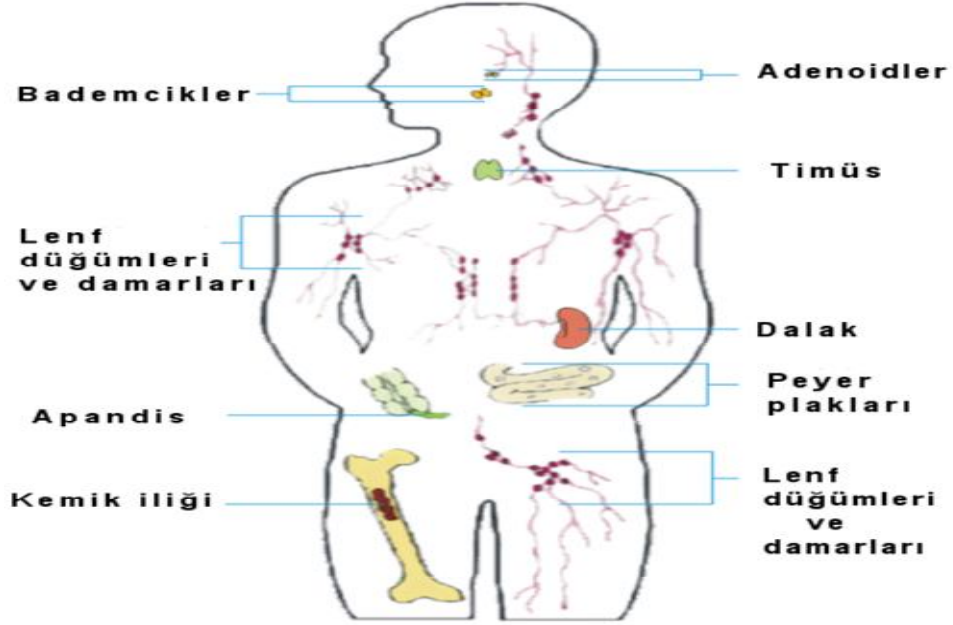
Lenf Düğümleri : Tüm vücutta yayılmış, B ve T hücrelerinin bulunduğu merkezlerdir. Vücutta koltuk altı, kasık, çene altı, boyun, dirsek ve göğüs bölgelerinde bol bulunurlar.

Karaciğer : Özellikle fetüste (ana rahmindeki canlı) olmak üzere, immünojenik etkin hücreleri içerir; T-hücreleri ilk olarak fetüs karaciğeri tarafından üretilirler.

Dalak : Karın boşluğunun sol üst tarafında bulunan ve eski kırmızı kan hücrelerinin yıkımından sorumlu bir organdır. Enfeksiyonlarla savaşmada yardımcı olur.

Peyer Plakları : İnce bağırsağın ileum bölgesinde bulunan lenfoid dokuların yoğunlaştığı bölgelerdir. Bağırsaktaki patojenlerin kontrol altında tutulmalarını sağlar.

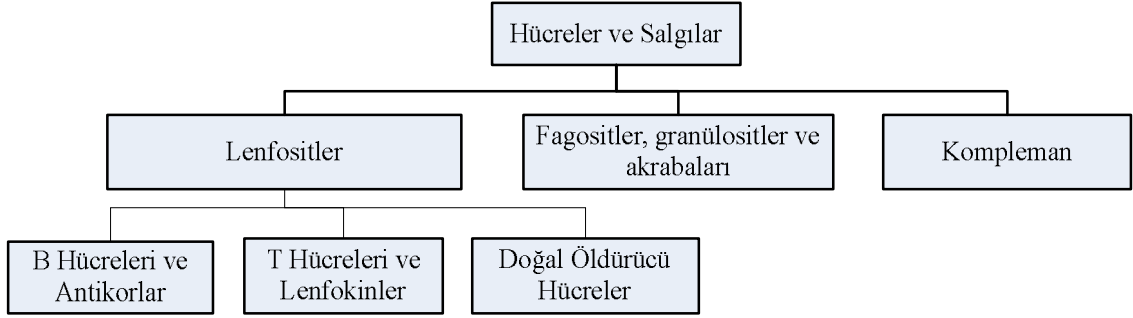
Lenf : Bağışıklık sisteminin hücre ve proteinlerini vücudun bir yerinden diğerine taşıyan, "akkan" olarak da bilinen bir çeşit dolaşım sistemi sıvısıdır.



Şekil 4.1. Bağışıklık Sistemi Organları

4.1.2. Bağışıklık hücreleri

Bağışıklık sistemi büyük çoğunluğu kemik iliklerinde üretilen çok farklı hücre çeşitlerinden oluşmaktadır. Genel olarak bu hücelere akyuvar(lökosit) adı verilmektedir. Lökositler, kemik iliklerinde üretildikten sonra, çeşitli dokulara göç ederek, vücutta bir bakıma devriye gezerler ve kanda ve lenf damarlarında sürekli dolaşım halindedirler. Bazıları vücudun genel savunmasından sorumlu iken, bazıları ise belirli patojenlerle savaşmak ve onları yok etmekle sorumludurlar. Bağışıklık fonksiyonunun eksiksiz olarak yerine getirilebilmesi için, bu çeşitli hücrelerin antijenlere karşı sürekli olarak koordinasyon içinde çalışmaları gerekir. Şekil 4.2.'de bağışıklık sistemi tarafından üretilen salgı ve hücrelerin yapısal olarak ayrımı görülmektedir.



Şekil 4.2. Bağışıklık Sistemindeki Hücreler ve Salgılar (De Castro and Zuben,1999)

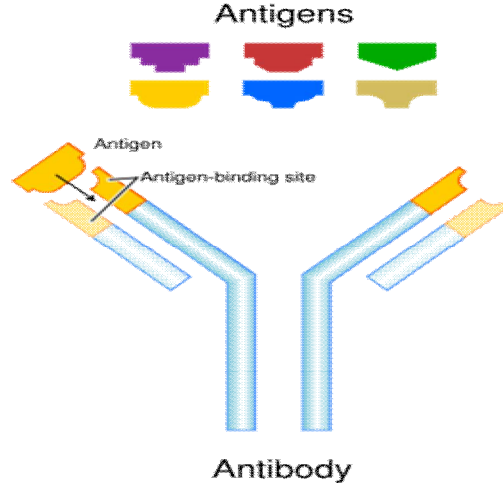
4.1.2.1. Lenfositler

Lenfositler bağışıklık sistemindeki asıl sorumluluğu üstlenen küçük lökositlerdir. B lenfositler (B hücreleri) ve T lenfositler (T hücreleri) olmak üzere başlıca iki çeşidi vardır:

B Hücreleri ve Antikorlar : B hücrelerinin asıl görevi, dışarıdan yabancı bir mikrop , virüs, tümör veya bakteri vücuda girdiğinde, bunlara karşı antikorları üretmek ve salmaktır. Her B hücresi spesifik bir antikor salmak için programlanmıştır. Antikorlar başka özel proteinleri tanıyabilen ve onlara yapışabilen özel proteinlerdir. Antikorların üretimi ve yapışması, vücuda giren antijenleri yok etmek için vücuttaki diğer hücreleri uyarma yöntemidir.

Antikorlar bağışıklık sisteminde yabancı molekülleri tanımada rol oynayan en önemli araçlardır. Y biçimindeki antikorların kısa kollarının uç kısmında antijenlere bağlanabilmelerini sağlayan özel bölgeler bulunur (Şekil 4.3.). Herhangi bir antijene bağlanmış olan antikorlar, ya onların hareketine engel olur ya da bağışıklık sisteminde rol alan başka proteinlerin, hormonların ve makrofajların devreye girmesi için işaret verirler. Bu antikorlar kişiyi ikinci kez aynı mikrop ile hasta olmaktan korurlar. "Immüoglobülinler" de denilen antikorların beş çeşidi vardır. Ayrıca karaciğerde yapılarak kana geçen bazı özel proteinlerin de, antikorların işlevlerini tamamlayıcı farklı rolleri vardır.

B lenfositlerinin antikor oluşturmak dışında iki önemli görevi daha vardır. Bunlardan birisi T lenfositlerine antijen sunma görevi; diğeri de saldıkları kimyasal maddelerle (sitokinler, lenfokinler) başka immünolojik hücreleri etkilemektir.



Şekil 4.3. Antikorun Yapısı

T Hücreleri ve Lenfokinler : Kemik iliğinde üretilen hücrelerin timüse gelerek orada olgunlaşmasından sonra oluştukları için T hücresi olarak adlandırılmışlardır. Bu hücrelerin fonksiyonu, diğeri hücrelerin hareketlerini düzenlemek ve hastalıklı hücrelere doğrudan saldırmaktır. Yardımcı T hücreleri, öldürücü T hücreleri ve sindirici T hücreleri olmak üzere üç alt gruba ayrılır.

Yardımcı T hücreleri, B hücreleri, diğeri T hücreleri, makrofajlar ve doğal öldürücü hücrelerin aktive olmasını sağlar.

Öldürücü T hücreleri, virüsleri, mikrobik saldırganları veya kanserli hücreleri etkisiz hale getirme kabiliyetine sahiptir. Aktive edilince, antijeni sarmalar ve zararlı kimyasallar salgılar, yüzey zarlarını(membran) delmek suretiyle onları yok eder.

Sindirici T hücreleri bağışıklık tepkisinin kontrol altında tutulmasında çok önemli bir role sahiptir. Diğeri bağışıklık hücrelerinin aktivitelerini engeller. Bu hücreler olmazsa, bağışıklık sistemi kontrolünü kaybederek alerjik reaksiyonlara ve oto immün hastalıklara neden olabilir.

Doğal Öldürücü Hücreler : Doğal Öldürücü Hücreler de kemik iliğinde yapılmaktadır Bu hücreler kan kemik iliği ve dalakta bulunurlar. Bunlar büyük görünümlü lenfositlerdir. NK(Natural Killer) hücreleri olarak da adlandırılırlar. Ölümcül lenfositlerin diğer bir türüdür. Öldürücü T hücreleri gibi, güçlü kimyasal maddeler salgılayabilirler. Öldürücü T hücrelerinin tersine, aktive olmadan önce spesifik bir antijeni tanımaya ihtiyaç duymazlar. En önemli görevleri, tümör hücrelerini ve virüs taşıyan hücreleri öldürmektir. Virüs taşıyan hücreleri öldürdükleri halde normal hücrelere zarar vermezler.

4.1.2.2. Fagositler, granülositler ve akrabaları

Fagositler(hücre yiyiciler), mikroorganizmaları ve antijenik partikülleri yeme ve sindirme kabiliyetine sahip ak kan hücreleridir. Bazı fagositler, lenfositlere antijenleri sunabilme kabiliyetine de sahiptir. Bunlara antijen sunucu hücreler (antigen presenting cells(APC) adı verilir.

Önemli fagositler makrofaj ve monositlerdir. Kemik iliğinde yapılp kan dolaşımına geçen monositler 12 saat içinde dokulara girerler ve makrofajlara dönüşürler. Monosit ve makrofaj gibi büyük lökositler bağışıklık sistemimizin en önemli hücreleridir. Her dokunun kendine özgü makrofajları vardır. Örneğin; akciğerlerdeki makrofajlar duman ve toz gibi yabancı parçacıkları, bakterileri ve virüsleri temizlerler. Makrofajlar, büyük boyutlu hücrelerdir. En önemli becerisi sindirme ve hazmetme yani fagositoz yapabilmesidir. Fagositoz, bağışıklığın en önemli öğelerinden biridir. Çünkü enfeksiyona karşı çabuk ve çoğunlukla da kesin bir koruma sağlar. Sindirilip hazmedilen hücreler, T lenfositlerine tanınmak üzere sunulur. Bu yüzden bağışıklık tepkisinin oluşumunda önemli bir rol oynarlar. Makrofajların önemli bir görevi de; ölmüş nötrofilleri temizlemektir.

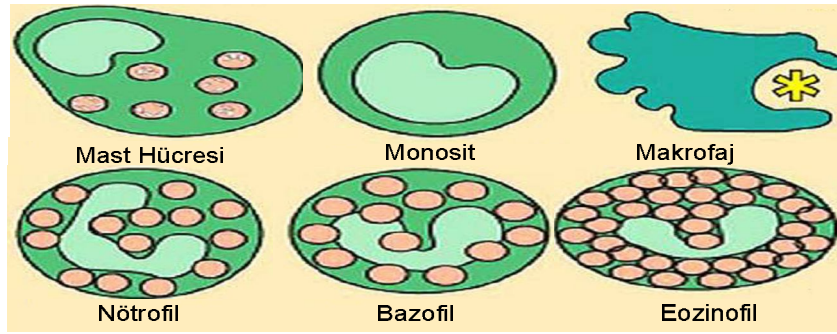
Akyuvarlarının % 50-60'ı granülositlerdir. Bunlar da, nötrofiller, eozinofiller ve bazofiller olarak üç sınıfa ayrılırlar.

Kemik iliğimiz her gün trilyonlarca nötrofil üreterek kan dolaşımına bırakır ama yaşam süreleri kısadır ki bu genelde bir günden azdır. Elimize kıymık battığında ya da elimiz kesildiğinde nötrofiller hızla bu bölgeye göç ederler ve salgıladıkları enzimler,

deterjan ve çamaşır suyu etkilerine benzer hidrojen peroksit veya diğer kimyasal maddelerle, karşılaştıkları bakterileri veya yabancı molekülleri öldürürler.

Eozinofiller, deride ve akciğerde bulunan parazitlere odaklanır.

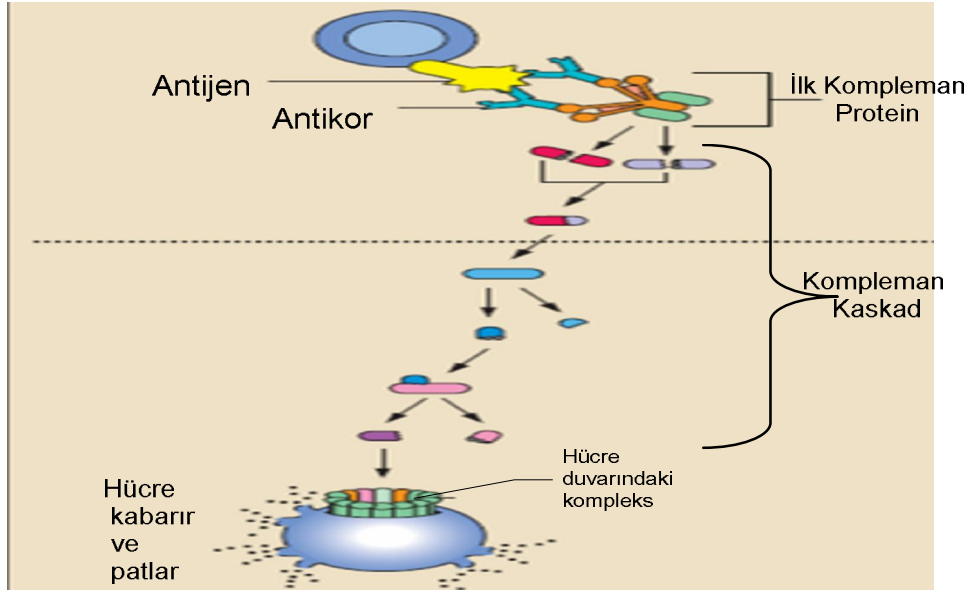
Bazofiller, histamin denilen özel proteinler taşıdıklarından enflamasyona (iltihap) sebep olmalarından ötürü önemlidirler. Bu hücreler alerjik hastalıkların gelişmesinden sorumludurlar. Şekil 4.4.'te en önemli fagositler görülmektedir.



Şekil 4.4. Fagositik Hücreler

4.1.2.3. Kompleman sistem

Kompleman sistemi, antikorların fonksiyonlarını tamamlamak üzere sürekli dolaşım halindeki plazma proteinlerinin bir kümesinden oluşan bir kompleks oluşturur. Kompleman saldırgan bir organizma tespit ettiği zaman, bileşenlerinden her biri bu organizmaya karşı zincirleme bir tepkime (kompleman kaskad) gerçekleştirir. Bunun sonucunda saldırganın yüzeyine yapışan ve onun koruyucu zarına zarar veren ve fagositlerin işlerini kolaylaştıran bir protein kompleksi meydana getirir. Bu kompleks vücutta pasif olarak dolaşan, yaklaşık 25 proteinden oluşur. Şekil 4.5.'te kompleman tepkimenin meydana gelişi görülmektedir.



Şekil 4.5. Kompleman Zincir Tepkimesi (Kompleman Kaskad)

4.1.3. Bağışıklık sisteminin çalışması

Vücuda herhangi bir antijen girdiğinde, bu antijene karşı çok çeşitli hücre ve moleküller bir arada senkronize bir biçimde bağışıklık tepkisi oluşturur ve vücudu mikroplara, bakterilere veya diğer yabancı maddelere karşı korur. Şekil 4.6.'da vücut savunmasının temel bağışıklık mekanizmasını gösterilmektedir :

Adım-1 : Makrofajlar gibi özel antijen sunucu hücreler (APCs), vücudu sürekli dolaşır. Bir antijenle karşılaşması durumunda onu yutar, sindirir ve antijeni peptidlerine ayırır.

Adım-2 : Bu peptidler özel bir protein olan MHC molekülleri ile birleştirilir ve hücre yüzeyinde sunulur. T lenfositlerinin her biri farklı peptid-MHC kombinasyonunu tanıyabilme kabiliyetine sahip reseptör moleküllere sahiptir.

Adım-3 : Antijeni reseptör moleküller sayesinde tanıyan T hücreleri aktive olarak lenfokinleri veya kimyasal sinyalleri salgılar ve bağışıklık sisteminin diğer elemanlarını harekete geçirir.

Adım-4 : B lenfositleri yüzeylerinde, bu sinyallere cevap verecek reseptör moleküllere sahiptir. B hücreleri T hücrelerinin aksine antijen parçalarını MHC

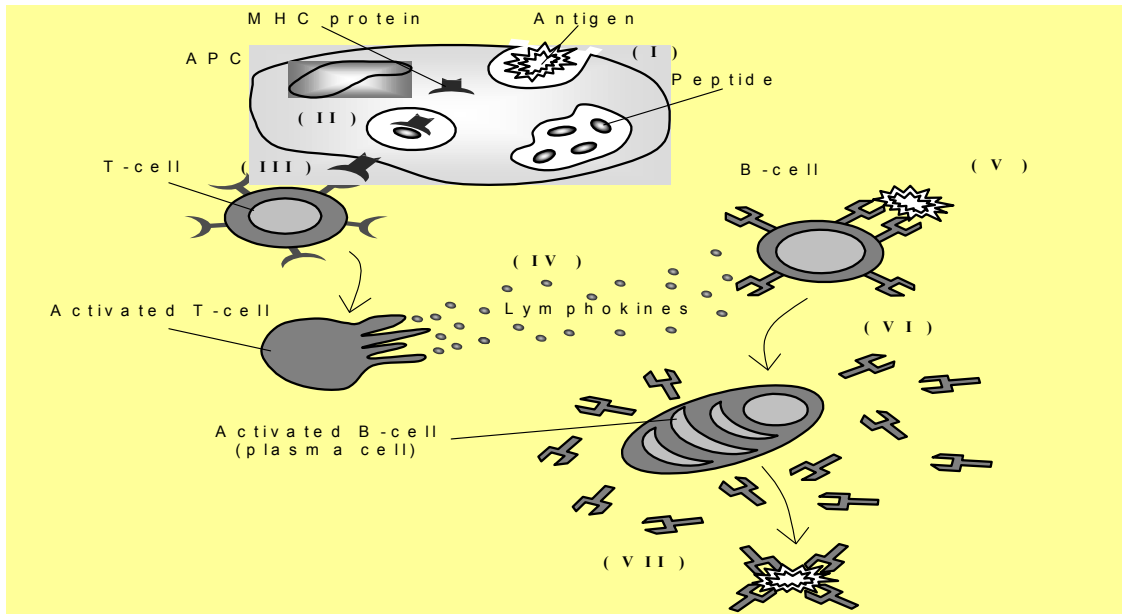
kombinasyonu olmaksızın tanıyabilir. B hücresi bu sinyalleri algılayarak pasif halden aktif hale gelir.

Adım-5 : B hücreleri aktive olduğu zaman, bölünmeye ve farklılaşarak antikor proteinleri salgılayabilen plazma hücrelerine dönüşmeye başlar. Etkin B hücresi böylece bölünmeye başladığında, ürünleri (plazma hücreleri), antijenleri tanıyan antikorların milyonlarca kopyalarını salgılar.

Adım-6 : Bu antikorlar kan plazmasında ve lenfte dolaşır, antijen sunan patojenleri bağlar ve onları kompleman sisteminin ya da fagositlerin yıkımı ve kaldırması için işaretler.

Adım-7 : Antikorlar buldukları antijenlere yapışırlar ve onların yok edilmesini sağlarlar. Bazı T ve B hücreleri hafıza hücrelerine dönüşerek vücutta dolaşmaya devam ederler ve aynı antijenle bir daha karşılaşıldığında daha hızlı bağışıklık tepkisi verilmesini sağlarlar.

B hücrelerindeki antikorların genleri çok hızlı mutasyona ve denetime tabi tutuldukları için, antikor reaksiyonu her bağışıklık tepkisinde çok hızlı bir şekilde gelişir. Bu olgu benzerlik olgunlaştırması (affinity maturation) olarak adlandırılır.



Şekil 4.6. Bağışıklık Mekanizmasının İşleyişi (De Castro and Zuben,1999)

4.1.4. Kendinden ve kendinden olmayan ayrımı

Bağışıklık sistemini temel çalışma mekanizması vücudun kendine ait olan (self) ve kendinden olmayan (nonself) molekülleri tanımlayıp birbirinden ayırt edebilmesine dayanır. Vücut herhangi bir maddenin kendinden olmadığını algıladığı anda reaksiyona geçerek bağışıklık tepkisi vermektedir. Eğer vücut kendi hücreleri ile yabancı hücreler arasında ayırım yapabilme kabiliyetini yitirmişse kendi hücrelerine karşı da aynı yok edici tepkiyi vereceğinden kendi kendine zarar verecektir. Vücutta bu ayrımı yapabilmek için çok çeşitli mekanizmalar yer almaktadır. Bunların başlıcaları negatif seçim, pozitif seçim , klonal seçim ve reseptör denetimi mekanizmalarıdır :

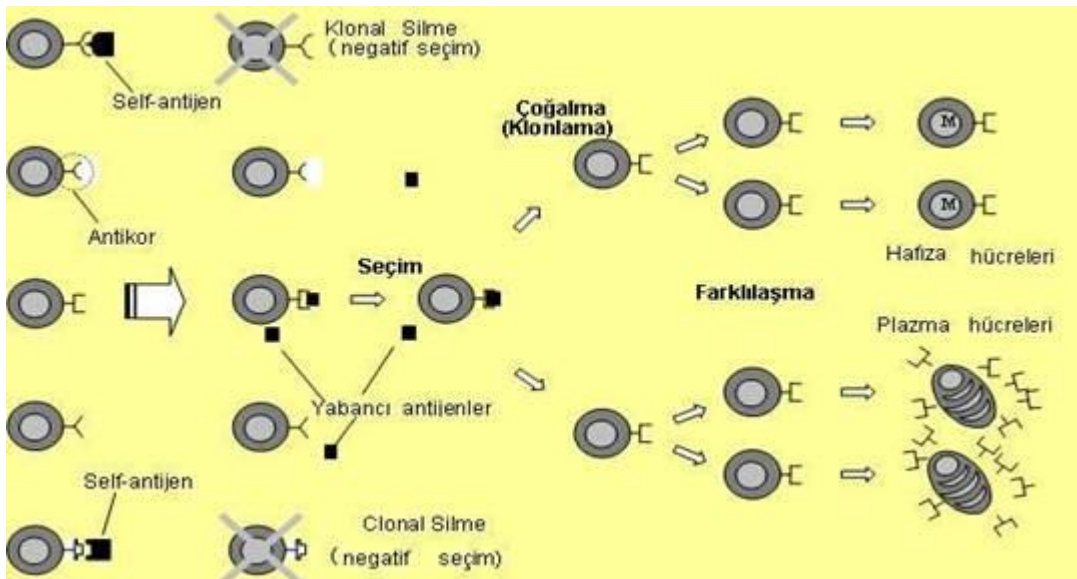
Kemik iliklerinde ve timüste bağışıklık tepkisi için her türlü maddeye karşı lenfosit üretilir. Buralarda hızlı bağışıklık tepkisi verilebilmesi için çok fazla miktarda lenfosit üretilir. Bu lenfositlerden bazıları vücuda dışarıdan girecek antijenlere karşı, bazıları vücudun kendi hücrelerine karşı duyarlıdır. Bazı hücreler ise herhangi bir duyarlılık taşımamaktadır. Vücudun bu lenfositlerden vücuda giren antijene duyarlı olanlarla, kendi hücrelerine duyarlı olanları ayırt edebilmesi gerekir.

Negatif seçim mekanizması, timüste üretilen ve vücudun kendinden olan hücrelerine duyarlı olan lenfositlerin yok edilmesini ve böylece kendi kendine zarar vermesini önüne geçilmesini temin eder. Eğer bu mekanizma olmazsa, lenfositler ve antikorlar vücudun kendi hücrelerine saldırıp, onları yok edebilir.

Pozitif seçim mekanizması ise MHC proteini ile birleşerek yabancı antijenleri tanıyıp ayırt edebilme özelliğine sahip olan lenfosit ve antikorların, işaretlenerek yok edilmemelerini temin eder.

Klonal seçim mekanizması antijenik bir uyarana karşı, bağışıklık tepkisinin temel özelliklerini ortaya koyar. Dayandığı temel düşünce ise lenfositlerin vücuda giren antijenleri tanınması, vücudun kendi hücrelerinden ayırt etmesi, antijenin tanınmasından sonra ise lenfositlerin hızla çoğalması sürecidir. Klonal seçim lenfositlerin T ve B tipi hücreleri vasıtasıyla gerçekleşmektedir ve başlıca özellikleri ise şunlardır:

- Yüksek oranlarda gerçekleşen mutasyon mekanizması ile baba hücrelerden(klonlardan) yeni hücrelerin üretilmesi.
- Lenfositler, vücuttaki bütün hücelere karşı çoğalmaktadır fakat daha sonra vücudun kendi hücelerine duyarlı olarak üretilmiş olan lenfositler yok edilmektedir.
- Antijenleri iyi tanıyabilen olgunlaşmış hüceler hızla çoğaltılmakta ve bu hücelerin çeşitliliği sağlanmaktadır. Bunun için somatik hipermutasyon denilen çok seri gen değişimi mutasyonları gerçekleşmektedir.
- Üretilmiş fakat antijenlere uyum sağlayamayan antikorlar ise reseptör denetimi denilen bir mekanizma ile temizlenerek yerlerine yeni ve daha iyi uyum sağlayabilecek antikorlar ve lenfositler üretilmektedir.
- Yabancı hüceler ilk kez vücuda girdikten sonra oluşturulan bağışıklık tepkisi (doğal bağışıklık) sonrasında, bu yabancı hüceleri eniyi tanıyan antikorlar ve lenfositler hafızada saklanmakta ve daha sonra tekrar bu hücelere karşılaşıldığında çok daha hızlı ve ani tepkiler vermek suretiyle yabancı hüceler temizlenmektedir. Klonal seçim mekanizmasının çalışma prensibi **Şekil 4.7.**'de gösterilmiştir. (De Castro et al., 2001)



Şekil 4.7. Klonal Seçim Mekanizması (De Castro et al., 2001)

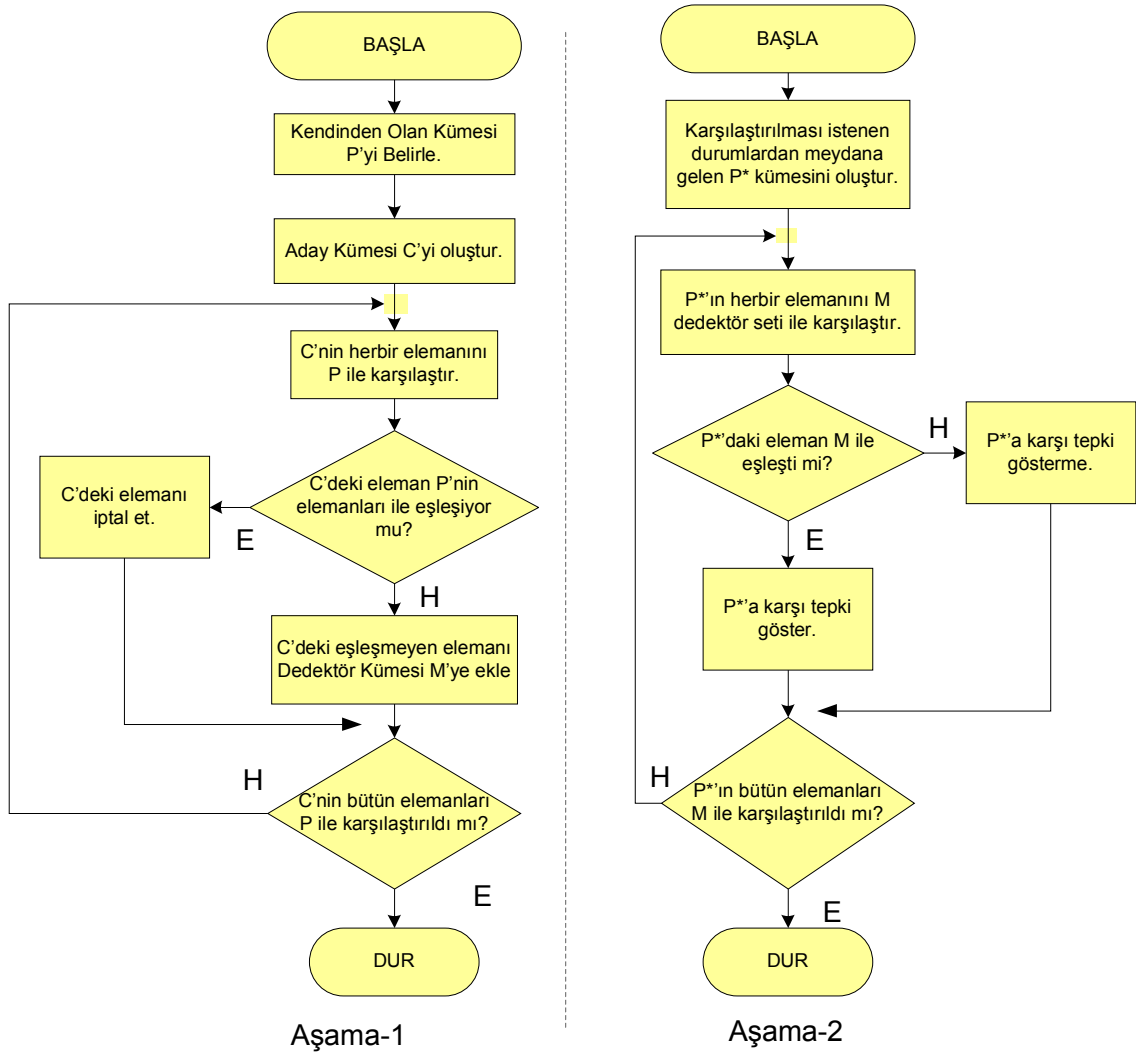
4.2. Yapay Bağışıklık Sistemleri

Yapay bağışıklık sistemleri (YBS), canlılardaki bağışıklık sistemini organları ve elemanlarının işleyişinin, fonksiyonlarının ve mekanizmalarının çeşitli optimizasyon problemleri, veri madenciliği, makine öğrenmesi, görüntü tanımlama, bilgisayarlarda virüs tespiti v.b. gibi alanlarda taklit edilerek uygulanması sonucu ortaya çıkmıştır.

YBS uygulamalarında, negatif seçim, klonal seçim v.b. mekanizmalar problemin özelliğine göre taklit edilmekte, sonuçta problemin çözümü sağlanmaktadır. YBS uygulamalarında en çok uygulanan mekanizmalar klonal seçim mekanizması ve negatif seçim mekanizmasıdır.

4.2.1. Negatif seçim mekanizması

Bağışıklık sistemlerindeki negatif seçim mekanizması özellikle, bilgisayar ağlarında virüs veya anormal durum tespiti, görüntü tanıma, motorlarda hata tespiti ve veri madenciliği gibi alanlarda, oldukça yaygın ve başarılı bir şekilde kullanıma sahiptir. Negatif seçime bilgi işleme perspektifi açısından bakıldığında mekanizma şu şekilde çalışmaktadır (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8. Negatif Seçim Mekanizması (De Castro and Zuben, 1999)

Aşama-1: Dedektörlerin Tespiti

Adım-1: Probleme çözüm üretebilmek için gerekli bütün aday kümesini oluştur.

Adım-2: Oluşturulan bu aday kümesindeki elemanların her birinin, probleme ait hücre repertuarı ile uyum oranını belirle.

Adım-3: Oluşturulan bu aday kümesinden, sistemin kendinden olan elemanlarına karşı duyarlı olan (yüksek uyumluluk gösteren) adayları işaretle.

Adım-4: İşaretlenen adayları sil ve geri kalan adayları dedektör olarak seç!

Aşama-2: Kendinden Olmayanların Belirlenmesi

Adım-1: Eldeki veri kümesindeki elemanların her birinin uyum değerini hesapla ve dedektör kümesi ile karşılaştır.

Adım-2: Uyum değeri hesaplanan elemanlardan, eldeki dedektör kümesi ile belirlenen eşik değerden daha fazla uyum gösteren elemanları kendinden olmayan (non-self) olarak belirle.

Aşama-3: Hücre repertuarını güncelle ve durma ölçütü sağlanıncaya kadar döngüye devam et.

4.2.2. Klonal seçim mekanizması

Klonal seçim mekanizmasının kombinatoriyel eniyileme problemlerine uygulanmasını ilk sağlayan De Castro ve Zuben (1999)'in geliştirdiği CLONALG isimli algoritmanın çalışması ise şu şekildedir.

1. Aday Çözümlerden oluşan bir P kümesi oluştur. P kümesi hafızada daha önce saklanan iyi çözümler alt kümesi (M) ve geri kalan yeni üretilmiş çözümler alt kümesinden (Pr) oluşmaktadır ($P = Pr + M$);

2. Bu P kümesinden n adet eniyi olanları (uygunluk değerlerinin kalitesine göre) Pn olarak belirle,

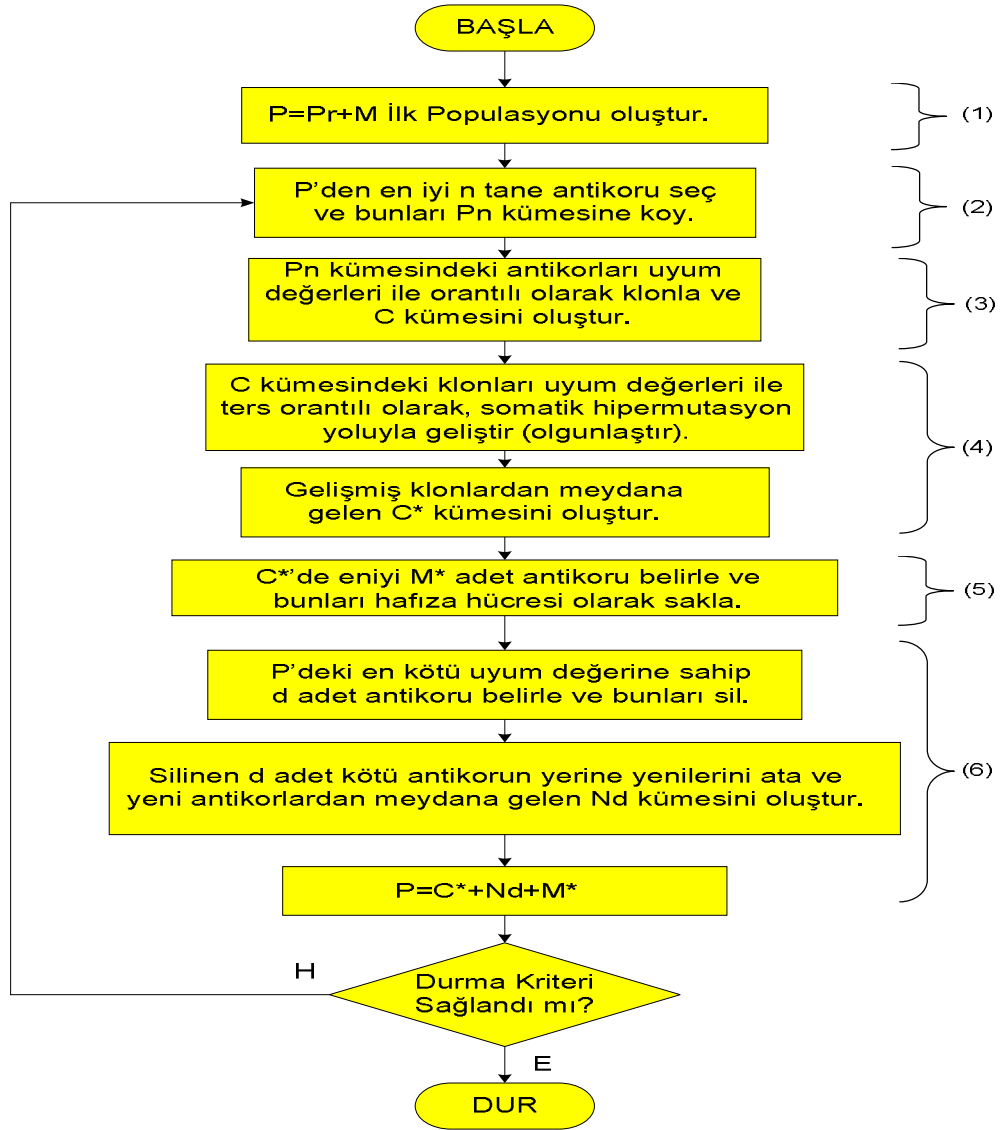
3. Bu eniyi n adet bireyi klonla (kopyala) ve klonlardan oluşan C kümesini oluştur.

4. C kümesindeki bireyleri, uygunluk değerleri ile orantılı olarak somatik hipermutasyona uğrat ve daha sonra olgunlaşmış C* kümesini oluştur.

5. C* kümesinden eniyi olanları M hafıza hücresi kümesinde sakla.

6. P kümesindeki d adet düşük uygunluk değerine sahip kötü bireyleri popülasyondan sil ve yerlerine yenilerini koy ve yeni P kümesini oluştur, adım-1'e dön.

Akış diyagramı ise Şekil 4.9.'da görüldüğü gibidir.



Şekil 4.9. CLONALG algoritmasının akış diyagramı (De Castro and Zuben, 1999)

5. GELİŞTİRİLEN YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ YAKLAŞIMI

Bu çalışmada esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için yeni bir yapay bağışıklık sistemi algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritmada, problem ile bağışıklık sistemlerindeki karşılıkları Çizelge 5.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Çizelgeleme Problemlerinin YBS İle Çözümünde Kullanılan Kavramlar

Çizelgeleme Problemindeki Kavram	YBS'de Karşılık Gelen Kavram
Çizelgelenecek İşler	Antijenler
Problem İçin Yeni Üretilen Çizelgeler (Çözümler)	Antikor
Yeni Üretilen Çizelgedeki Tüm İşlerin Tamamlanma Zamanı (Makespan)	Antikorum Uyum Değeri (affinity)
Çözümlerden Oluşan Küme (Populasyon)	Hücre Repertuarı
İyi Çizelge Veren Çözümler	Klonlar
En Kötü Çizelgeyi Veren Çözümler	Kötü Antikorlar
Komşuluk Mekanizması ile Diğer Bir Çizelgeye Geçiş (Mutasyon)	Somatik Hipermutasyon
İyi Çizelgelerin Mutasyonla Geliştirilmesi	Uyum Değeri Olgunlaştırması (Affinity Maturation)
Kötü Çizelgelerin Populasyondan Silinmesi ve Yerlerine Yenilerinin Oluşturulması	Reseptör Denetimi (Receptor Editing)
En İyi Çizelgelerin Hafızada Saklanması (Elitizm)	Hafıza Hücreleri (Memory Cells)
Populasyondan Uyum Değerine Göre Herhangi Bir Bireyin Seçimi	Antijen Antikor Eşleşmesi

Yukarıdaki çizelgede de görüldüğü gibi problemde çizelgelenmesi gereken işler vücuda giren antijenler, bu işlerin yapılabilmesi için üretilen çizelgeler de antikorlardır. Her bir çizelgenin Cenb değeri de o antikorum uyum değeridir. Cenb değeri ne kadar küçük olursa, antijen antikor eşleşmesi o kadar yüksek oluyor ve üretilen antikorların kalitesi de aynı zaman da o kadar iyi oluyor anlamına gelmektedir. Girilen populasyon

büyüklüğü parametresine göre üretilen çözümler kümesi de, antijenler için timüste oluşturulan hücre repertuarına karşılık gelmektedir. Bu repertuardaki antikorlar(çizelgeler) hızlı somatik mutasyonlarla olgunlaştırılmakta ve daha iyi uyum değerine sahip antikorla üretilmektedir (somatik hipermutasyon ve uyum değeri olgunlaştırması). Hücre repertuarında antijenlerle kötü uyum gösteren antikorlar (kötü çizelgeler) hücre repertuarından silinmekte ve yerlerine yenileri oluşturulmaktadır. Tüm bunlar belirlenen durma koşulu sağlanıncaya kadar devam ettirilmektedir. Söz konusu algoritmaya ait akış diyagramı EK’de verilmiştir. Algoritmanın kodlama işlemi MATLAB programlama dilinde yapılmıştır.

5.1. Antikor Gösterimi

Geliştirilen YBS’nde antikor gösterimi, bu tip problemler için geliştirilmiş genetik algoritmalarındaki kromozom gösterimi ile benzerdir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, kromozom gösterimi EATÇP’nin çözümünü başarılı bir şekilde gerçekleştirmedeki ilk önemli adımdır (Tay et al., 2004). Geliştirilen algoritmada antikor gösterimi iki aşamadan oluşur:

- **İşlerin Sıralaması :** Bunun için literatürdeki en başarılı gösterimlerden biri olan tekrarlı permütasyon gösterimi tercih edilmiştir. Yani her bir iş kaç işlem içeriyorsa, antikor içinde o kadar kez tekrar edilmekte ve daha sonra bu sıralama soldan sağa doğru okunarak, işlemlerin sıralaması belirlenmektedir (Şekil 5.1.).

İşler	1	2	1	3	2	1	2	3
İşlemler	O₁₁	O₂₁	O₁₂	O₃₁	O₂₂	O₁₃	O₂₃	O₃₂

Şekil 5.1. Geliştirilen YBS’ndeki İşlerin Tekrarlı Permütasyon Gösterimi (Ho et al., 2007)

Şekil 5.1.’de ilk satırda görülen tekrarlanan sayılar iş numarasıdır. 1. iş için örnek verilecek olursa; ilk görülen 1, 1. işin 1.işlemini, 2. görülen 1, 1. işin 2. işlemini, 3. görülen 1 ise 1. işin 3. işlemini göstermektedir.

• **Makine Ataması** : İşlemlerin makinelere atanması, işlerin sıralamasından bağımsız olarak gerçekleşmektedir. Yani burada hiyerarşik bir yaklaşım sergilenmiştir. İşlemler makinelere atanırken, soldan sağa doğru sırayla okunur ve o operasyonun işlenebileceği makine listesinden bir makine rassal olarak bu operasyona atanır (Şekil 5.2.).

O ₁₁		O ₁₂			O ₁₃		O ₂₁			O ₂₂		O ₂₃			O ₃₁		O ₃₂		
M1	M2	M1	M2	M3	M1	M2	M1	M2	M3	M1	M2	M1	M2	M3	M1	M2	M1	M2	M3
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0

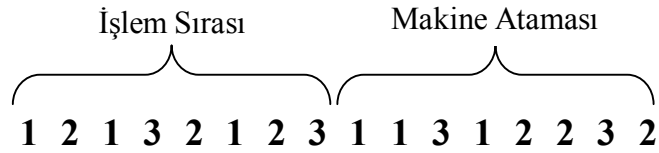
İşlemler	O ₁₁	O ₁₂	O ₁₃	O ₂₁	O ₂₂	O ₂₃	O ₃₁	O ₃₂
Atanan Makine	1	3	2	1	2	3	1	2

Şekil 5.2. Operasyonların Makinelere Atanması (Ho et al., 2007)

Önce işlerin sıralaması, daha sonra operasyonların makinelere atanmasından sonra, işlerin sıralamasına göre atanan makineler yerleştirilir.

$$V_1 = [1 \ 2 \ 1 \ 3 \ 2 \ 1 \ 2 \ 3]$$

$$V_2 = [1 \ 1 \ 3 \ 1 \ 2 \ 2 \ 3 \ 2]$$



Şekil 5.3. Antikor Gösterimi (Ho et al., 2007)

Şekil 5.3.'de görüldüğü gibi, işlerin sıralaması V1 vektörü ile, atanan makineler V2 vektörü ile gösterilecek olursa, bu iki vektörün yan yana getirilmesi ile antikor elde edilmiş olur (Ho et al., 2007).

5.2. İlk Popülasyon

İlk popülasyon rassal olarak oluşturulmaktadır. Yani rassal olarak iş sırası oluşturulmakta, daha sonra rassal olarak makine ataması yapılmakta ve böylece antikor oluşturulmaktadır. Bu işlem popülasyon büyüklüğü adedince tekrarlanmakta ve

böylece ilk popülasyon oluşmaktadır. Popülasyon büyüklüğü parametresi, kullanıcı tarafından girilmektedir.

5.3. Klonlama

Klonlama için, öncelikle kullanıcı tarafından klonlama oranı parametresi seçilmektedir. Bu parametreye göre klon sayısı = popülasyon büyüklüğü X klonlama oranı eşitliği ile hesaplanmakta ve klon sayısı kadar antikor klon olarak seçilerek sonraki nesile aktarılmaktadır.

Klon seçimi için genetik algoritmalarda kullanılan rulet çarkı yöntemine benzer bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem, Cenb değeri düşük olan antikorlara daha fazla klonlama şansı vermektedir.

Her antikorun için klonlanma olasılığı şu prosedür ile belirlenmektedir (Engin ve diğ., 2007):

- a) Popülasyondaki her antikor için Cenb değerini hesapla,
- b) Popülasyondaki enbüyük Cenb değerini bul ($Enb(Cenb)$),
- c) Her antikor için aşağıdaki eşitliğe göre uygunluk değerini hesapla

$$\text{Uygunluk Değeri} = (Enb(Cenb)+1) - (Cenb)$$
- d) Her antikor için aşağıdaki eşitlik yardımı ile seçilme olasılığı bulunmaktadır.

$$\text{Seçilme Olasılığı} = \frac{\text{Antikorun Uygunluk Değeri}}{\text{Populasyondaki Antikorların Toplam Uygunluk Değeri}}$$

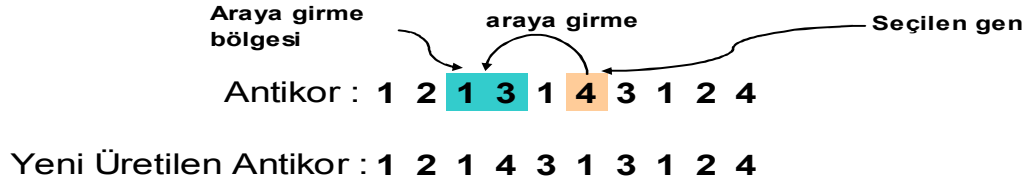
Bütün antikorlar yukarıdaki yordama göre hesaplanmış seçilme olasılıklarına göre rulet çarkına yerleştirilir ve klonlanacak antikorlar seçilir.

5.4. Somatik Hipermutasyon

Klonlanan her antikor yukarıda klonlama bölümünde belirtilen uygunluk değeri ile ters orantılı olarak mutasyona tabi tutulur. Sırayla aşağıdaki mutasyonlara tabi tutulur:

- a) **Araya Girme (insertion) Mutasyonu:** Antikor üzerindeki genlerden rasgele biri alınır ve antikorun rasgele bölgesindeki ardışık iki genin arasına yerleştirilir.

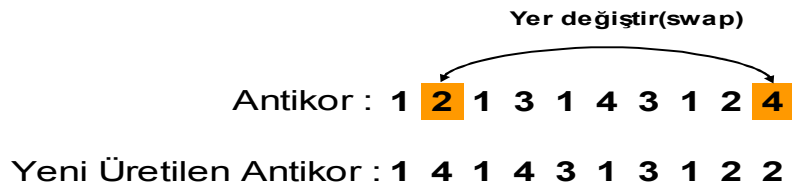
Yeni elde edilen antikor öncekinden daha iyi Cenb'e sahip ise eski antikorun yerine bu yeni antikor koyulur, yoksa eski antikor aynen muhafaza edilir.



Şekil 5.4. Araya Girme Mutasyonu Örneği

Şekil 5.4.'deki örnekte, önce 3 ve 4 numaralı gen bölgesindeki 1 ve 3 numaralı işler seçilmiş, daha sonra 6 numaralı gen bölgesindeki 4 numaralı iş bu iki işin arasına koyularak araya girme mutasyonu gerçekleştirilmiş ve yeni antikor elde edilmiştir.

b) Karşılıklı Yer Değiştirme (Swap) Mutasyonu: Bunun için antikor üzerinde rasgele iki gen seçilir ve bu genler yer değiştirilir. Yeni elde edilen antikor öncekinden daha iyi Cenb'e sahip ise eski antikorun yerine bu yeni antikor koyulur, yoksa eski antikor aynen muhafaza edilir.



Şekil 5.5. Karşılıklı Yer Değiştirme (Swap) Mutasyonu Örneği

Şekil 5.5.'teki örnekte, işaretli olan gen bölgelerindeki 2 ve 4 numaralı işler seçilmiş, daha sonra bu iki işin gen bölgeleri karşılıklı olarak değiştirilerek yeni antikor elde edilmiştir.

c) Tek Makine Değiştirme Mutasyonu: Bu mutasyonda antikora ait işlerden bir tanesi rasgele seçilir ve bu işin işlendiği makine değiştirilerek yerine farklı bir makine atanır. Yeni elde edilen antikor öncekinden daha iyi Cenb'a sahip ise eski antikorun yerine bu yeni antikor koyulur, yoksa eski antikor aynen muhafaza edilir.

Antikor :	1	2	1	3	1	4	3	1	2	4	İşler
	1	2	1	3	3	2	3	2	3	1	
Yeni Üretilen Antikor :	1	2	1	3	1	4	3	1	2	4	İşler
	1	2	1	3	3	3	3	2	3	1	

Şekil 5.6. Tek Makine Değişirme Mutasyonu Örneği

Şekil 5.6.'da önce işaretli gen bölgesindeki 4 numaralı iş belirlenmiş, daha sonra bu işin işlendiği 2 numaralı makine yerine, 3 numaralı makine atanarak tek makine mutasyonu gerçekleştirilmiştir.

d) İki Makine Değişirme Mutasyonu: Bu mutasyonda antikora ait işlerden ikisi rasgele seçilir ve bu işlerin işlendiği makineler değiştirilerek yerlerine farklı makineler atanır. Yeni elde edilen antikor öncekinden daha iyi Cenb'a sahip ise eski antikorun yerine bu yeni antikor koyulur, yoksa eski antikor aynen muhafaza edilir.

Antikor :	1	2	1	3	1	4	3	1	2	4	İşler
	1	2	1	3	3	2	3	2	3	1	
Yeni Üretilen Antikor :	1	2	1	3	1	4	3	1	2	4	İşler
	1	3	1	3	3	3	3	1	3	1	

Şekil 5.7. İki Makine Değişirme Mutasyonu Örneği

Şekil 5.7.'de görülen örnekte, önce işaretli gen bölgelerindeki 2 ve 1 numaralı işler seçilmiş, daha sonra bu işlerin işlendiği 2 numaralı makine yerine, 3 ve 1 numaralı makineler atanmak suretiyle mutasyon gerçekleştirilmiştir.

5.5. Reseptör Denetimi

Bu aşamada popülasyonda klonlama ve somatik hipermutasyondan sonra geriye kalan en kötü antikora yapılacak işlem seçilir. Bunun için uygulanan prosedür şu şekildedir:

Adım-1: Popülasyondaki en kötü k tane antikorunu belirle.

Adım-2: Belirlenen her kötü antikor için şunları yap,

- (a) Antikor(k) için rasgele rasgele bir gen bölgesi belirle ve gen bölgesini ters çevir, oluşacak yeni antikorun(Antikor(k+1)) Cenb değerini hesapla. Eğer $Cenb(k+1) \leq Cenb(k)$ ise Antikor(k)=Antikor(k+1) yoksa (b)'ye git.

- (b) Antikor(k)'daki operasyonların işlendiği makineleri yeniden ata. Oluşacak yeni antikorun(Antikor(k+1)) Cenb değerini hesapla. Eğer $Cenb(k+1) \leq Cenb(k)$ ise Antikor(k)=Antikor(k+1) yoksa (c)'ye git.
- (c) Antikor(k) için rasgele bir gen belirle ve bu gende bulunan işin işlendiği makineyi değiştir (tek makine mutasyonu). Oluşacak yeni antikorun(Antikor(k+1)) Cenb değerini hesapla. Eğer $Cenb(k+1) \leq Cenb(k)$ ise Antikor(k)=Antikor(k+1) Adım-3'e git.

Adım-3: Seçilen antikorda yapılan mutasyonlara rağmen iyileşme sağlanamadıysa, bu antikor yerine rassal olarak yeniden antikor üret. Yeni üretilen antikor(Antikor(yeni)) daha iyi Cenb değerine sahipse Antikor(k)= Antikor(yeni) yoksa Antikor(k)= Antikor(k).

5.6. Hafıza Hücreleri

Üretilen her nesilde kullanıcı tarafından belirlenen h tane eniyi antikor hafıza hücresi olarak saklanır ve popülasyonun en kötü h adet antikorunun yerine koyulur.

5.7. İş Rotalaması

Algoritma çalıştırılmadan önce, her işe ait rota, program tarafından hafızaya alınmakta ve böylece işlerin kendi rotaları dışına çıkması engellenmiş olmaktadır. Bunun için program, probleme ait rota verilerini, başlangıçta belirlenen dosya yapısına göre almaktadır. İşlerden herhangi biri rotasının dışında atanırsa, işlem süresi 1.000.000 gibi çok büyük bir sayı ceza olarak atanmakta,, böylece rota kontrolü sağlanmaktadır. Söz konusu dosya yapısı örneği Ek'te verilmiştir.

Ayrıca yapılan her mutasyon işleminden önce, mutasyona uğrayacak antikorun belirttiği çizelgeye ait rota hafızaya alınmakta, mutasyon gerçekleşikten sonra sadece mutasyon gerçekleşen genlere ait makine atamaları değişmekte, diğerleri ise korunmaktadır.

6. ELE ALINAN PROBLEM VE HESAPLAMA SONUÇLARI

6.1. Uygulama Yapılan Kurum*

Bu çalışma kapsamında ele alınan uygulama Eskişehir’de konuşlu bulunan 1. Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığı’nda (1. HİBM K.lığı) yapılmıştır.

1.HİBM K.lığında Hava Kuvvetleri Komutanlığı envanterindeki jet uçaklarının fabrika seviyesi bakımlarını, jet motorların revizyonunu, bunlara ait aksesuarların onarımları ile parça imalatlarını gerçekleştirilmektedir. F-4, F-5 ve F-16 gaz türbin motorlu muharip uçaklarla, eğitim uçaklarının fabrika seviyesi onarımı, gaz türbinli sınıfına giren tüm turbojet, turboprop ve turbofan motorlarının revizyon ve küçük revizyonu, aviyonik, elektrik, elektro mekanik, hidrolik ve mekanik aksesuarların onarımı ile hassas ölçüm teçhizatının onarımları Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığında yapılmaktadır. Ayrıca çeşitli uçak yapısal ve motor parçalarının imalatı da yine aynı merkezde gerçekleştirilmektedir.

1.HİBM K.lığı, Hava Kuvvetleri Komutanlığının envanterinde bulunan silah sistemlerinde meydana gelebilecek teknik sorunların çözümünde Türkiye sınırları içerisinde müracaat edilebilecek en üst kurum ve odak noktası durumundadır. Kurumda, Teknik Yönetim Sorumluluğu kapsamında çeşitli silah sistemi, teçhizat ve malzemenin idame, işletme ve geliştirilmesine yönelik olarak bakım konsepti, bakım planlaması, uçuş ve kullanım emniyeti, kalite temini, uymazlık çözümü, arıza izalesi, iş standardı, teknik emir ve dokümantasyon ihtiyacı, yeterlilik ve sertifikasyon ihtiyacı ile diğer teknik ihtiyaçların karşılanmasını öngören bir mühendislik hizmeti verilmektedir. Teknik Yönetim Sorumluluğu, silah sistemlerinin güvenilirlik ve bakım uygulamalarından kaynaklanabilecek sorunlarının uçuş emniyeti ve harekât etkinliği üzerinde yaratabileceği olumsuz etkilerin önceden tespit edilmesinde teknik emir komuta düzeninin teminatını ifade etmektedir.

* Bu bölümde yer verilen ve 1.Hava İkmal Bakım Merkezi hakkındaki bilgiler http://www.harbis.org.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=166:bindoan-1-hava-kmal-bakm-gururumuz&catid=15:duyurular internet sitesinde yer alan 20 Mart 2009 tarihli İki Eylül Gazetesi’nde yayımlanan bilgilerden alınmıştır.

1.HİBM K.lığında 175 bin çeşitli evsaftaki malzemenin depolama ve dağıtım faaliyetlerinin gerçekleştirilmektedir. 6 bin 129 ünitenin onarımının gerçekleştirildiği merkezde, her yıl ortalama 75 uçağa fabrika seviyesi işlem, 300 motorun revizyonu, 200 bin parça imalatı, 80 bin ünitenin onarımı, 9 bin 500 hassas ölçü aletinin kalibrasyonu yapılmaktadır.

Toplam 2 bin 500 kişinin çalıştığı 1. Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığının, gerçekleştirdiği fabrika seviyesi uçak bakım, tadilat ile modernizasyon faaliyetleri, envanterdeki motorların revizyonları, parça imalatı, ünite onarımları ve özgün mühendislik çalışmaları ülke ekonomisine her yıl ortalama 250 milyon dolarlık katkı sağlanmaktadır.

1. Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığında uçak ve motor fabrika seviyesi bakım, onarım ile teknik destek faaliyetlerinin yanı sıra silah sistemlerine yönelik araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetleri kapsamında (elektronik) ve silah sistem entegrasyonu, F-4E/2020, F-5/2000 ve F-16 uçaklarının hareket uçuş yazılımı geliştirme ve testi, kablo donanım tasarımı ile yapısal parça tasarım ve analizi yapılmaktadır. F-4E/2020 modernizasyonu, T-37 ve T-38 uçaklarının yapısal yenilemesi, F-5/2000 modernizasyonu, F-4 ve F-5 uçaklarına milli uçuş hareket yazılımlarının gerçekleştirilmesi ile F-16 ve F-4E/2020 uçaklarının gece görüş gözlüğüne uyumlu hale getirilmesi gibi projeler de yürütülmektedir.

6.2. Karşılaşılan Problem

Bu çalışmadaki gerçek hayat problemi 1. HİBM K.lığında, uçakların çeşitli parçalarının ve ünitelerinin üretildiği imalat atölyelerinden alınmıştır. İmalat atölyelerinde binlerce parçanın üretimi onlarca tezgâhtan ve işlemden geçerek yapılmaktadır. Burada her bir işlem için birden fazla makine alternatifinin bulunması, üretim atölyelerinin kendi işlerinin yanında diğer birimlerden gelen işleri de yapması ve bunlardan dolayı işlerin yeterince önceliklendirilememesi, çizelgelemenin ve dolayısıyla planlamanın yeterince sağlıklı yapılamamasıdır. Bu planlama sorunları da

işlerin geç teslim edilmesi, yetiştirilememesi ve planlamada bir sistemden çok, sistemin içinde yer alan kişilerin kişisel tecrübeleri ile işlerin önceliklendirilmesi gibi problemlere neden olabilmektedir.

Kurumda işlerin planlanması 3 aylık dönemler halinde gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla tüm işlerin teslim zamanı belirlenen 3 aylık periyottur. Çalışmanın yapıldığı imalat atölyeleri, 20 farklı atölyeden meydana gelmekte, her bir atölyede farklı işlemler yapılmakta ve dolayısıyla atölye tipi üretim gerçekleştirilmektedir. Her atölye diğerinin müşterisi konumundadır. Çalışma kapsamının çok büyük olması nedeniyle, işlerin yapılmasında darboğazı oluşturan 3 bölüm; torna, freze ve kesme ve şekillendirme atölyelerindeki işler ele alınarak, nasıl planlama ve çizelgeleme yapılabileceğine dair yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır.

Yapılan incelemede her iş için birden fazla makine alternatifinin bulunduğu, işlerin farklı işlemlerden oluştuğu tespit edilmiş ve dolayısıyla problemin esnek atölye tipi çizelgeleme problemi olduğu ortaya çıkmıştır. Literatürde test problemi olarak genellikle tekrar işlemenin (geri dönüşün) söz konusu olmadığı problemler tanımlandığı görülmüştür. Oysa incelenen problemde literatürden farklı olarak tekrar işleme (geri dönüş) de söz konusudur. Yani işler daha önce işlendiği makinelere daha sonra tekrar uğrayabilmektedir. Bu durum problemin karmaşıklığını daha da artırmaktadır. Problemde tüm işlerin 3 ayda yetiştirilmesi söz konusu olduğu için amaç fonksiyonu olarak tüm işlerin tamamlanma zamanı yani Enk (Cenb) olarak alınmıştır. Çalışma yapılan 3 atölye bir tek atölye gibi düşünülerek makineler arasındaki işlem sırası göz önünde bulundurulmuştur.

Problemdeki varsayımlar ve başlangıç koşulları şunlardır:

- $J = \{J_i\}_{1 \leq i \leq n}$ olacak şekilde çizelgelenecek n adet iş vardır.
- Her J_i işi önceden belirlenmiş sıradaki işlemlerden oluşmaktadır. $O_{i,j}$, J_i işinin j . operasyonunu belirtmektedir.
- Atölyedeki işlemleri yapmak için $m = \{M_k\}_{1 \leq k \leq m}$ olacak şekilde m adet makine mevcuttur.

- Her makine aynı anda ancak bir işlem yapabilir.
- Her $O_{i,j}$ işlemi, bu işlemin yapılabileceği makine kümesindeki makinelerden herhangi birinde, kesintiye uğramadan tamamlanmaktadır. $P_{i,j,k}$ $O_{i,j}$ işleminin k makinesindeki işlem süresini belirtmektedir.
- Problemin amaç fonksiyonu bütün operasyonların tamamlanması için gereken enküçük süreyi (makespan) bulmaktır.
- Bütün makineler $t=0$ anında hazır durumdadır.
- Bütün işler $t=0$ anında işlemeye hazır durumdadır.
- Her işin işlem sırası önceden tanımlıdır ve sonradan değişmez.
- Her işlemin yapılabileceği makine kümesindeki makineler, birbiri ile özdeştir; yani işlemin her makinedeki işlem süresi aynıdır.
- Bir iş daha önce işlem gördüğü makineye daha sonra tekrar uğrayabilmektedir yani tekrar işleme (geri dönüş) söz konusudur.
- Atölyelerde içinde paralel özdeş makineler bulunduran 14 adet iş merkezi mevcuttur ve toplamda $m=70$ adet makine yer almaktadır.
- $n=124$ iş bulunmakta ve bu işlerin içeriğinde toplam $n_j= 256$ adet operasyon yer almaktadır.

Ele alınan problemin $\alpha/\beta/\gamma$ gösterimi: **FJ14/recrc/Cenb** şeklindedir.

Uygulama probleminin yapıldığı atölye, makine ve iş ortamına ait ayrıntılı bilgi EK-2'de verilmiştir.

6.3. Çözüm ve Sonuçlar

Geliştirilen YBS algoritması MATLAB 7.5 programlama dilinde kodlanmış ve bu program Intel Celeron 1.6 Ghz Dual İşlemcili ve 1 Gb RAM'e sahip bir bilgisayarda çalıştırılmıştır.

Geliştirilen YBS algoritması literatürde BRdata adıyla anılan Brandimarte (1993)'ye ait **MK1-MK10** problem kümesi ile test edilmiş ve algoritmanın etkinliği sınanmıştır. Söz konusu problemler <http://www.idsia.ch/~monaldo/fjsp.html#ProblemInstances> internet sitesinden elde edilmiştir.

6.3.1. Parametrelerin belirlenmesi

Algoritma öncelikle verimi etkileyen en önemli iki parametre olan klonlama oranı ve mutasyon oranı parametrelerinin çeşitli değerleri ile test edilmiş ve eniyi başarıyı sağlayan (klonlama oranı, mutasyon oranı) ikilisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Burada test problemi olarak Brandimarte (1993)'e ait olan “**MK01**” adlı problem kullanılmıştır. Bu parametrelerin belirlenebilmesi için klonlama oranı **(0,1-0,9)** ve mutasyon oranı parametreleri **(0,1-0,9)** aralığında olmak üzere **toplam 81** adet (klonlama oranı, mutasyon oranı) ikilisinin her biri için program **5** defa koşturulmuş ve elde edilen Cenb ve ortalama CPU zamanları kaydedilmiştir. Söz konusu bilgiler Çizelge 6.1.'de sunulmuştur. Çizelgede de görüldüğü gibi Cenb ve ortalama çalışma zamanı açısından eniyi başarıyı veren parametreler klonlama oranı için **(0,4-0,6)** aralığında, mutasyon oranı için **(0,7-0,9)** aralığında yer almaktadır. Söz konusu parametrelerin belirlenmesinde popülasyon büyüklüğü parametresi **20**, hafıza hücresi parametresi **2** ve nesil sayısı parametresi de **1000** olarak alınmıştır.

Çizelge 6.1. Programın 5 kez koşturulması sonucu elde edilen ortalama değerler

KLONLAMA ORANI MUTASYON ORANI TEST TABLOSU			MUTASYON ORANI																	
			DÜŞÜK						ORTA						YÜKSEK					
			0,1		0,2		0,3		0,4		0,5		0,6		0,7		0,8		0,9	
			Cmaks	Süre	Cmaks	Süre	Cmaks	Süre	Cmaks	Süre	Cmaks	Süre	Cmaks	Süre	Cmaks	Süre	Cmaks	Süre	Cmaks	Süre
KLON ORANI	DÜŞÜK	0,1	41,80	70,80	41,20	70,29	42,20	71,32	40,40	70,10	41,00	70,18	41,20	70,36	42,00	70,55	42,00	72,63	40,20	71,34
		0,2	40,80	62,04	41,80	62,41	40,80	63,29	41,40	64,54	41,20	65,48	41,00	66,45	41,20	68,62	39,60	68,12	40,60	69,35
		0,3	41,60	50,99	41,60	51,98	41,20	54,21	40,80	56,33	40,20	57,51	39,80	59,87	40,40	62,50	40,00	64,38	40,40	66,27
	ORTA	0,4	40,60	50,02	41,40	50,29	41,00	53,16	40,00	54,66	41,80	56,85	39,00	58,50	40,60	60,90	41,00	61,51	37,60	64,18
		0,5	41,20	40,46	40,20	43,34	38,80	45,65	42,00	48,16	39,40	50,95	40,80	53,59	41,20	56,26	38,40	58,97	41,20	61,62
		0,6	40,40	30,51	40,40	34,24	40,40	37,44	40,40	41,34	40,40	44,98	39,60	48,55	39,80	51,96	38,40	55,19	40,20	59,54
	YÜKSEK	0,7	39,40	23,86	39,60	28,18	40,80	32,33	41,40	36,60	40,20	40,48	40,20	44,64	40,40	48,90	38,60	53,31	40,40	57,47
		0,8	42,40	20,78	40,00	25,23	41,00	29,88	40,80	34,46	40,40	39,06	38,60	43,68	41,20	47,87	40,40	52,04	38,00	58,83
		0,9	41,60	14,86	41,00	20,28	42,40	25,48	39,20	31,33	39,40	36,32	41,20	41,07	41,20	46,22	40,20	51,55	40,20	60,04

Çizelge 6.2. Elde Edilen Test Sonuçlarının Gruplara (Düşük-Orta-Yüksek) Göre Ortalama Değerleri

		MUTASYON ORANI					
		DÜŞÜK		ORTA		YÜKSEK	
KLON ORANI	DÜŞÜK	Cmaks(ort.): 41,44 Ort. Süre : 61,93		Cmaks(ort.): 40,78 Ort. Süre : 64,54		Cmaks(ort.): 40,71 Ort. Süre : 68,20	
	ORTA	Cmaks(ort.): 40,49 Ort. Süre : 42,79		Cmaks(ort.): 40,38 Ort. Süre : 50,84		Cmaks(ort.): 39,82 Ort. Süre : 58,90	
	YÜKSEK	Cmaks(ort.): 40,91 Ort. Süre : 24,54		Cmaks(ort.): 40,16 Ort. Süre : 38,63		Cmaks(ort.): 40,07 Ort. Süre : 52,91	

6.3.2. Test problemlerinin çözümüyle elde edilen sonuçlar

Algoritma, Brandimarte (1993)'ye ait 10 adet **MK01-MK10** problemi için, daha önce elde edilen $(KO,MO)=(0.4,0.9)$ eniyi parametreleriyle test edilmiştir. Bunun için her bir problemde, algoritma 5 defa koşturulmuş, elde edilen eniyi Cenb değeri, 5

koşum sonucu elde edilen ortalama Cenb değeri ve ortalama hesap zamanı (CPU Time) belirlenmiştir. Hesaplama sonuçları literatürde yer alan diğer çalışmalarda elde edilen Cenb değerlerinin yanısıra ilgili problem için ulaşılmış eniyi Alt Sınır (AS) değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Çizelge 6.3.'de sunulmuştur. Test sonuçlarına ait ayrıntılı tablolar ise Ek'de yer almaktadır.

Çizelge'de de görüldüğü gibi geliştirilen algoritma literatürdeki diğer algoritmalarla karşılaştırıldığında oldukça iyi sonuçlar vermiştir.

Çizelge 6.3. Brandimarte (1993)'ye ait BRdata test problemlerinde elde edilen eniyi değerler.

AD	n	M	AS	Geliştirilen YBS	YBS_Bagheri	YBS_ClonaFLEX	GA_Pezzella	GA_Chen	GENACE	GA_Jia
Mk01	10	6	36	36	40	39	40	40	41	40
Mk02	10	6	24	28	26	27	26	29	29	28
Mk03	15	8	204	204	204		204	204	204	204
Mk04	15	8	48	60	60	65	60	63	67	61
Mk05	15	4	168	176	173	173	173	181	176	176
Mk06	10	15	33	66	63	70	63	60	68	62
Mk07	20	5	133	148	140	145	139	148	148	145
Mk08	20	10	523	523	523	523	523	523	523	523
Mk09	20	10	299	300	312	311	311	308	328	310
Mk10	20	15	165	215	214		212	212	231	216

Çizelge 6.3'deki birinci sütun test probleminin literatürde kullanılan ismi, n problemdeki iş sayısını, M makine sayısını, AS probleme ait bilinen alt sınırdaki değerlerini göstermektedir. 5. sütun bu çalışmada geliştirilen yöntem ile 5 tekrar sonucunda elde edilen eniyi değerleri göstermektedir. 6. sütunda Bagheri et al. (2009),

7. sütunda Ong et al. (2005)'in, 8. sütunda Pezzella et al. (2008)'nın, 9. sütunda Chen et al.(1999)'in, 10. sütunda Ho and Tay (2004)'in, ve 11.sütunda da Jia et al. (2003)'nın geliştirdikleri algoritmalar ile bulunmuş en iyi Cenb değerleri görülmektedir.

Çizelgeden 10 test probleminin 5 tanesinde önerilen yaklaşımın diğer algoritmalarından daha iyi veya en azından onlarla aynı değeri bulduğu görülmektedir. Özellikle MK01 ve MK09 numaralı test problemlerinde bugüne kadar yapılmış diğer bütün çalışmalardan daha iyi sonuçlar edilmiştir. Sadece bu sonuç bile önerilen yaklaşımın başarısını göstermeye yeterlidir. Diğer 5 problemde de önerilen yaklaşımla elde edilen sonuçlar diğer çalışmalarda elde edilen sonuçlarla benzerdir ve hiçbirinde en kötü sonuç değildir.

MK07 probleminde özel olarak algoritma için bir güç denemesi yapılmış ve belirlenen parametreler aynen kullanılarak ama nesil sayısı 30000 gibi yüksek bir değer seçilerek algoritma 1 saat civarında çalıştırılmıştır. Bunun sonucunda daha önce elde edilmiş olan 148 değeri yerine 144 değerine sahip yeni bir çözüm bulunabilmiştir. Benzer bir deneme MK02 için yapılmış ve orada da 28 olan son işin tamamlanma zamanı 26 olarak elde edilmiştir. 26 değeri zaten MK02 için şu ana kadar elde edilmiş eniyi sonuçtur. Benzer şekilde 144 değeri de MK07 için şu ana kadar elde edilebilmiş eniyi 3. sonuçtur.

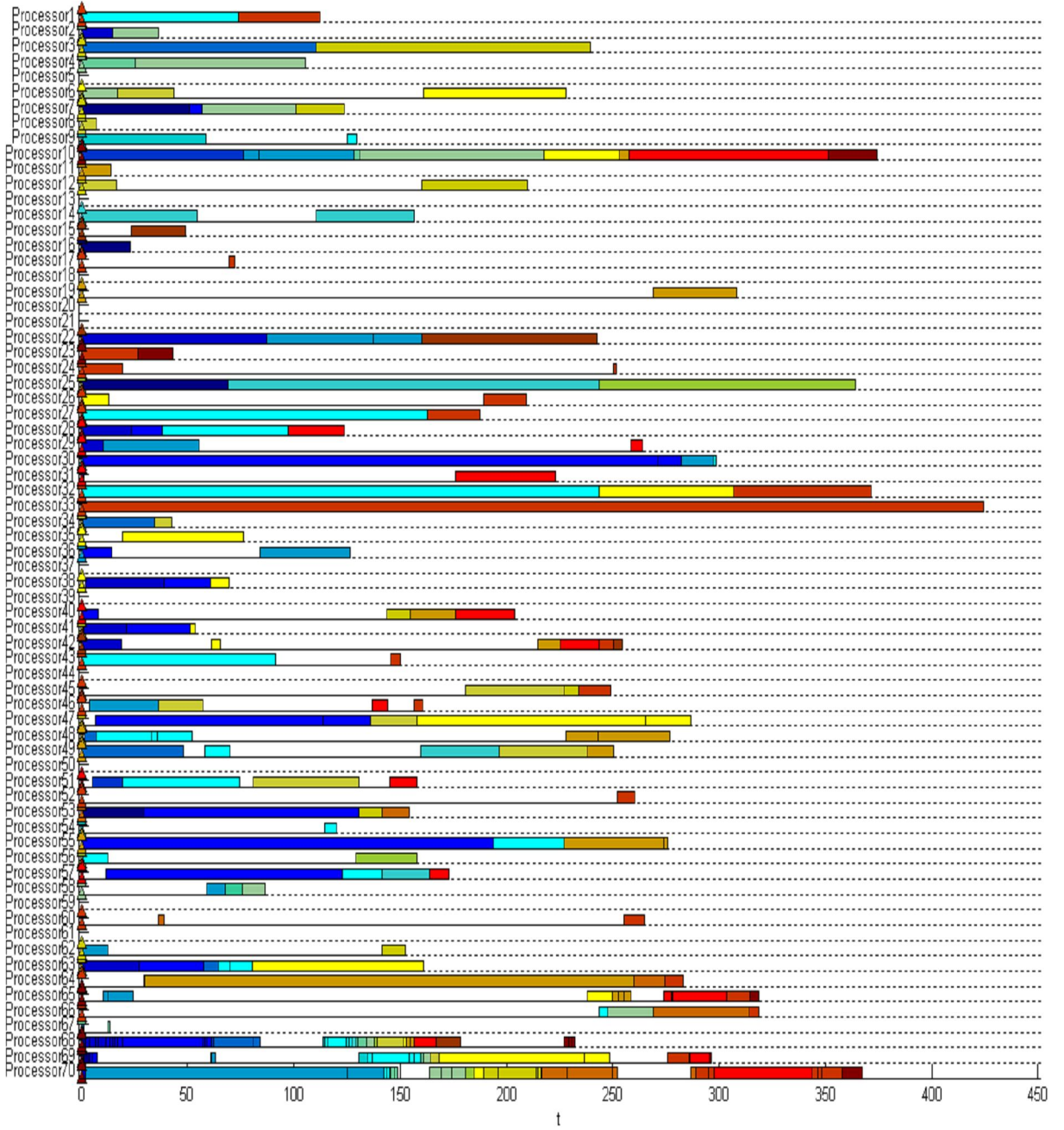
Bagheri ve ClonaFlex algoritmaları da birer yapay bağışıklık algoritmasıdır. Ancak onlar bütünleşik çözüm yöntemi kullanırken önerilen algoritmada hiyerarşik çözüm yaklaşımı kullanılmıştır. Bu da hiyerarşik yaklaşımın bu tür problemlerde daha başarılı sonuç verebildiğine işaret etmektedir.

Çözüm süreleri açısından elde edilen sonuçların kıyaslanması çok anlamlı değildir. Çünkü önerilen algoritma MatLab ortamında kodlandığı için çözüm sürelerinin C+ dili kullanılarak yapılacak bir kodlamaya göre daha uzun olacağı açıktır. Ayrıca kullanılan donanımın da çözüm süresinde etkisi büyüktür. Buna rağmen test problemleri için elde edilen çözüm sürelerinin 60 saniye ile 1600 saniye arasında değiştiği gözlenmiştir. Yani yaklaşık olarak 15 dakika içinde çözüm bulunabilmektedir. Bu değer de böyle zorlu bir problem için çok makul olduğu açıktır. Ayrıca algoritma

iyi bir çözüme çok kısa sürede yakınsayabilmektedir. Bu nedenle daha kısa sürede daha az iyi olan bir çözüm elde etmek de mümkündür. Özellikle C+ gibi bir dil ile yapılacak kodlama sonucunda sürelerin daha da düşeceği açıktır.

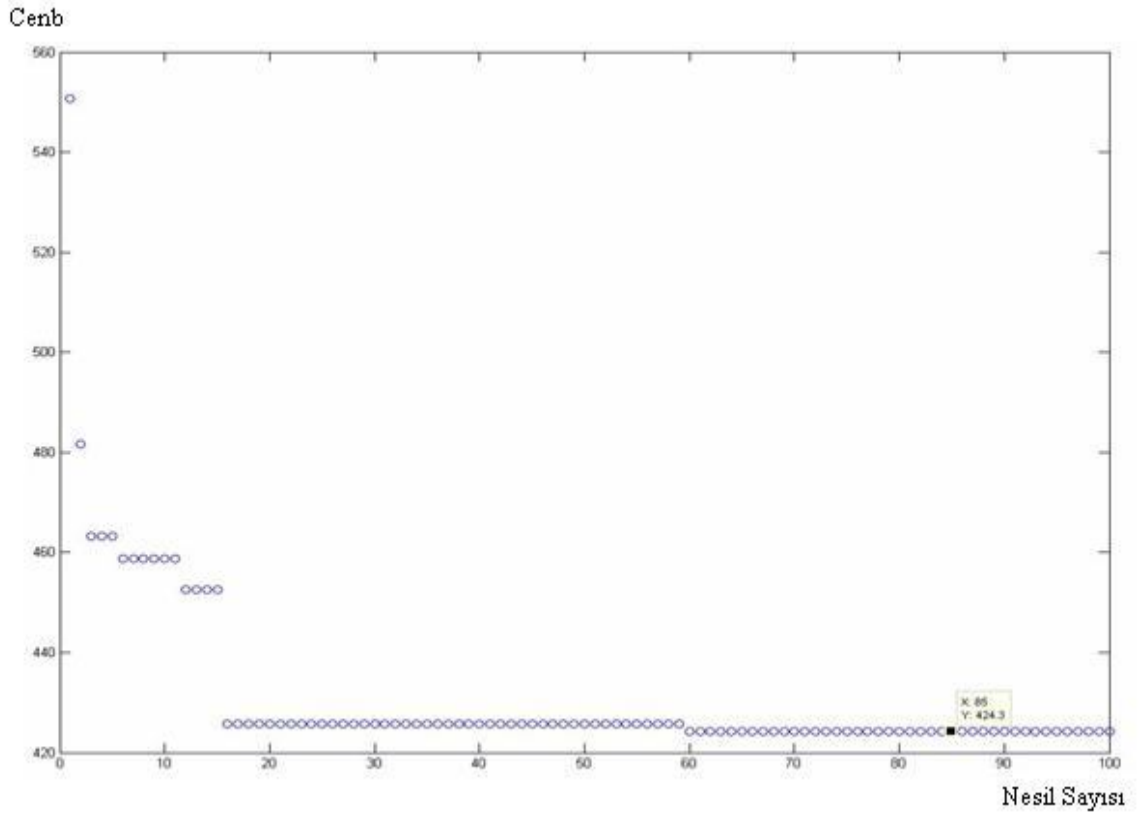
6.3.3. Gerçek hayat probleminin çözümüyle elde edilen sonuçlar

Geliştirilen yaklaşım, daha önce belirlenen parametrelerle gerçek hayat problemi için de çalıştırılmış ve bu probleme özel olarak eniyi sonuç elde edilmiştir. Ele alınan gerçek hayat probleminde 124 iş, 256 işlem ve 70 makine vardır ve çözümde Cenb değeri, en uzun süreli operasyonun süresi olan 424,3 saat olarak belirlenmiştir ve çözüm 15 saniyede bulunmuştur. Bilindiği gibi yapay bağışıklık sistemi çözüm yaklaşımı, problemin eniyi çözümünü garanti etmeyen sezgisel bir yöntemdir. Ancak teorik olarak Cenb değeri en uzun süreli işten daha küçük olan bir çözüm bulmak zaten mümkün değildir. Elde edilen çözümde de bütün işler en uzun süreli işin süresi içinde çizelgelenebildiği için elde edilen çözümün eniyi çözüm olduğu rahatlıkla söylenebilir. Ancak karşılaşılan bu durum özel bir haldir ve buna dayanarak her zaman eniyi çözümün bulunabileceği söylenemez. Öte yandan önerilen yaklaşımın gürbüz çözümler ürettiği test problemlerinde elde edilen iyi sonuçlarla da gösterilmiştir. Gerçek hayat probleminde ait elde edilen iş çizelgesi (Gantt şeması) Şekil 6.1.'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Uygulama Probleminin Çözümüne Ait Gantt Şeması

Geliştirilen algoritmada Cenb değerinin nesil sayısına bağlı olarak nasıl değiştiği de incelenmiştir. Gerçek hayat problemi için değişimin nasıl olduğu Şekil 6.2’de verilmiştir. Görüleceği gibi yaklaşık olarak 18. nesilde Cenb değeri eniyi değerine çok yaklaşmış, 60. nesilde ise eniyi değer elde edilmiştir.



Şekil 6.2. Uygulama Problemine Ait Nesil Sayısı-Cenb Grafiği.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada literatürdeki en zor problemlerden biri olarak bilinen tekrar işlemeli (geri dönüşlü) esnek atölye tipi çizelgeleme problemi ele alınmış ve bunu etkin olarak çözebilmek için yapay bağışıklık sistemine dayanan bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma parametrik olarak Matlab ortamında kodlanmış ve böylece esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerini yapay bağışıklık sistemi ile çözebilecek bir yazılım elde edilmiştir. Bunların yanı sıra önerilen yaklaşım literatürde BRdata olarak bilinen test problemleri üzerinde denenmiş ve başarılı sonuçlar elde edildiği de gösterilmiştir. 10 test probleminin 2 tanesinde şimdiye kadar elde edilmemiş sonuçlar elde edilmiştir. Son olarak 1. HİBM Komutanlığı bünyesinde bulunan atölyelerde yaşanan büyük ölçekli bir gerçek hayat problemi de çözülmüş ve sürekli tekrarlanan bu problem için etkin olarak çizelgelemeyi gerçekleştirecek bir yöntem ve yazılım türetilmiştir.

Gerçek hayat problemi üzerinde yapılan çalışmada başarı ölçütü olarak Cenb seçilmiş ve klonlama oranı ile mutasyon oranının çözümü nasıl etkilediğine dair bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Yöntemin eniyi çözümü garanti etmeyeceği bellidir. Ancak ele alınan problemde uzun süreli bir işlem bulunması ve diğer işlerin de bu süre içinde çizelgelenebilmesi nedeniyle eniyi çözüm bulunduğu söylenebilmektedir. Geliştirilen yöntem parametrik olarak çalıştığı için her çeşit EATÇ probleminin çözümünde uygulanabilecektir.

Önerilen yaklaşım hiyerarşik çözüm yaklaşımını kullanmaktadır. Test problemlerinden elde edilen sonuçlara bakıldığında bütünlük çözüm yaklaşımından daha iyi sonuçlar alınabildiği görülmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda araştırmacıların bu bilgiyi değerlendirmeleri yerinde olur.

Geliştirilen yöntemin amaç fonksiyonu olarak Cenb alması nedeniyle bazı makinelerin kapasite kullanım oranlarının düşük kaldığı gözlenmiştir. Bu nedenle amaç fonksiyonu olarak, Cenb'in yanısıra, makinelerin iş yüklerinin de dengeli dağılmasını sağlayacak kapasite kullanım oranı v.b. kriterlerin de göz önüne alınması, işlerin zamanında yetiştirilmesinin yanısıra, verimliliğin de artırılmasına yardımcı olacaktır.

Sonuç olarak bu çalışmada, YBS yaklaşımının EATÇP'nin çözümünde başarılı bir şekilde uygulanabileceği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Adams, J., Balas E. and Zawack, D.(1988):"The shifting bottleneck procedure for job-shop scheduling". Management Science 34 (1988), pp. 391–401.
- Bagheri, A., Zandieh, M., Mahdevi, I. and Zandieh,M.(2009): "An artificial immune algorithm for the flexible job-shop scheduling problem". Future Generation Computer Systems, Article In Pres, Available online 15 October 2009
- Baker, K.R. (1974) : "Introduction to Sequencing and Scheduling" Wiley, Hoboken, NJ.
- Bitran, R. And Tirupati,D.(1989): Hierarchical Production Planning Working Paper, Cambridge, Mass. : MIT
- Brandimarte, P. (1993):"Routing and scheduling in a flexible job shop by tabu search". Annals of Operations Research, 41, 157-184.
- Brucker, P. (2007):"Scheduling Algorithms." Berlin:Springer, Fifth Edition.
- Brucker,P. and Schlie,R. (1990): "Job-shop scheduling with multi-purpose machines, Computing", v.45 n.4, p.369-375, 1990
- Chen, J., Chen, K., Wu,C. and Chen,W. (2007): "A study of the flexible job shop scheduling problem with parallel machines and reentrant process". International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol 39 N3-4,pp 344-354
- Chen, H., J. Ihlow, J., Lehmann, C.(1999) : "A genetic algorithm for flexible Job-shop scheduling". IEEE International Conference on Robotics and Automation, Detroit, 1999, pp 1120-1125.
- De Castro L., Von Zuben F.(2001): " Learning and Optimization Using the Clonal Selection Principle", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Special Issue on Artificial Immune Systems, vol. 6(3), pp. 239-251, 2001.
- De Castro L., Von Zuben F. (1999): "Artificial Immune System: Part 1 - Basic Theory and Applications", Technical Report, State University of Campinas, Campinas, 1999.
- Engin, O. ve Döyen, A. (2007): "A New Approach to Solve Flow Shop Scheduling Problems by Artificial Immune Systems," *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, **8**, 1, 12- 27 (2007)
- F. Pezzella, G. Morganti, G. Ciaschetti_(2008): "A genetic algorithm for the Flexible Job-shop Scheduling Problem". Computers & OR 35(10), 3202-3212, 2008
- Fattahi P., Mehrabad S., and Jolai F. (2007): "Mathematical Modeling and heuristic approaches to flexible job shop scheduling problems", Journal of Intelligent Manufacturing, 18, 331-342,2007.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam Ediyor)

- Gao J., Sun L., Gen M. (2008) :”A hybrid genetic and variable neighborhood descent algorithm for flexible job shop scheduling problems”. *Computers & Operations Research*, Vol. 35, pp 2892 – 2907.
- Gao, J. (2006):” Scheduling jobs and maintenances in flexible job shop with a hybrid genetic algorithm. *Journal of Intelligent Manufacturing*”, 2006 Vol. 17 N4 pp 493-507
- Gen, M., & Cheng, R. (1997):” *Genetic algorithms & engineering design*”. NewYork: Wiley.
- Gholami M. And Zandieh M. (2009): “Integrating simulation and genetic algorithm to schedule a dynamic flexible job shop”. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.20 N4, pp 481-498
- Herrmann, J. (2007): ” The Legacy of Taylor, Gantt, and Johnson: How to Improve Production Scheduling”. The Institute For Systems Research ISR Technical Report: 2007-26.
- Ho, N.B.and Tay, J.C. (2004): “GENACE: an efficient cultural algorithm for solving the flexible job-shop problem”. *Congress on Evolutionary Computation*, Volume 2, Issue , 19-23 June 2004 Page(s): 1759 – 1766.
- Ho, N.B. and Tay, J. C.,&Lai, E. M. K. (2007):”An effective architecture for learning and evolving flexible job-shop schedules”. *European Journal of Operational Research*, 179, 316–333.
- Jain, A.J. and Meeran, S. (1998):” A State-Of-The-Art Review Of Job-Shop Scheduling Techniques” *European Journal of Operations Research*, No. 113. (1999), pp.390-434.
- Jensen, M.T. (2003): “Generating robust and flexible job shop schedules using genetic algorithms”. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2003, Vol 7.pp 275-288
- Jia, H.Z., Nee, A.Y.C., Fuh, J.Y.H and Zhang, Y.F(2003):”A modified genetic algorithm for distributed scheduling problems”. *International Journal of Intelligent Manufacturing*. v14. pp 351-362.
- Kacem, I., Hammadi, S. and Borne, P. (2002): “Approach by Localization and Multi-objective Evolutionary Optimization for Flexible Job-Shop Scheduling Problems”. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part C*, 2002, Vol 32. N1, pp 1-13.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam Ediyor)

- Kobu, B.(1987): “Üretim Yönetimi”. İstanbul Üniversitesi Yayınları, İkinci Baskı, 1987.
- Meyers, F. E. (1993) : Plant layout and material handling. Englewood Cliffs. Prentice Hall Regents
- Ong, Z.X., Tay, J.C., Kwoh, C.K., “Applying the clonal selection principle to find flexible job shop schedules”, ICARIS 2005, LNCS 3627, 442- 455, Springer-verlag, Berlin.
- Pinedo M. (2002): “Scheduling: Theory, Algorithms and Systems”. Englewood cliffs, NJ: Prentice-Hall; 2002.
- Tamaki, H., Ono, T., Murao, H., and Kitamura, S. (2001):”Modeling and genetic solution of a class of flexible job shop scheduling problems”. Emerging Technologies and Factory Automation, 2001. Proceedings. 2001 8th IEEE International Conference on
- Tay J.C. and Wibowo D.(2004):”An Effective Chromosome Representation for evolving flexible job shop schedules”, GECCO 2004. In: Lecture notes in computer science, vol. 3103. Berlin: Springer; 2004. p. 210–21.
- Xia, W. and Wu, Z. (2005): “An effective hybrid optimization approach for multi-objective flexible job-shop scheduling problems”, Computers and Industrial Engineering, v.48 n.2, p.409-425, March 2005
- Xing L., Chen Y. And Yang, K. (2009): “An efficient search method for multi-objective flexible job shop scheduling problems. Journal of Intelligent Manufacturing” , Vol.20 N3, pp 283-293
- Xing, L.(2009):” Multi-population interactive coevolutionary algorithm for flexible job shop scheduling problems”. Computational Optimization and Applications, April, 2009 only online.
- Yazdani, M., Amiri, M. and Zandieh, M. (2010): “Flexible job-shop scheduling with parallel variable neighborhood search algorithm”. Expert Systems with Applications: An International Journal, v.37 n.1, p.678-687, January, 2010
- Yu, J., Xu-jun, X. ve Fei, Y. (2008): “Study on multi-objective flexible production scheduling based on improved immune algorithm”. , 15th Annual Conference Proceedings., International Conference on Management Science and Engineering, 541-548, 2008.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam Ediyor)

Zhang,G., Yang S.and Gao, L. (2008): "A Genetic Algorithm and Tabu Search for Solving Flexible Job Shop Schedules," *iscid*, vol. 1, pp.369-372, 2008 International Symposium on Computational Intelligence and Design

Zribi, N., Kacem, I. and El Kamel, A. (2004). "Optimization by phases for the flexible job shop scheduling problem". In *The fifth Asian control conference* (Vol. 3, pp. 1889-1895).

EKLER

EK-1: Uygulama probleminin yer aldığı iş ve makine ortamı hakkında genel bilgi.

EK-2: Geliştirilen YBS Algoritmasına ait akış diyagramları.

EK-3: Geliştirilen YBS algoritmasının test problemlerinde uygulanması sonucu elde edilen deney sonuçları.

Ek-1: Ele alınan problemde yer alan işler, işlere ait operasyonlar, bu operasyonların işlem süreleri ve tabii tutuldukları işlem adları.

	İŞLEMLER							
	NO:	1	2	3	4	5	6	7
İŞLER	1	76,3	2,6	9,9				
	2	12,4	0,9					
	3	0,9	18,5	11				
	4	21,1	2,9					
	5	12,7						
	6	1,4						
	7	0,3	18					
	8	16,6						
	9	15,2						
	10	14,4	8,3	2,9				
	11	6,3	46,5	25,6				
	12	86,3						
	13	110,2	46,1					
	14	14	6,9					
	15	38	10,5					
	16	11,8	17,3					
	17	26,7						
	18	0,5	4,5					
	19	2,8	37,3					
	20	424,3						
	21	2,4	4,2					
	22	2,4	7					
	23	2,2	8					
	24	2,3	7,4					
	25	44,9						
	26	1,8	21,1	9,5				
	27	1,9	28,5	9,6				
	28	3,1	42,6	0,6	10,5	2,8		
	29	1,5	22	0,3	4,2	1,4		
	30	2,3	21,5	2,9				
	31	2	57,3	4,7				
	32	1,2	19,8	1,6				
	33	26,3						
	34	6,8	6,7					
	35	25,5	11,6					
	36	30,6	21,8					
	37	25,8	1,5	66,9	15	0,8		
	38	22,9						
	39	7,8						
	40	1,7	4,4					
	41	1,2	41,4	11,6				
	42	0,8	8,7	3,1				
	43	0,9	11,8	5,1				
	44	35,5						
	45	1,4	46,7	3,5				
	46	7,9	21,3	2				
	47	19,5						
	48	73,9						
	49	1,2	22,7	5,2				
	50	14,1						
	51	1,1	55,2	3,8				
	52	3,7	111,2	12,2				
	53	1,8	34					
	54	271,4						
	55	23,4	25,7					
	56	1,2	16,5	4,2				
	57	101,5	3,8					
	58	30,2						
	59	1,1	10,9					
	60	0,7	14,8					
	61	1,1	68,5					
	62	45						

	İŞLEMLER							
	NO:	1	2	3	4	5	6	7
İŞLER	63	14,9						
	64	1,1	8,8	1,4				
	65	0,5	13,1	1,1				
	66	2,3	2,1	8,9				
	67	2,7						
	68	1,1	22,7	1,3				
	69	2,1	33,2	2,3				
	70	57,8	11,6					
	71	1,5	32,5	1,6				
	72	8,8	24,3					
	73	2	36,9	4,1				
	74	6,8	8,6					
	75	107,9	10,9					
	76	64,5						
	77	163	14,7					
	78	121						
	79	129,2						
	80	80,4						
	81	18,9	18,4	49,8	10,4			
	82	59,2						
	83	10,5	3,9					
	84	8,4						
	85	69,1	6					
	86	47,9	45,3					
87	194							
88	49,9							
89	1,5	5,7	2,7	1,5	0,7			
90	243,3	4,2						
91	82,6							
92	5,3	0,7						
93	10,8							
94	38,1							
95	44,5							
96	16,9							
97	50,9	4,7	20,1					
98	63,5							
99	5,6							
100	87,2	21,4	47	18,3				
101	16,7	2,8						
102	29,1	0,5						
103	80,6	12,2	1,5					
104	174,2	21,3	39,5					
105	3,1	106,7	1,3	5,5	1,6	12,6	22,8	
106	91,3							
107	46,1							
108	0,6	33,9	4,2					
109	1,8	10,1						
110	1,8	10,6						
111	1,6	13,9	1,5					
112	12,3							
113	17,5							
114	7,1							
115	22,9	49,8	11,5					
116	28,1							
117	123,2	4,5						
118	10,2	2,1						
119	25							
120	230,1							
121	26,5							
122	54,4	4,8						
123	22,8	3,3	5,6					
124	93,9							

Problemde yer alan işlerin işlem süreleri.

Ek-1'in Devamı

İş	1	2	3	4	5	6	7
1	TORNA-YATAY	MATKAP-DUZ	SEKILLENDIRME-BUZME,SIKMA,SIVAMA				
2	SEKILLENDIRME-BUZME,SIKMA,SIVAMA	OLCME-CEKEREK					
3	OLCME-CEKEREK	FREZE-CNC	SEKILLENDIRME-BUZME,SIKMA,SIVAMA				
4	TORNA-YATAY	SEKILLENDIRME-BUZME,SIKMA,SIVAMA					
5	TORNA-CNC						
6	TORNA-CNC						
7	FREZE-CNC 5 EKSENLI	TESTERE-METAL SERIT					
8	TORNA-CNC						
9	TORNA-CNC						
10	TORNA-CNC	FREZE-BORING	TASLAMA-MIL VE DELIK				
11	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-DIK	MATKAP-DUZ				
12	TORNA-YATAY						
13	TORNA-YATAY	TASLAMA-PUNTASIZ					
14	TORNA-YATAY	FREZE-DIK					
15	TESTERE-DAIRE	KESME-GYOTIN					
16	MATKAP-DUZ	TESTERE-METAL SERIT					
17	TORNA-CNC						
18	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-DIK					
19	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-CNC					
20	TORNA-CNC						
21	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-DIK					
22	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-DIK					
23	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-CNC					
24	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-CNC					
25	TORNA-YATAY						
26	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	TESTERE-METAL SERIT				
27	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	TESTERE-METAL SERIT				
28	TESTERE-DAIRE	FREZE-BORING	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-DIK	TESTERE-METAL SERIT		
29	TESTERE-DAIRE	FREZE-BORING	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-DIK	TESTERE-METAL SERIT		
30	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	TESTERE-METAL SERIT				
31	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC 5 EKSENLI	MATKAP-DUZ				
32	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-DIK	TESTERE-METAL SERIT				
33	TORNA-YATAY						
34	KESME-GYOTIN	TESTERE-METAL SERIT					
35	KESME-GYOTIN	TESTERE-METAL SERIT					
36	KESME-GYOTIN	TESTERE-METAL SERIT					
37	FREZE-CNC	TESTERE-METAL SERIT	TORNA-YATAY	FREZE-CNC	TESTERE-METAL SERIT		
38	TASLAMA-MIL VE DELIK						
39	TORNA-CNC						
40	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC					
41	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	MATKAP-DUZ				
42	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	TESTERE-METAL SERIT				
43	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	TESTERE-METAL SERIT				
44	TORNA-YATAY						
45	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-CNC	MATKAP-DUZ				
46	FREZE-DIK	FREZE-CNC	TESTERE-METAL SERIT				
47	TORNA-CNC						
48	TORNA-YATAY						
49	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	TESTERE-METAL SERIT				
50	FREZE-BORING						
51	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	TESTERE-DAIRE				
52	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	TESTERE-DAIRE				
53	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC					
54	TORNA-CNC						
55	TORNA-CNC	TASLAMA-MIL VE DELIK					
56	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	TESTERE-DAIRE				
57	FREZE-CNC	TESTERE-METAL SERIT					
58	FREZE-DIK						
59	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-DIK					
60	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-DIK					
61	TORNA-CNC	TESTERE-METAL SERIT					
62	TORNA-CNC						

Ek-1'in Devamı

İŞ	1	2	3	4	5	6	7
63	TORNA-YATAY						
64	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	TESTERE-DAIRE				
65	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	TESTERE-DAIRE				
66	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-DIK	TESTERE-METAL SERIT				
67	FREZE-CNC						
68	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	TESTERE-DAIRE				
69	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	TESTERE-DAIRE				
70	TORNA-YATAY	TESTERE-DAIRE					
71	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	TESTERE-DAIRE				
72	TESTERE-DAIRE	TORNA-CNC					
73	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-BORING	TESTERE-METAL SERIT				
74	TORNA-YATAY	MATKAP-DUZ					
75	FREZE-CNC	MATKAP-DUZ					
76	TORNA-CNC						
77	TORNA-CNC	MATKAP-DUZ					
78	TORNA-CNC						
79	TORNA-YATAY						
80	TORNA-YATAY						
81	FREZE-DIK	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	TESTERE-DAIRE			
82	TORNA-CNC						
83	FREZE-CNC	MATKAP-DUZ					
84	FREZE-CNC						
85	TORNA-CNC	TESTERE-METAL SERIT					
86	FREZE-CNC	MATKAP-DUZ					
87	FREZE-CNC						
88	TORNA-CNC						
89	KESME-GİYOTİN	FREZE-CNC	TORNA-YATAY	TESTERE-DAIRE	MATKAP-DUZ		
90	TORNA-CNC	MATKAP-DUZ					
91	TORNA-CNC						
92	KESME-GİYOTİN	TESTERE-METAL SERIT					
93	TORNA-CNC						
94	TORNA-YATAY						
95	TORNA-YATAY						
96	TORNA-YATAY						
97	TORNA-YATAY	TESTERE-METAL SERIT	TORNA-CNC				
98	TORNA-CNC						
99	TORNA-YATAY						
100	TORNA-CNC	FREZE-DIK	TORNA-CNC	FREZE-DIK			
101	TORNA-YATAY	MATKAP-DUZ					
102	FREZE-CNC	MATKAP-DUZ					
103	KESME-GİYOTİN	FREZE-CNC	TORNA-CNC				
104	TORNA-CNC	MATKAP-DUZ	TAŞLAMA-SATIŞ				
105	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	TESTERE-DAIRE	FREZE-CNC	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-CNC	TORNA-YATAY
106	FREZE-DIK	TESTERE-METAL SERIT	TORNA-YATAY				
107	TORNA-CNC						
108	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-CNC	TESTERE-METAL SERIT				
109	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-CNC					
110	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-CNC					
111	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-CNC	TESTERE-METAL SERIT				
112	TORNA-YATAY						
113	TORNA-CNC						
114	TORNA-YATAY						
115	TESTERE-METAL SERIT	FREZE-DIK	TESTERE-METAL SERIT				
116	TORNA-YATAY						
117	TORNA-CNC	MATKAP-DUZ					
118	TORNA-YATAY	MATKAP-DUZ					
119	TORNA-CNC						
120	TORNA-YATAY						
121	TORNA-YATAY						
122	TORNA-YATAY	MATKAP-DUZ					
123	TORNA-CNC	TORNA-YATAY	MATKAP-DUZ				
124	TORNA-CNC						

Problemde yer alan işlerin geçtikleri operasyon ve işlem sıraları.

Ek-1'in Devamı

Tezgah No	Tezgah Adı	Sayısı	Numara Aralığı
1	TORNA-YATAY	14	1-14
2	TASLAMA-MIL VE DELİK	4	15-18
3	TASLAMA-SATIİ	3	19-21
4	TORNA-CNC	13	22-34
5	FREZE-CNC 5 EKSENLI	1	35
6	FREZE-BORING	3	36-38
7	FREZE-DIK	7	39-45
8	FREZE-CNC	13	46-58
9	SEKILLENDİRME-BUZME,SIKMA,SIVAMA	4	59-62
10	KESME-GİYOTIN	1	63
11	MATKAP-DUZ	3	64-66
12	TESTERE-DAIRE	1	67
13	OLCME-CEKEREK	1	68
14	TESTERE-METAL SERIT	2	69-70

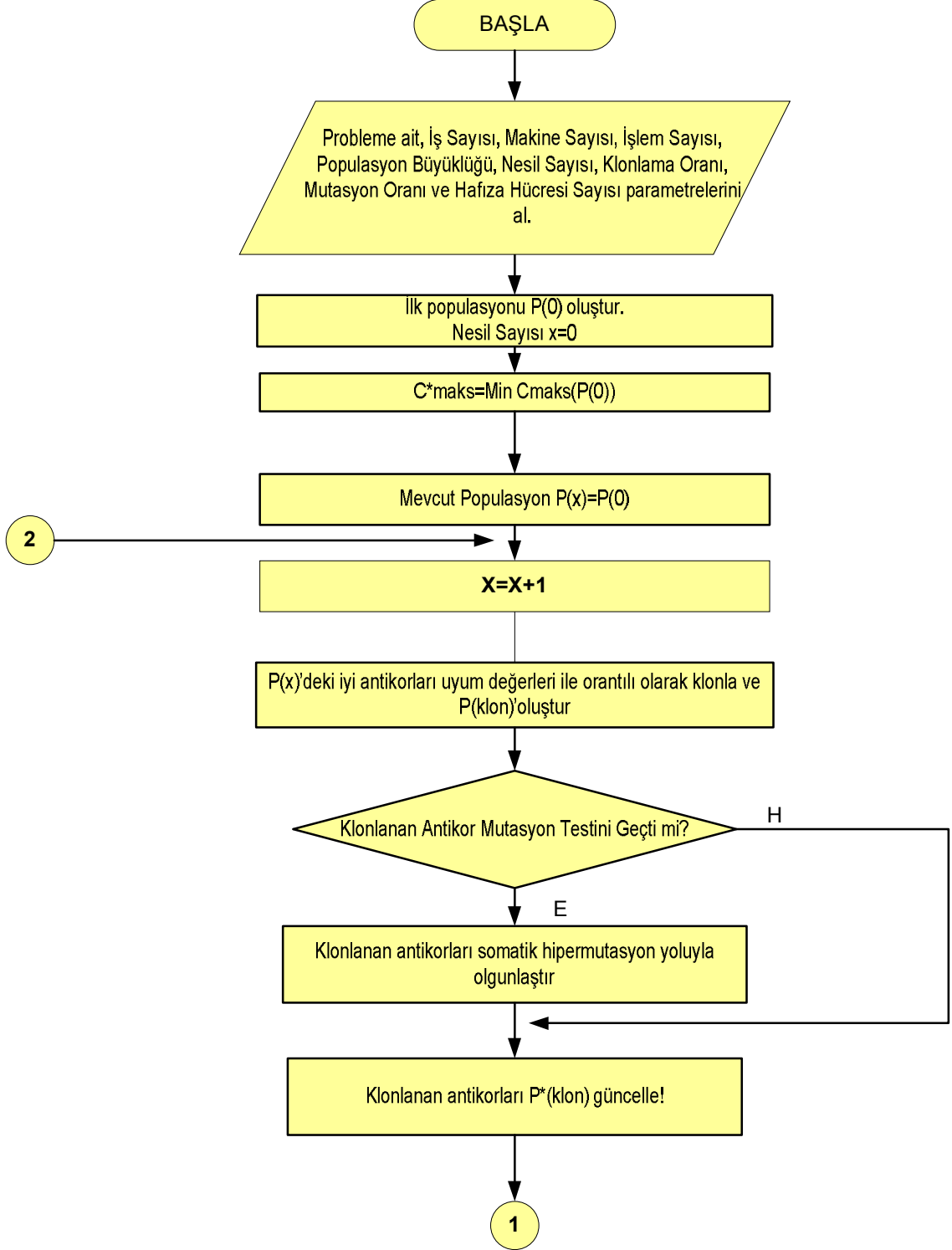
Atölyelerde yer alan tezgah isimleri, sayıları ve problemin çözümünde verilen makine numarası aralığı.

Ek-1'in Devamı

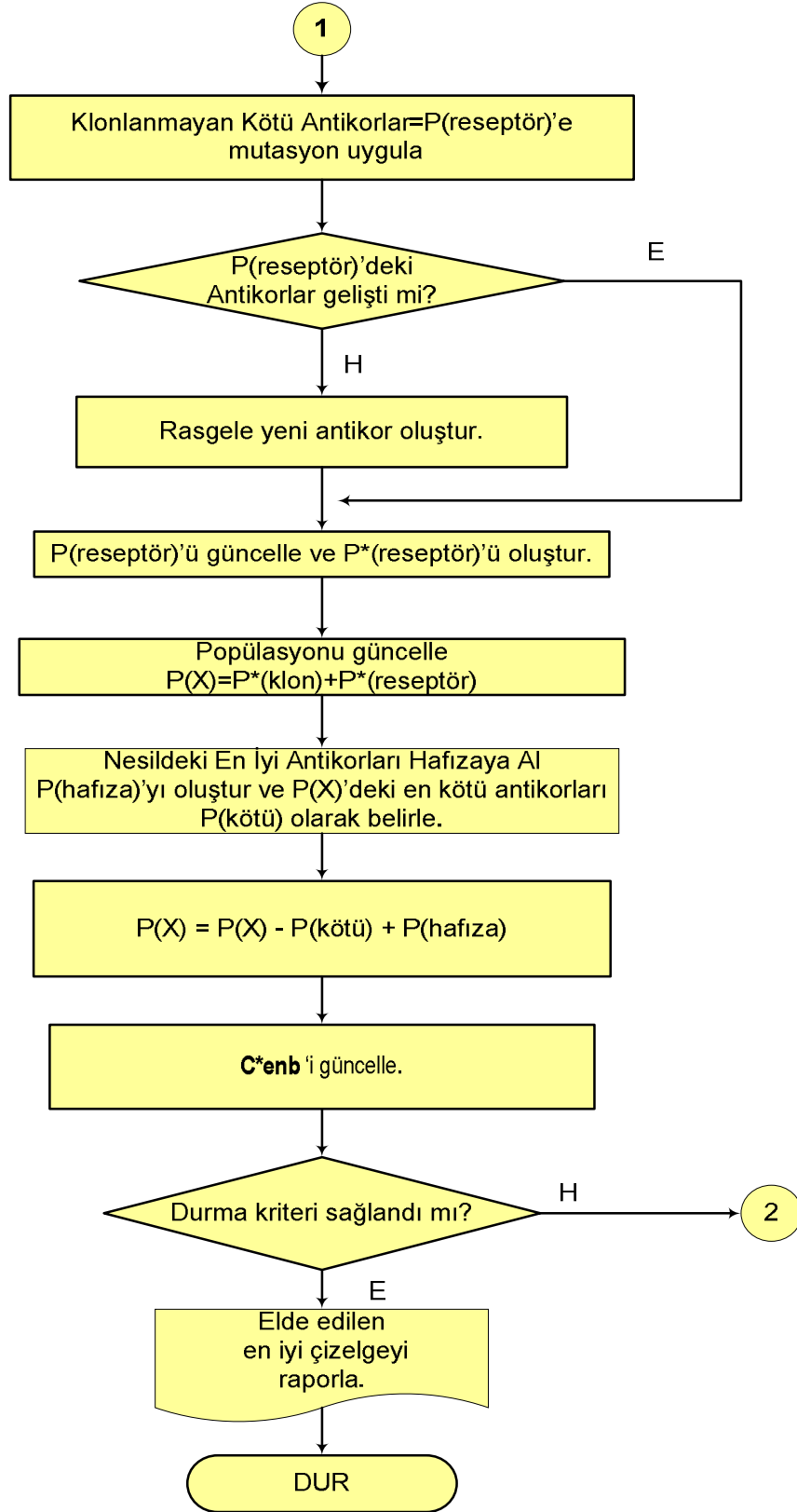
İŞ	İŞLEM	M1	M2	M3	M4	M5	M6
1	1	5	1.000.000	4	1.000.000	1.000.000	1.000.000
1	2	1.000.000	1	5	1.000.000	3	1.000.000
1	3	1.000.000	1.000.000	4	1.000.000	1.000.000	2
1	4	1	6	1.000.000	1.000.000	1.000.000	5
1	5	1.000.000	1.000.000	1	1.000.000	1.000.000	1.000.000
1	6	1.000.000	1.000.000	6	3	1.000.000	6
2	7	1.000.000	6	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
2	8	1.000.000	1.000.000	1	1.000.000	1.000.000	1.000.000
2	9	2	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
2	10	1.000.000	6	1.000.000	6	1.000.000	1.000.000
2	11	1	6	1.000.000	1.000.000	1.000.000	5
3	12	1.000.000	6	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
3	13	1.000.000	1.000.000	4	1.000.000	1.000.000	2
3	14	1	6	1.000.000	1.000.000	1.000.000	5
3	15	1.000.000	6	4	1.000.000	1.000.000	6
3	16	1	1.000.000	1.000.000	1.000.000	5	1.000.000
4	17	1	6	1.000.000	1.000.000	1.000.000	5
4	18	1.000.000	6	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
4	19	1.000.000	1.000.000	1	1.000.000	1.000.000	1.000.000
4	20	1.000.000	1	5	1.000.000	3	1.000.000
4	21	1.000.000	1.000.000	4	1.000.000	1.000.000	2
5	22	1.000.000	1	5	1.000.000	3	1.000.000
5	23	1	6	1.000.000	1.000.000	1.000.000	5
5	24	1.000.000	6	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
5	25	5	1.000.000	4	1.000.000	1.000.000	1.000.000
5	26	1.000.000	6	1.000.000	6	1.000.000	1.000.000
5	27	1.000.000	6	4	1.000.000	1.000.000	6
6	28	1.000.000	1.000.000	4	1.000.000	1.000.000	2
6	29	2	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
6	30	1.000.000	6	4	1.000.000	1.000.000	6
6	31	1.000.000	6	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
6	32	1	6	1.000.000	1.000.000	1.000.000	5
6	33	3	1.000.000	1.000.000	2	1.000.000	1.000.000
7	34	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1
7	35	3	1.000.000	1.000.000	2	1.000.000	1.000.000
7	36	1.000.000	6	4	1.000.000	1.000.000	6
7	37	6	6	1.000.000	1.000.000	1	1.000.000
7	38	1.000.000	1.000.000	1	1.000.000	1.000.000	1.000.000
8	39	1.000.000	1.000.000	4	1.000.000	1.000.000	2
8	40	1.000.000	6	4	1.000.000	1.000.000	6
8	41	1	6	1.000.000	1.000.000	1.000.000	5
8	42	1.000.000	6	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
8	43	1.000.000	6	1.000.000	6	1.000.000	1.000.000
9	44	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1
9	45	1	1.000.000	1.000.000	1.000.000	5	1.000.000
9	46	1.000.000	1.000.000	6	3	1.000.000	6
9	47	2	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
9	48	1.000.000	6	4	1.000.000	1.000.000	6
9	49	1.000.000	6	1.000.000	6	1.000.000	1.000.000
10	50	1.000.000	1.000.000	4	1.000.000	1.000.000	2
10	51	1.000.000	6	4	1.000.000	1.000.000	6
10	52	1.000.000	1	5	1.000.000	3	1.000.000
10	53	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1
10	54	1.000.000	6	1.000.000	6	1.000.000	1.000.000
10	55	3	1.000.000	1.000.000	2	1.000.000	1.000.000

Örnek olarak verilen MK01 problemi için, probleme ait iş, işlem numarası, işlem süreleri ve rota bilgilerinin alındığı kaynak dosya yapısı. İşlemin yapılmadığı makinelere işlem süresi olarak 1.000.000 değeri atanmaktadır.

Ek-2: Geliştirilen YBS algoritmasının iş akış diyagramları.

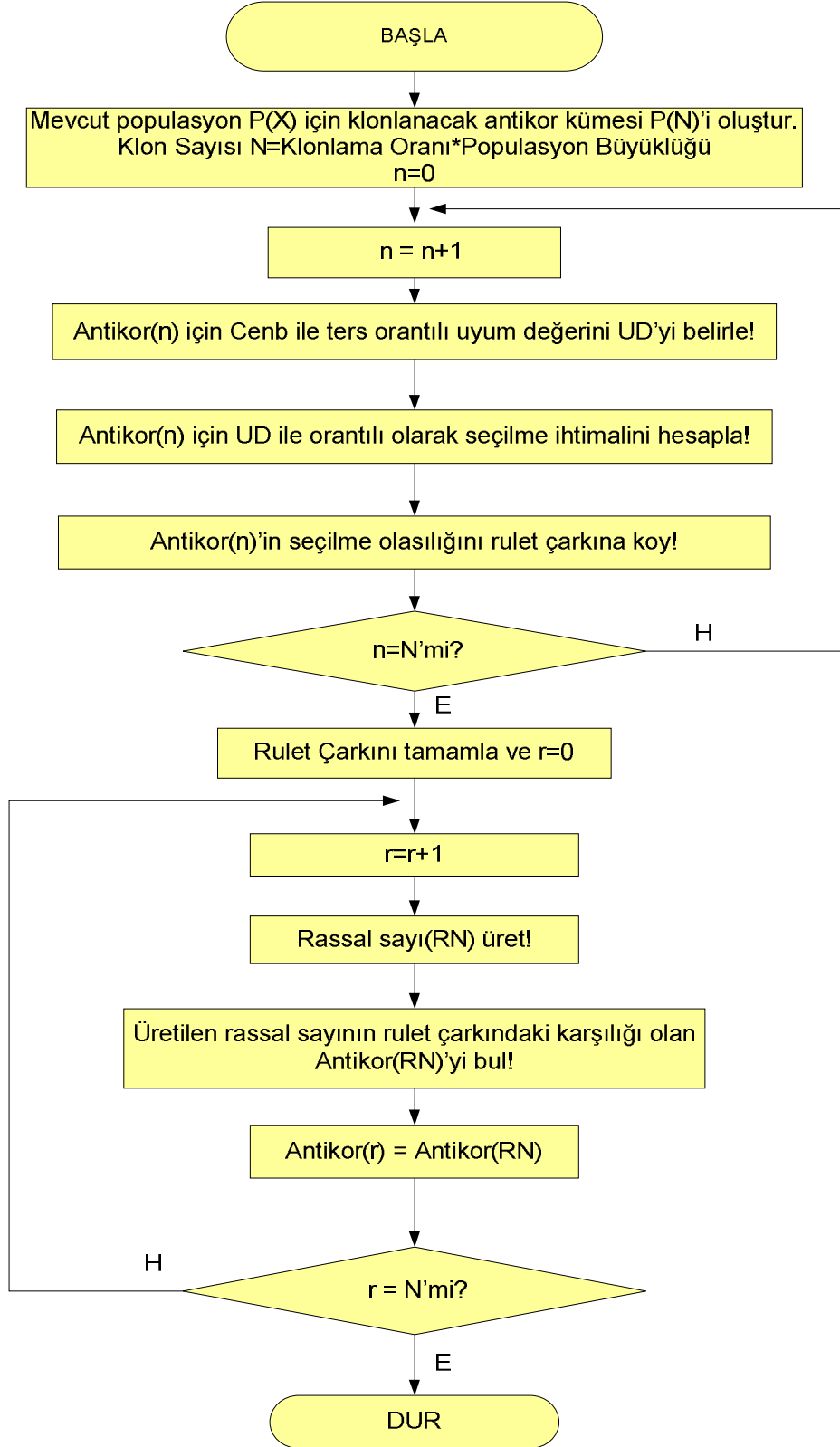


Ek-2'nin Devamı



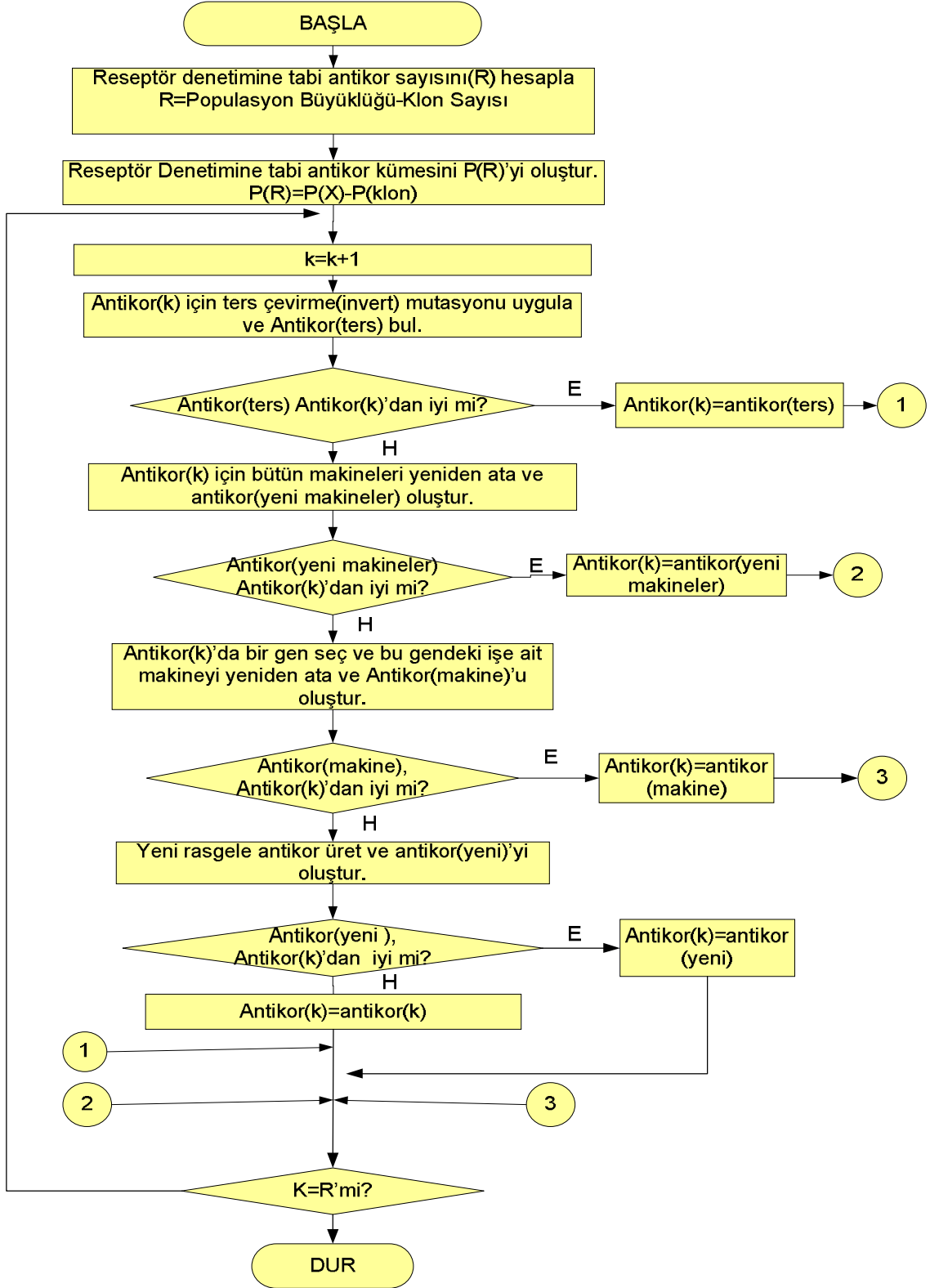
Geliştirilen YBS algoritmasının genel akış diyagramı

Ek-2'nin Devamı



Geliştirilen YBS algoritmasındaki klonlama mekanizması.

Ek-2'nin Devamı



Geliştirilen YBS Algoritmasındaki Reseptör Denetimi Mekanizması.

Ek-3 : Elde edilen deney sonuç tabloları.

MK01 Problemi Kullanılarak Yapılan Parametre Belirleme Deneyleri

KLONLAMA ORANI MUTASYON ORANI TEST TABLOSU		MUTASYON ORANI																				
		DÜŞÜK			ORTA			YÜKSEK														
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1											
KLON ORANI	DÜŞÜK	0,1	42	66,21	42	65,49	42	66,36	42	66,26	39	66,64	42	67,12	42	67,21	42	67,30	42	67,86	42	67,90
		0,2	42	58,87	42	59,80	36	60,61	42	64,04	42	64,57	42	63,86	42	65,24	42	65,12	38	66,05	40	67,61
		0,3	42	49,46	42	51,03	42	53,36	36	54,14	38	56,39	42	58,94	42	60,44	42	62,71	38	64,20	45	66,06
	ORTA	0,4	42	46,83	42	48,95	42	51,22	37	52,90	42	55,66	37	56,37	41	57,59	42	59,85	38	62,02	37	63,62
		0,5	42	39,18	42	41,73	36	44,11	42	46,82	36	49,54	39	52,29	38	55,00	38	57,57	44	60,27	39	62,67
		0,6	42	29,73	36	33,14	42	36,60	44	40,15	42	43,82	42	47,11	38	50,55	37	54,09	39	57,87	38	61,29
	YÜKSEK	0,7	38	23,38	38	27,23	42	31,40	38	35,51	42	39,85	42	43,77	39	48,22	39	52,12	37	56,30	42	60,25
		0,8	42	20,11	42	24,57	42	28,80	44	33,38	37	37,57	37	42,58	37	46,66	41	51,12	40	55,74	39	59,65
		0,9	38	13,93	42	18,76	48	23,66	38	28,65	42	33,65	42	38,76	42	43,68	38	48,84	40	53,78	42	58,67
		1	50	7,58	40	12,98	44	18,77	45	24,32	60	30,24	49	35,44	50	41,02	42	46,97	48	52,43	49	58,10

Deney-1

KLONLAMA ORANI MUTASYON ORANI TEST TABLOSU		MUTASYON ORANI																				
		DÜŞÜK			ORTA			YÜKSEK														
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1											
KLON ORANI	DÜŞÜK	0,1	42	65,85	43	65,63	44	65,52	42	65,90	42	66,14	42	66,54	42	66,67	42	66,94	42	67,22	40	67,42
		0,2	36	58,50	42	59,51	42	60,45	42	61,08	37	61,99	42	62,96	42	63,84	42	64,66	40	65,38	42	66,49
		0,3	42	49,12	44	50,83	42	52,61	42	54,31	42	56,07	42	57,89	36	59,62	42	61,55	42	63,27	42	64,90
	ORTA	0,4	37	46,16	42	48,15	37	50,10	42	51,98	42	54,46	37	56,01	42	58,14	42	60,28	36	62,46	42	64,75
		0,5	42	39,37	36	42,33	42	44,99	42	47,24	42	50,23	40	52,74	42	55,77	37	58,03	37	60,72	42	63,44
		0,6	38	29,91	42	33,72	42	36,98	42	40,57	39	43,83	38	47,67	42	50,99	36	54,50	38	60,83	37	65,45
	YÜKSEK	0,7	36	24,01	39	28,36	37	32,10	42	36,58	42	40,04	41	44,36	37	48,91	37	53,71	39	57,60	42	62,30
		0,8	42	21,26	37	25,25	42	30,23	39	34,24	39	38,83	38	43,92	42	47,66	40	52,26	41	57,31	36	61,51
		0,9	41	14,18	42	19,41	42	24,52	42	29,56	37	35,72	38	40,45	42	45,08	40	50,26	38	54,97	42	59,81
		1	54	7,82	54	13,48	49	19,25	49	25,04	50	30,24	40	36,40	54	42,69	52	48,41	54	53,48	50	59,21

Deney-2

KLONLAMA ORANI MUTASYON ORANI TEST TABLOSU		MUTASYON ORANI																				
		DÜŞÜK			ORTA			YÜKSEK														
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1											
KLON ORANI	DÜŞÜK	0,1	42	66,30	41	66,54	41	66,80	41	66,75	40	67,33	40	67,53	42	68,28	42	68,49	36	68,51	36	68,89
		0,2	42	59,77	42	61,14	42	62,28	42	62,96	42	63,46	37	64,34	42	65,73	42	65,04	41	65,57	42	66,37
		0,3	42	48,89	42	50,91	38	54,37	42	57,98	37	57,64	42	61,49	40	63,03	37	64,82	38	67,91	37	67,63
	ORTA	0,4	40	49,91	39	48,82	42	54,33	39	55,44	42	57,12	37	57,32	42	60,65	36	61,70	38	63,81	36	65,63
		0,5	42	39,82	42	42,92	37	45,54	42	48,67	40	50,55	42	53,47	42	55,67	42	58,61	42	60,60	42	63,89
		0,6	42	30,66	44	34,45	40	37,02	37	41,37	42	45,43	43	48,57	39	51,67	43	54,61	40	58,39	39	61,69
	YÜKSEK	0,7	42	23,60	41	27,62	42	31,80	42	35,98	42	40,04	40	44,08	42	47,85	38	52,22	45	56,85	40	60,89
		0,8	44	20,85	37	25,73	42	30,02	40	35,47	42	40,59	38	44,52	42	48,87	39	51,99	36	66,33	37	68,91
		0,9	44	17,23	37	24,36	42	29,68	39	39,02	36	42,34	42	45,09	42	51,37	42	57,25	43	80,39	42	90,54
		1	55	13,31	54	22,76	52	33,70	54	42,37	50	43,79	47	51,05	49	59,17	50	66,52	55	75,31	50	82,02

Ek-3'ün Devamı

Deney-3

KLONLAMA ORANI MUTASYON ORANI TEST TABLOSU		MUTASYON ORANI																				
		DÜŞÜK			ORTA			YÜKSEK														
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1											
KLON ORANI	DÜŞÜK	0,1	44	83,95	42	81,78	42	85,72	41	79,26	42	78,19	40	77,92	42	77,09	42	86,71	42	79,04	42	79,00
		0,2	42	68,56	42	66,43	42	66,84	39	67,64	42	69,15	42	70,01	38	70,73	36	71,63	42	72,78	42	74,10
		0,3	42	54,67	38	56,27	42	58,23	42	60,70	42	62,58	37	64,67	42	66,36	42	68,08	42	70,27	37	72,35
	ORTA	0,4	42	50,82	42	53,43	42	55,54	40	57,78	41	60,14	42	64,70	36	66,13	41	67,13	39	72,79	42	74,14
		0,5	40	46,00	39	49,20	40	50,38	42	52,73	42	56,37	42	58,76	42	61,60	38	64,97	42	68,21	38	71,14
		0,6	38	33,46	36	37,61	36	40,98	42	45,78	43	49,31	37	53,81	42	57,29	39	60,18	42	64,48	38	68,42
	YÜKSEK	0,7	39	25,79	42	31,17	44	35,94	42	40,40	37	44,22	36	48,40	42	52,97	37	57,85	39	62,07	42	66,57
		0,8	42	22,08	42	26,86	39	32,30	39	36,83	42	41,61	42	46,36	42	51,31	40	55,67	36	61,14	42	65,73
		0,9	43	15,22	42	20,69	42	26,49	37	31,55	43	36,84	42	43,15	42	48,50	39	54,40	42	59,07	42	64,88
		1	55	8,34	54	14,12	47	20,84	44	27,03	43	32,76	50	39,28	52	45,62	43	51,25	50	57,79	44	63,62

Deney-4

KLONLAMA ORANI MUTASYON ORANI TEST TABLOSU		MUTASYON ORANI																				
		DÜŞÜK			ORTA			YÜKSEK														
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1											
KLON ORANI	DÜŞÜK	0,1	39	71,70	38	71,99	42	72,21	36	72,30	42	72,61	42	72,70	42	73,50	42	73,69	39	74,09	42	74,72
		0,2	42	64,49	41	65,14	42	66,26	42	66,99	43	68,23	42	71,07	42	77,54	36	74,18	42	76,97	42	79,70
		0,3	40	52,80	42	50,88	42	52,47	42	54,53	42	54,85	36	56,36	42	63,05	37	64,72	42	65,72	40	70,62
	ORTA	0,4	42	56,40	42	52,13	42	54,62	42	55,21	42	56,85	42	58,11	42	62,00	44	58,59	37	59,81	37	61,92
		0,5	40	37,91	42	40,53	39	43,23	42	45,34	37	48,05	41	50,68	42	53,26	37	55,66	41	58,30	36	60,72
		0,6	42	28,77	44	32,27	42	35,63	37	38,84	36	42,52	38	45,61	38	49,31	37	52,57	42	56,11	39	59,39
	YÜKSEK	0,7	42	22,52	38	26,52	39	30,38	43	34,51	38	38,26	42	42,59	42	46,56	42	50,65	42	54,54	42	58,28
		0,8	42	19,62	42	23,75	40	28,05	42	32,39	42	36,72	38	41,01	43	44,85	42	49,18	37	53,62	38	57,69
		0,9	42	13,74	42	18,21	38	23,04	40	27,89	39	33,04	42	37,88	38	42,46	42	46,98	38	51,96	42	56,66
		1	44	7,37	47	12,63	48	18,36	48	23,83	51	28,96	54	34,03	49	40,08	45	44,97	54	50,87	55	55,94

Deney-5

Ek-3'ün Devamı**BRdata MK01-MK10 Problemleri İçin Elde Edilen Sonuçlar**

Ad	MK01			MK02			MK03		
Deney	NS	Cmaks	Süre	NS	Cmaks	Süre	NS	Cmaks	Süre
1	1000	37	59,36	3000	29	184,83	3000	204	483,98
2	1000	42	59,24	3000	29	183,71	3000	204	483,35
3	1000	36	59,28	3000	29	182,26	3000	204	484,94
4	1000	42	59,47	3000	30	183,16	3000	208	485,87
5	1000	36	59,04	3000	28	183,26	3000	204	491,07
Ort.	1000	38,6	59,28	3000	29	183,45	3000	204,8	485,84

Ad	MK04			MK05			MK06		
Deney	NS	Cmaks	Süre	NS	Cmaks	Süre	NS	Cmaks	Süre
1	3000	60	267,99	3000	179	327,06	3000	72	493,60
2	3000	67	269,92	3000	176	324,68	3000	74	492,68
3	3000	67	270,52	3000	180	328,34	3000	69	497,88
4	3000	67	268,84	3000	179	325,71	3000	66	493,68
5	3000	67	276,52	3000	181	325,69	3000	73	487,13
Ort.	3000	65,6	270,76	3000	179	326,30	3000	70,8	492,99

Ad	MK07			MK08			MK09		
Deney	NS	Cmaks	Süre	NS	Cmaks	Süre	NS	Cmaks	Süre
1	3000	148	300,66	1000	523	296,87	3000	313	1.014,71
2	3000	151	304,70	1000	523	292,12	3000	307	1.022,39
3	3000	153	307,88	1000	523	294,24	3000	316	1.021,20
4	3000	148	312,27	1000	523	298,47	3000	300	1.013,75
5	3000	150	305,88	1000	523	285,76	3000	309	1.016,39
Ort.	3000	150	306,28	1000	523	293,49	3000	309	1.017,69

Ad	MK10		
Deney	NS	Cmaks	Süre
1	5000	227	1.644,60
2	5000	246	1.656,23
3	5000	215	1.632,99
4	5000	236	1.642,37
5	5000	224	1.651,66
Ort.	5000	229,6	1.645,57

ÖZGEÇMİŞ

1980 Denizli doğumludur. İlköğrenimini Denizli-Çal'da, orta öğrenimini, sırasıyla Konya Meram Fen Lisesi'nde ve Denizli Cumhuriyet Lisesi'nde tamamlamıştır. 1997 yılında başladığı lisans öğrenimini, 2003 yılında İ.T.Ü.Endüstri Müh. bölümünden mezun olarak tamamlamıştır. Halen Hv.K.K.lığında subay olarak görev yapmaktadır. Evli olup, İngilizce bilmektedir.