

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİNAMİK PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ PROBLEMİ İÇİN İKİ AŞAMALI MELEZ
SEZGİSEL BİR ALGORİTMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Çağatay İRİS**

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği

Programı : Endüstri Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİNAMİK PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ PROBLEMİ İÇİN İKİ AŞAMALI MELEZ
SEZGİSEL BİR ALGORİTMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Çağatay İRİS
(507091139)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Haziran 2011

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. M. Mutlu YENİSEY (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Demet BAYRAKTAR (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Şule İtir SATOĞLU (İTÜ)**

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

Bu çalışma kapsamında, dinamik parti büyüklüğü planlama problemine iki aşamalı melez sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. Ardından geliştirilen algoritmanın performansı farklı test problemleri ile değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

Bu çalışmasının seçilmesinde, kurgulanmasında ve sürdürülmesinde en başından beri bana destek veren, çalışmaya ilgi ve yardımlarını eksik etmeyen, bana sürekli güvenen ve fikirlerime değer veren, danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mehmet Mutlu YENİSEY'e sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Tez yazımı sürecinde, konuşmalarımızı daha üç ay var, beş günde bir sayfa yazsan yetiştirirsenden, sonlara doğru, hergün bir sayfa yazsan yetişmez noktasına getirerek beni sürekli bir biçimde motive eden çalışma arkadaşlarım Seçil Ercan'a, Levent Atahan'a, Mine Işık'a ve Mehmet Çağatay Bahadır'a, sürekli üniversite, sürekli bilim, biraz da bize vakit ayır diyerek, hayatımın vazgeçilmezleri halini alan ev arkadaşlarım Emre Babür ve Şükrü Zor'a, ne kadar uzakta İzmir'de olsalar da varlıklarını sürekli yanımda hissettiğim sevgili "aileme" ve ileriki yıllarda bu satırları okuduğumda hatırlamam adına "birine" sonsuz teşekkürlerimi yolluyorum.

Yüksek lisans tez çalışmalarım sırasında destekte bulunan TÜBİTAK Bilim İnsanı Yetiştirme Dairesi Başkanlığı'na ve mensubu olduğum İstanbul Teknik Üniversitesi bilim camiasına çok teşekkür ederim.

Mayıs 2011

Çağatay İRİS

Endüstri Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Altyapı ve Motivasyon	1
1.2 Genelleştirilmiş Problem Tanımı ve Karmaşıklık	2
1.3 Tezin Kapsamı	7
1.4 Tezin Organizasyonu	8
2. PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ PROBLEMLERİ İÇİN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR....	9
3. PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ PLANLAMA VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI	25
3.1 Genel Tanımlar	25
3.2 Problem Çözümü için Baskın Küme Tanımları	28
3.3 Algoritmalar Teorisi	33
3.4 Sezgisel Algoritmalar Teorisi	35
3.5 Metasezgisel Algoritmalar Teorisi	38
3.5.1 Metasezgisel Algoritmaların Sınıflandırılması	40
3.5.2 Metasezgisel Algoritmaların Çeşitleri	41
3.5.3 Tavlama Benzetimi Metasezgiseli	46
3.6 Dinamik Parti Büyüklüğü Planlama Teknikleri	51
3.6.1 Gereksinim Kadar Üret Algoritması (Lot-for-Lot, L4L)	51
3.6.2 Ekonomik Parti Büyüklüğü Algoritması (EPB)	52
3.6.3 En Düşük Birim Maliyet Algoritması (EDBM)	53
3.6.4 Silver ve Meal Algoritması	54
3.6.5 Parça Periyot Dengeleme Algoritması (PPD)	54
3.6.6 Wagner-Whitin Algoritması (W-W)	55
4. PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ PLANLAMA İÇİN İKİ AŞAMALI MELEZ SEZGİSEL BİR ALGORİTMA	57
4.1 Başlangıç Çözümü Sezgiseli	58
4.2 İyileştirme Sezgiseli	60
4.3 Görsel Örnek	65
5. SAYISAL ALGORİTMA TESTLERİ	69
5.1 Test Problemleri Veri Seti Yapısı	71
5.1.1 Veri Seti Çeşitleri	71
5.1.2 Test Problemlerinin Özellikleri	72
5.2 Sayısal Performans Analizi	74
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	81

EKLER.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	95

KISALTMALAR

CPU	: Central Processing Unit (İşlemci)
DP	: Doğrusal Programlama
EURO	: Avrupa Yöneyem Araştırması Topluluğu
EDBM	: En Düşük Birim Maliyet
EPB	: Ekonomik Parti Büyüklüğü
NP	: Polinom Olmayan Zaman
P	: Polinom Zaman
PPD	: Parça Periyot Dengeleme
TB	: Tavlama Benzetimi
W-W	: Wagner-Whitin

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Uzantı problemlerin gösterim biçimleri	20
Çizelge 3.1 : Yerel Arama Algoritması pseudo kodu	42
Çizelge 3.2 : Tabu Arama pseudo kodu	43
Çizelge 3.3 : Değişken Komşuluk Arama pseudo kodu	44
Çizelge 3.4 : Evrimsel Algoritmalar pseudo kod	44
Çizelge 3.5 : Benzetim Tavlama Metasezgiseli pseudo kodu	48
Çizelge 4.1 : Başlangıç çözümü pseudo kodu	59
Çizelge 4.2 : İyileştirme Sezgiseli pseudo kodu	62
Çizelge 4.3 : Görsel bir örnek	65
Çizelge 4.4 : Envanter seviyelerinin güncellenmesi komutları	66
Çizelge 4.5 : Geri öteleme kapasite değerlerinin güncellenmesine ilişkin komutlar.	66
Çizelge 5.1 : Sınıf-A tipi problemler için 20 test problemi sonuçları.....	74
Çizelge A.1 : Literatür Ağacı	88
Çizelge B.1 : Sınıf-A tipi problemler için elde edilen değerler	93

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Parti Büyüklüğü Problemlerinin yapısal sınıflandırması	3
Şekil 2.1 : Farklı ürün yapıları gösterimleri.....	15

DİNAMİK PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ PROBLEMİ İÇİN İKİ AŞAMALI MELEZ SEZGİSEL BİR ALGORİTMA

ÖZET

Üretim Planlama ve Kontrol teorisinin önemli alt alanlarından olan parti büyüklüğü belirleme problemi, günümüzde işletmelerin sıklıkla karar vermesi gerektiği bir konu olarak dikkat çekmektedir. Parti büyüklüğü belirleme problemi, orta dönemli taktik seviye bir karar olması sebebiyle işletmelerin performansına doğrudan etki etmektedir. Gerçek hayat uygulamalarında olduğu gibi büyük problem tipleri için, ilgili problemi optimum şekilde çözmek çok ciddi zamanlar almaktadır. Bu çerçevede, sezgisel ve metasezgisel yaklaşımlar, problemin çözümü için sık başvurulan yöntemler olarak göze çarpmaktadır.

Literatürde parti büyüklüğü probleminin uzantı problemi olarak nitelenen çok ürünlü çok periyotlu fazla mesai kısıtı altında parti büyüklüğü planlama problemi için farklı sezgisel yaklaşımlar geliştirilmiştir. Fakat; çalışmaların hiçbirinde üretim planlama yaklaşımları ile oluşturulabilecek baskın küme özelliklerinden ve problemin değişik çeşitlerinden bahsedilmemiştir. Bu çalışmada göz ardı edilen bu iki özellikten de faydalanılmıştır.

Çalışmanın amacı, önerilen iki aşamalı sezgisel yaklaşım sayesinde, parti büyüklüğü için büyük veri setleri ile polinom zaman içerisinde optimuma en yakın çözümü elde etmektir. Bunun yanı sıra, kurulacak baskın küme tanımları ile de parti büyüklüğü yaklaşımında referanslar üretilmesi hedeflenmektedir.

Problemin çözümü için tasarlanan iki aşamalı melez sezgisel yaklaşımda, başlangıç çözümü olarak bir dinamik parti büyüklüğü tekniği kullanılırken, elde edilen sonuçlar iyileştirme sezgiseline veri olarak verilmiştir. İyileştirme sezgiseline ise metasezgisel bir algoritma kullanılarak global optimum elde edilmeye çalışılmıştır. İncelenen küçük boyutlu test problemleri için, optimuma oldukça yakın sonuçlar elde eden algoritma, geliştirilerek daha zor problem tipleri için de uygulamaya alınabilir.

A TWO-STAGE HYBRID HEURISTIC ALGORITHM TO DYNAMIC LOT SIZING PROBLEM

SUMMARY

Lot Sizing problem has been considered to be a vital decision that should be made frequently. Lot sizing is a very important sub-problem derived from the original Production Planning and Control Theory. The related decision affects the performance of production systems directly. Because, it is considered to be a tactical level decision making problem by most of studies in the literature. It takes quite a long time to obtain an optimum solution to large-scale problems. Hence, heuristic and metaheuristic approaches are usually used to obtain a near optimal solution to real world problems.

There are several solution methods in the literature that aim to solve multi-item multi-period capacitated lot sizing problem with overtime decision in polynomial time. On the other hand, majority of papers have not focused on the dominance properties that may be formed via Production Planning Theory. In this study, a well-known extension problem of lot sizing has been solved nearly optimally by using an intelligent heuristic technique.

The aim of the study is to solve related extension problem with large-scale data sets nearly optimally in polynomial time via a two-stage heuristic algorithm. Additionally, proposed dominance properties may form a new point of view in lot sizing theory.

The proposed algorithm consists of two stages. The first is constructive heuristic that is a dynamic lot sizing technique called Lot-for-Lot. Results obtained from the initial phase have been given as an input to improvement heuristic. Improvement heuristic is a combination of metaheuristic technique (Simulated Annealing) and dominance properties. Algorithm results in pretty good solution set for small-problem sizes. And, it is understood that it may be implemented to more complicated problem extensions with some revisions.

1. GİRİŞ

1.1 Altyapı ve Motivasyon

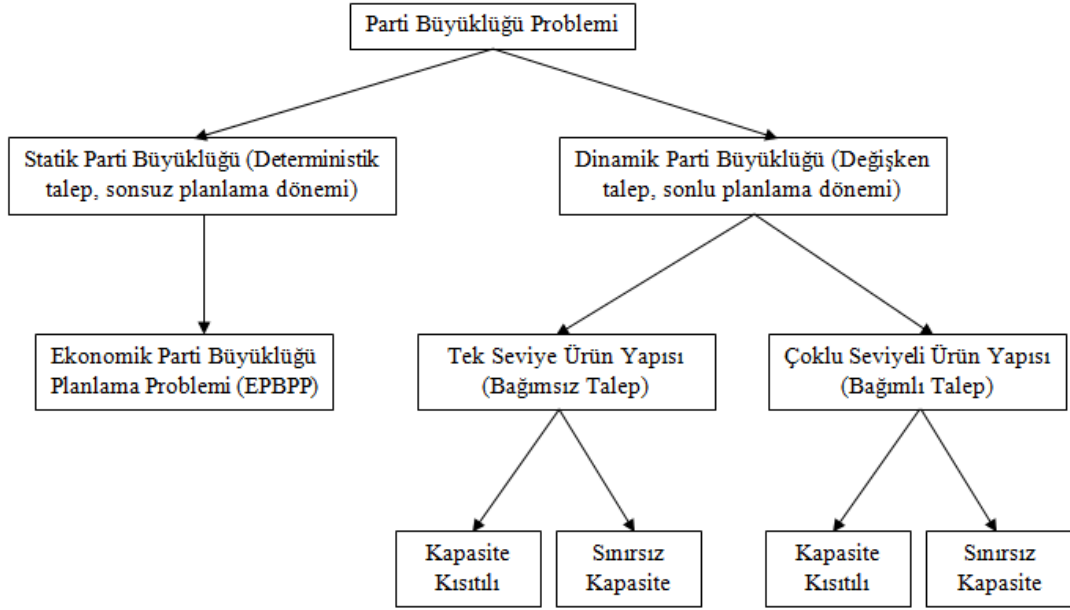
Üretim planlama ve kontrol teorisi, farklı alt alanları ile birlikte, günümüzde en çok incelemeye konu olan Endüstri Mühendisliği alanlarından biridir. Bu alt alanlar talep tahminlemesinden, çizelgeleme teorisine kadar birçok konu başlığını kapsamaktadır. Bu geniş kapsam dahilinde, parti büyüklüğünün planlanması problemi kendi literatürünü oluşturmuş, araştırma geçmişi 1940’li yıllara dayanan bir problem tipi olarak göze çarpmaktadır (Johnson, 1976). Konu hakkında gerçekleştirilen ilk çalışmalar, ekonomik parti büyüklüğünün hesaplanması (Harris, 1913) yaklaşımına kadar uzanmaktadır.

Parti büyüklüğü problemi, talebi karşılamak adına planlanan üretim miktarının ve bu miktarların hangi zaman dilimlerinde üretileceğinin belirlendiği bir üretim planlama problemidir. Bu problemde dikkate alınan temel amaç, üretim, elde bulundurma, ayar, fazla mesai gibi maliyet kalemlerinin minimizasyonudur. Her ne kadar, bazı çalışmalarda çok amaçlı modeller kurulabilinse de, konu hakkındaki çalışmalarda toplam maliyetlerin minimizasyonu en sık kullanılan amaç fonksiyonudur (Gören vd., 2008).

Günümüzde üretim planlama literatürü kapsamında gerçekleştirilen çoğu analiz ve çalışmalarda kesikli üretim sistemleri dikkate alınmaktadır. Bu çerçevede, üretim sistemlerinin de günümüz yaklaşımlarına göre analizi büyük önem taşımaktadır. Artan müşteri ihtiyaçları ve değişen pazar yapısı, üreticileri stoğa üretmek yerine siparişe göre üretime zorlamaktadır. Bu bağlamda, parti büyüklüğü planlama problemlerinin, ayar operasyonları ile elde stok bulundurma arasında bir ödünleşmeden ortaya çıktığı açıktır (Editörler, 2011). Yalın üretimin artan öneminin vurgulanması ile birlikte, mevcut üretim sistemlerinde, talep dalgalanmaları ve düşürülemeyen ayar sürelerinin varlığı üretimi partiler halinde gerçekleştirmeyi kaçınılmaz kılmaktadır. Partiler halinde gerçekleştirilen günümüz üretim sistemlerinde parti büyüklüğü problemleri yerini muhafaza etmektedir.

Karmaşıklık teorisi ve sayısal algoritma testlerinin birçoğu çok açık bir biçimde göstermektedir ki, parti büyüklüğü problemleri ve bu yapıdan türetilecek tüm uzantı problemler çözümü zor problemler kategorisinde bulunmaktadır (Jans ve Degraeve, 2008). İleriki kısımlarda, problemin zorluğuna sürekli bir biçimde atıf yapılacak olsa da, bu zor yan, konu hakkında yapılan araştırmaların sayısını ciddi oranda artırmaktadır. Konunun bu zor ve ilginç yanı, sezgisel ve metasezgisel yaklaşımların problem çözümünde kullanımlarını sürekli bir biçimde desteklemektedir (Hung vd., 2003). Yapılan çalışmanın amacı, bu karmaşık ve oldukça önemli problem hakkında geliştirilecek bir melez sezgisel yaklaşım ile büyük problemlere polinom zamanda çözüm bulabilmektir. Konunun daha önce çalışılmamış yönlerinin analizi, ikinci bölümde literatür taraması çerçevesinde gerçekleştirilecektir.

yazın bulunmaktadır. Gruplama esasına göre, hazırlanan alt uzantı problemler ağacında, her bir dal kendi literatürünü yaratmış, ayrı bir çalışma alanı olarak göze çarpmaktadır. Bahl ve diğerleri tarafından, 1987 yılında hazırlanan literatür taramasında, problemin ağaç yapısı ayrıntılı bir biçimde aktarılmıştır. Bu çalışmada, temel problem tipleri; planlama döneminin özellikleri, ürün yapısı ve kapasite kısıtı açısından değerlendirilmiş ve elde edilen gruplar Şekil 1.1’de görülebilinecek ağaç yapısına aktarılmıştır.



Şekil 1.1 : Parti Büyüklüğü Problemlerinin yapısal sınıflandırması (Bahl vd.,1987).

Planlama döneminin özellikleri açısından incelemeler yapıldığında öncelikle, talebin belirli olduğu ve bu miktarın tüm planlama dönemi boyunca sadece bir kere gerçekleştiği statik parti büyüklüğü problemleri karşımıza çıkmaktadır. Bu tip problemlere getirilen çözüm yaklaşımları genellikle matematiksel ispat teorisi esasına dayanan tekil problemleri çözmeye yardımcı olan statik çözüm teknikleridir (Pinedo, 2005). Diğer taraftan planlama periyodunun dinamik olduğu yani, sonlu bir planlama süresinin bulunduğu modellerde yapılan analizlere, literatürde daha sıklıkla karşılaşılmaktadır. Planlama periyodunun farklı yapısal özelliklerinden ikinci bölümde literatür taramasında ayrıntılı bir biçimde bahsedilecektir.

Problem uzantılarının tanımlanması için bir diğer kritik bileşen, incelenen ürün ağacının özellikleri ile ilgilidir. Planlaması yapılan ürünlerin, birden fazla alt bileşeni olduğu durumlarda (çok seviyeli olarak adlandırılan ürün ağaçlarında) bağımlı talep

olduğu için parti büyüklüğü planlaması ciddi şekilde farklılaşmaktadır. Günümüz endüstri sistemlerinde, tek seviyeli ürün üretimin gerçekleştirildiği sektörler özellikle sürekli üretimin uygulandığı işletmelerdir. Bu tip ürünlerde, planlama sürekli bir akış altında gerçekleştirildiği için fazla mesai kavramı ve kararları da ön plana çıkmaktadır (Bahl vd.,1987).

Temel değişken olarak listelenecek son özellik, incelenen üretim sisteminin herhangi bir kapasite kısıtının olup olmadığıdır. Eğer analiz edilen sistemlerde, farklı kaynaklar açısından, ki bu kaynaklar tezgah, çalışan, ekipman zamanları olabilir, kısıtlar mevcut ise, üretilecek parti büyüklüğünün miktarı bu değerlere doğrudan bağlıdır. Bu bağımlılık geliştirilen çözüm sistematığını doğrudan etkilemektedir (Gicquel vd., 2010). Bu çalışma kapsamında incelenecek problem yapısının, yukarıda tanımlanan üç bakış açısı ile nerde bulunduğu netleştirilmesi gerekmektedir. Tez yazınının başlığından da görülebileceği üzere çalışmada, çok ürünlü, çok periyotlu (dinamik periyot) tek seviye ürün üretimi için parti büyüklüklerinin en yakın optimum değerlerinin hesaplanması hedeflenmektedir. Çalışmanın uzantı problemler konusunda aldığı özellikler, üçüncü bölümde ilgili model formülasyonu kısmında ayrıntıları ile anlatılacaktır. Problemin tüm bileşenleri ile yansıtılması için uzantı içermeyen durumlarda ne gibi kabuller yapıldığının, bunun yanı sıra, problemin matematiksel modellenmesinde hangi amaç fonksiyonun ve kısıtların kullanıldığının belirlenmesi gerekmektedir.

Bu bağlamda, çok ürünlü, çok periyotlu, kapasite kısıtı altında, tek seviyeli ürün yapısına sahip genelleştirilmiş parti büyüklüğü planlama probleminin, kabullerinin listelenmesi gerekmektedir (Tempelmeier ve Derstoff, 1996), (Gören vd.,2008):

1. Dinamik deterministik dış talep veri olarak sisteme verilmektedir.
2. Birim zamanda sadece i gibi tek tip ürün üretilebilmektedir.
3. Periyodik olarak sunulan tüm talep dönem içinde karşılanmak zorundadır.
4. Kapasite kısıtı dikkate alınan bir veya birden fazla kaynak bulunmaktadır.
5. Her bir operasyon sadece bir kaynak tarafından gerçekleştirilmektedir.
6. Ürünlerin elde bulundurma maliyeti zaman faktöründen bağımsızdır.
7. Üretim miktarlarının tamamı ilgili periyot içinde tamamlanmak zorundadır.

Bu bilgiler ışığında, matematiksel modelin, amaç fonksiyonu ve kısıtları tespit edilebilir. Problem karmaşıklığına göre literatürde farklı amaç fonksiyonlarının

kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bazı çalışmalarda, sadece elde bulundurma maliyetleri modele yansıtılırken bazılarında, üretim, tezgah ayarı, elde bulundurmama maliyetleri amaç fonksiyonlarındaki yerlerini almıştır. Çalışmaların çoğunda, amaç fonksiyonu, toplam maliyetlerin minimizasyonu olarak seçilmiştir.

Çok ürünlü, çok periyotlu, kapasite kısıtı altında, tek seviyeli ürün yapısına sahip genelleştirilmiş parti büyüklüğü planlama probleminin iki adet keskin kısıtı bulunmaktadır. Bunlar, her ürün için dönem başına sağlanması gereken envanter denge kısıtı ve her bir dönem için tanımlanan kaynak kısıtıdır. Bunların yanı sıra, problem uzantısına göre ve değişkenlerin alması gereken değerler dikkate alınarak farklı kısıtlar modele eklenebilir. Sunulan matematiksel model, problemin birçok uzantısına kaynak olarak gösterilebilecek bir yapıdadır (Özdamar ve Barbarosoğlu, 2000):

$$z = \text{Min } \sum_{\forall t} \sum_{\forall i} (c_{i,t}X_{i,t} + h_{i,t}I_{i,t} + s_{i,t}Y_{i,t}) \quad (1.1)$$

$$s. t. I_{i,t-1} + X_{i,t} - I_{i,t} = D_{i,t} \quad \forall i, \forall t \quad (1.2)$$

$$\sum_{\forall i,k} (cp_{i,t}X_{i,t} + ts_{i,t}Y_{i,t}) \leq b_{k,t} \quad \forall t \quad (1.3)$$

$$X_{i,t} \leq \left(\sum_{\forall t} \sum_{\forall i} (D_{i,t}) \right) Y_{i,t} \quad \forall i, \forall t \quad (1.4)$$

$$X_{i,t} \geq 0, I_{i,t} \geq 0, Y_{i,t} = 0,1 \quad \forall i, t$$

Karar değişkenleri listesi;

$X_{i,t}$ = i ürününden t döneminde üretilecek parti büyüklüğü

$I_{i,t}$ = i ürününden t döneminin sonunda elde kalan envanter miktarı

$Y_{i,t}$ = i ürünü için t döneminde tezgah ayarı karar değişkeni

Parametreler;

$c_{i,t}$ = i ürününün t döneminde birim değişken üretim maliyeti

$h_{i,t}$ = i ürünün t dönemi sonunda birim elde tutma maliyeti

$s_{i,t}$ = i ürünü için t döneminde tezgah ayarı yapmanın maliyeti

$D_{i,t}$ = i ürünü için t dönemindeki bağımsız talep

$ts_{i,t}$ = i ürünü için t döneminde gereken tezgah ayar süresi

$cp_{i,t}$ = i ürünün t döneminde birim işleme zamanı

$b_{k,t}$ = k kaynağının t döneminde sunduğu maksimum kapasite

Genelleştirilmiş modelde, amaç fonksiyonu olarak verilen (1.1) denklemi, toplam değişken üretim maliyetinin, dönem sonunda elde tutulan envanter elde bulundurma

maliyetinin ve her bir parça için yapılan tezgah ayarının maliyetinin toplamını minimize etmeye çalışmaktadır. Kısıtlardan, (1.2) ile gösterilende, her dönem her ürün için bir önceki dönemden kalan envanter ile denge sağlanması koşulu yani talebin tam olarak karşılanması gereği yansıtılmaktadır. (1.3) ile gösterilen kısıtta ise, kullanılan her bir kaynak için (operator zamanı, tezgah zamanı) toplam üretim zamanı ve tezgah ayar süresinin kapasite değerinden fazla olmaması gerektiği gösterilmiştir. (1.4) ve (1.5) kısıtları sayesinde ayar değerlerinin her bir dönem parametresi için; ayar yap veya yapma gibi 0-1 değişkenler alması zorlanırken, negatiflik önleyici kısıtlar sayesinde ise, modelin tutarlı sonuçlar vermesi sağlanmaktadır.

Tez çalışması kapsamında, incelenen uzantı problem kendi içinde bazı kabuller yaptığından ve eklenti kısıtları bulunmasından dolayı, genelleştirilmiş matematiksel modelden oldukça farklı bir yapıya sahiptir. Bu farklılıkların özellikleri ve problem yapısında ne gibi değişiklikler yarattıkları, üçüncü bölümde ayrıntılı bir biçimde analiz edilecektir.

Yapılan her bir soyutlaştırma adımı, ele alınan modeli gerçek hayat probleminden bir adım geriye götürmektedir (Buschkhül vd., 2008). Bu tespit, bu oldukça karmaşık ve optimum çözümü polinom zaman içinde gerçekleştiremeyecek büyük problem yapıları için oldukça geçerlidir. Diğer taraftan, gerçek problemin modeli ile model çözüm zamanı arasındaki ödünleşme, modelin çözümü için kurulan algoritmaların daha zeki hale getirilmesini zorunlu kılmaktadır. Farklı uzantı problemler için geliştirilen yetenekli algoritmalar, birden fazla uzantının birlikte değerlendirilmesine imkan sunmaktadır. Problemin gerçek hayat uygulamalarını da dikkate alacak şekilde genişletilmesi için, Bahl ve diğerleri tarafından tanımlanan kriterin yanına, makine/tezgah ayar sisteminin özellikleri, fazla mesainin kullanımı, elde bulundurmama maliyeti, üretim ve tedarik teslim zamanları, zaman pencereleri gibi değişkenlerin eklenmesi gerekmektedir (Bahl vd., 1987). Bu farklılıkların etkileri ve sonuçları ilerleyen bölümlerde analiz edilecektir.

Daha önceden de bahsedildiği üzere, hazırlanan genelleştirilmiş matematiksel model ve diğer uzantı modeller, büyük problem boyutları altında, optimum çözümü polinom zaman çerçevesinde elde edilemeyecek problem tipleridir. Bu çıkarım, karmaşıklık teorisinin, ilgili problem yapısına uygulamasını zorunlu kılmaktadır. 1982 yılında Bitran ve Yanasse, çok ürünlü çok periyotlu kapasite kısıtlı parti

büyüklüğü planlaması probleminin NP-zor kategoride bulunduğunu matematiksel indüksiyon yöntemleri ile ispatlamıştır (Bitran ve Yanasse, 1982). Bu çalışmanın ardından yapılan analizlerde elde edilen sonuçlara göre, ilgili problem yapısına sadece ayar süreleri eklendiğinde, yalnızca bir olurlu çözümü bulmak bile NP-tam kategorisi bir problem halini almaktadır (Garey ve Johnson, 1979). Bu çerçevede genelleştirilmiş parti büyüklüğü problemi matematiksel modelin çözümünün NP-zor olduğunun ispatı, 0-1 sırt çantası probleminin bir diğer karmaşık versiyonu olarak karşımıza çıkmasından anlaşılabilir (Pochet ve Wolsey, 2000). Problem yapısının bu karmaşık doğası, çözüm süreçlerinde sezgisel ve metasezgisellere başvurmayı zorunlu kılmaktadır.

1.3 Tezin Kapsamı

Bu çalışmada, çok ürünlü çok periyotlu kapasite kısıtlı parti büyüklüğü planlama probleminin bir uzantısı olan fazla mesai kararlarını da dikkate alarak iki aşamalı zeki sezgisel bir algoritma oluşturulması hedeflenmektedir. Çalışmaya başlamadan önce, ilgili problem tipinde daha zeki ve tutarlı arama tekniklerinin nasıl geliştirilebileceği üzerine çalışmalar yapılmış ve bazı baskın küme tanımları ortaya atılmıştır. Bu özellikler sayesinde sunulan yapı daha kararlı bir hal almıştır.

İlgili algoritmanın, başlangıç çözümü bağımlılığının test edilmesi hedefiyle sunulan stratejide, başlangıç çözümü olarak Gereksinim Kadar Üret tekniği seçilmiş ve elde edilen başlangıç çözümünün, olurlu bölge sınırları içinde olup olmadığına bakılmaksızın iyileştirme sezgiseline sonuçlar veri olarak verilmiştir.

Benzetim tavlama metasezgiselinden faydalanan bir ileri/geri öteleme algoritması özellikleri ile çalışan iyileştirme sezgiseli öncelikle geri yönlü olurlu tüm ötelemeleri gerçekleştirmekte bu sırada reddedilen adımların ileri ötelemelerini yaparak bir denge durumu oluşturmaya çalışmaktadır.

Sunulan iki aşamalı algoritmanın değerlendirilmesi adına, rastsal bir biçimde fakat belirli kural şablonlarına uyarak, test problemleri üretilmiş ve küçük problemler için optimuma yakınlık, büyük problemler için ise işlemci saniye zamanı analizleri ve durdurma kriteri analizleri gerçekleştirilmiştir.

1.4 Tezin Organizasyonu

Birinci bölümde ayrıntılı bir biçimde aktarılan tezin amacı, kapsamı ve genelleştirilmiş problem yapısının özelliklerinin ardından, ikinci bölümde konu hakkında gerçekleştirilen literatür taraması bilgilerinden bahsedilecektir.

Ayrıntılı bir biçimde yapısı sunulan literatür taramasının ardından, üçüncü bölümde incelenen uzantı problemin özellikleri, başlangıç çözüm yöntemleri ve özellikleri, problem ile ilgili elde edilen baskın küme önermeleri ve bunların kullanımları hakkında bilgiler verilecektir. Dördüncü bölümde, önerilen iki aşamalı sezgisel yaklaşımın adımları ayrıntılandırılacak ve algoritma yapısı detaylandırılacaktır. Beşinci bölümde, sunulan çözüm tekniğinin performansının değerlendirilmesi ile ilişkili çalışmalar ortaya konulacaktır. Son bölümde ise, elde edilen sonuçlar ve gelecek çalışmaların yoğunlaşması gerektiği alanlar not edilecektir.

2. PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ PROBLEMLERİ İÇİN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Parti büyüklüğü problemleri üzerine yapılan çalışmalar oldukça eski tarihlere dayanmaktadır. İlk olarak, konu hakkında çalışmaları ortaya koyan Wagner ve Whitin, incelenen alanın öncüleri arasında yer almaktadır. Parti büyüklüğü planlama problemlerinde, kapasite kısıtları bulunmayan ve dönemler boyunca sabit maliyet değerlerine sahip problemler polinom zamanda çözülebilirler. (Wagner ve Whitin, 1958).

Daha önceki bölümde aktarıldığı üzere, çalışmada incelenen problem ve bu problemten türetilcek farklı problemlerin tamamı NP-zor sınıfına girebilecek karmaşık problemler kategorisindedirler. (Bitran ve Yanesse, 1982) (Florian vd, 1971). Bu zor, karmaşık ve oldukça uzun çözüm zamanlarına sahip problem tiplerinin, optimum çözümünü bulabilmek adına yapılan çalışmalar genellikle problem çözüm zamanı boyutunda sıkıntılar yaşamaktadır (Gören vd., 2008). Bu çerçevede, konu hakkında gerçekleştirilen çalışmaların büyük bir kısmı sezgisel ve metasezgisel çözüm algoritmaları üzerine yoğunlaşmaktadır (Hwang, 2007). Bu algoritmalar, incelenen büyük problemlerin “en yakın optimum” değerlerinin polinom zamanda bulunmasını hedeflemektedirler.

Yapılan çalışmada, parti büyüklüğü problemlerinin sezgisel yöntemler ile çözümünü temel aldığından dolayı, literatür taraması bu alana yoğunlaştırılacaktır. Çok ürünlü, çok dönemli, kapasite kısıtlı parti büyüklüğü planlama problemi, temel olarak deterministik bir talep yapısı ve çok periyotlu dinamik planlama dönemi olduğu varsayımı altında incelenen parti büyüklüğü planlama problemlerinin belirlenen kaynak sınırları açısından kapasite kısıtlarını içeren standart bir formülasyonudur (Quadt ve Kuhn, 2008).

Yapılan ayrıntılı literatür taramasının ardından, analizde oluşturulacak inceleme yapılarının üç temel bakış açısına sahip olması gerektiği kararlaştırılmıştır. Bu bakış açıları; problem yapısı, problem için sunulan çözüm tekniği ve yapılan çalışmanın uygulama alanlarını kapsamaktadır. Konu hakkında farklı yazarlar tarafından

hazırlanan literatür taramaları da incelenmiş ve probleme bakış açıları ayrıntılandırılmaya çalışılmıştır. Jan ve Degraeve tarafından 2007 yılında gerçekleştirilen literatür taramasında, parti büyüklüğü problemi bir bütün olarak ele alınmış ve incelenen makalelerde tek seviyeli problem tipine göre elde edilen sonuçların alt limitleri karşılaştırılmıştır. Bu literatür taramasının sonuçlarına göre, parti büyüklüğü problemine uygulanan metasezgisel yaklaşımlar, problem çözümüne oldukça büyük katkılar sağlamaktadır. Gelişme alanları olarak listelenen temel iki doğrultu ise, problem yapısının farklı boyutları içerecek şekilde genelleştirilmesi ve uygulama alanlarının üretim ve lojistik sistemlerinden daha farklı, modellenmesi zor sistemlere aktarılmasıdır (Jan ve Degraeve, 2007). Quadt ve Kuhn tarafından 2008 yılında yapılan tarama sonuçlarına göre; kapasite kısıtlı parti büyüklüğü planlama problemi ve bu çerçevede türetilen uzantı problemlerin çözümünde dal-sınır, dal-fiyat, lagrange gevşetmesi, dinamik programlama gibi yöneylem temelli başlangıç çözümlerinin kullanımı, problemin alt limitlerini bulmak ve optimuma yakınsamak açısından ciddi faydalar sağlamaktadır (Quadt ve Kuhn, 2008). Gören ve diğerleri tarafından 2008 yılında yayınlanan literatür taramasında ise, parti büyüklüğü problemlerinin genetik algoritmalar kullanılarak çözümü ile ilgili çalışmalar incelenmiş ve farklı genetik algoritma parametreleri ile birlikte çok geniş bir çalışma alanı oluşturulabileceği yargısına varılmıştır (Gören vd., 2008).

Önceki bölümde açıklanan ve ayrıntılandırılan problem yapısına göre, parti büyüklüğü problemlerinin dokuz adet temel uzantısı bulunmaktadır. Bu uzantıların problem yapısını en çok etkileyen kısımları, incelenen ürünün yapısı (tek veya bir fazla seviyeli ürün yapısı), planlama periyodunun özellikleri ve kapasite kısıtları ile ilgili olanlardır. Ürün yapısı açısından literatürde karşılaşılan tek ve çok seviyeli ürün ağacı yapılarında, tek seviye ürün ağacı yapısına sahip olan ürünlerin planlanmasında optimuma daha yakın değerler elde edilmiştir. (Berretta ve Rodrigues, 2004). Tek seviyeli ürün ağacı yapıları ile ilgili metasezgisel çalışmalardan ilki Özdamar ve Birbil tarafından 1998 yılında farklı sezgisel algoritmaların karşılaştırılması şeklinde sunulmuştur. Bu çalışmada, kapasite kısıtlı parti büyüklüğü problemlerine fazla mesai kararları eklenmiş ve uzantı problemler ile problem karmaşıklığı artırılmıştır. Başlangıç çözümü olarak, hiyerarşik üretim planlama problemlerinin esas alındığı çalışmada, benzetim tavlama, tabu arama, genetik algoritmalar gibi iyileştirme sezgiselleri kullanılmış ve sonuçlar test problemleri yardımıyla değerlendirilmiştir.

Kurulan çözüm yapısının temelinde, başlangıç çözümü hiyerarşik üretim planı olan çıktının, periyotlar arasında ötelenecek miktarının farklı sezgiseller ile belirlenmesi bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, incelenen problemlere en uygun sezgisel Tavlama Benzetimi metasezgiselidir (Özdamar ve Birbil, 1998). 2002 yılında, Özdamar ve diğerleri tarafından, daha önce incelenen çalışma problemlerinin yeni sonuçları adıyla bir makale yayınlanmıştır. Bu çalışmada, problem yapısı korunmuş, çözüm tekniği açısından farklılıklar sunulmuştur. Önerilen çözümde, genetik algoritma, tabu arama ve benzetim tavlama ile birleştirilmiş, tek bir çözüm algoritması oluşturulmuştur. Bu algoritmanın performansı ise, mevcut test problemleri ile değerlendirilmiş ve daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Fakat oluşturulan karmaşık algoritma kodlama ve işlemci zamanı açısından ilk çalışma sonuçlarına göre kötü değerler vermektedir. Algoritmalar teorisinin temel mantığında bulunan, iyi çözüm ve algoritma zamanı ödünleşmesi, çalışmaların değerlendirilmesinde önemli bir kriterdir (Özdamar vd., 2002). Bu çalışmalarda kullanılan yaklaşımlardan esinlenerek oluşturulmuş bir karar destek sistemi içeren başka bir çalışmada, problemin sadece parti büyüklüğü değil, parti çizelgeleme ve hiyerarşik üretim planlama boyutları da dikkate alınmış ve firmaların kullanımı için bir yazılım oluşturulmuştur (Özdamar vd., 1998).

Tek seviyeli ürün yapısı olan problemlerde yapılan çalışmaların çoğu, dinamik planlama dönemi varsayımı altında hareket etmektedir (Kadıpaşaoğlu ve diğerleri, 1999). Bir diğer çalışmada, planlama periyodunun hareketli değişkenlik gösterdiği durum analiz edilmiştir. Bu yaklaşımda, her bir dönem için elde edilen parametreler sabit değildir, doğrudan bir önceki dönemden etkilenirler. Bu çerçevede, gerçek zamanlı veri akışının sağlandığı sistemlerde parti büyüklüğü planlamak oldukça zordur. İncelenen çalışmada, bu tip problemlere stokastik metasezgisel yaklaşımlar geliştirilmiş ve çözüm yapıları analiz edilmiştir (Haugen vd, 2001).

Tek seviye ürün yapılarında, farklılaşmanın sağlanacağı bir diğer özellik makine/tezgah ayar sistemlerinde farklılıklara gidilmesidir. Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere, sıra bağımlı ayar işlemleri ve ayar erteleme kavramları problem yapısının en belirgin uzantıları olarak görülmektedir. Sıra bağımlı ayar işlemlerinin incelendiği bir çalışmada, dual yeniden optimizasyon tekniği ile yerel arama teknikleri birleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar bir sınır kabul algoritmasına dönüştürülmüştür. Kurulan ilişkiler sayesinde yeni bir problem tipi türetilerek bu

problem tipi için bir Tavlama Benzetim çözüm yöntemi geliştirilmiştir (Meyr, 2000). Benzer bir probleme, doğrudan bir uygulama çalışmasında çözüm aranan bir diğer yayında ise, incelemeye alınan gerçek hayat problemi belirli yönleri ihmal edilerek basitleştirilmiş ve problem matematiksel model olarak formüle edilmiştir. Bu adımların ardından, kurulan model Lagrange gevşetmesi yardımıyla alt problemlere ayrılmış ve her bir alt problem için memetik algoritmalar oluşturulmuştur. Çalışmanın sonunda, yapılan analizlerin ve elde edilen sonuçların süreç performansına ne ölçüde yansıdığı değerlendirilmiştir (Ferreira vd., 2008). Makine/Tezgah ayar sistemleri açısından incelenen bir diğer uzantı ayar erteleme ve bölme kararlarının model problemlere entegre edilmesidir. Bu konuda yapılan bir çalışmada, ayar erteleme etkisi, üretim sisteminin paralel tezgahlardan oluştuğu durumda analiz edilmiştir. Çalışmada çözüm tekniği olarak literatürde sık rastlanmayan standart olmayan algoritmalar kullanılmıştır. Çözüm felsefesinin temelinde, hazırlanan matematiksel modeldeki 0-1 değişkenlerin tamsayıya dönüşümlerini sağlamak bulunan bu çalışmada; çözüm öncelikle optimuma yakınlığın kontrol edilmesi amacıyla küçük test problemlerinde denenmiş ardından, daha büyük problemlerde analizler gerçekleştirilmiştir. Ayar erteleme ve bölmenin parti büyüklüklerinde esneklik sağlandığının tespit edildiği çalışmada, paralel tezgahların bu yapıyı uygulamaya daha müsait oldukları not edilmiştir (Quadth ve Kuhn, 2008).

Günümüzde, parti büyüklüğü planlama problemlerinde dikkate alınması gereken bir diğer faktör toplam çalışma zamanının değeridir. Mevcut üretim sistemlerinde, mesai içinde gerçekleştirilebilecek işler fazla mesai kararları verilerek artırılabilir ve çeşitlendirilebilir. Bu çerçevede, ne kadar fazla mesai ile talep edilen miktarların üretileceği problemin bir diğer uzantısıdır. Literatürde, bu hakkında üç farklı yazının bulunduğu keşfedilmiştir. Bunlar; fazla mesaiye izin verilmeyen durum, maksimum fazla mesai kısıtlı modeller ve sınırsız fazla mesai modelleridir. Bilindiği üzere, fazla mesai ile normal mesai'de birim başına ücret aynı değildir. Birim başına ücretin, normal mesaiye göre nasıl değişkenlik gösterdiği de bir diğer model değişkendir. Xie ve Dong tarafından 2002 yılında hazırlanan çalışmada, önerilen genetik algoritma tekniği öncelikle fazla mesaiye izin verilmediği varsayımı altında çalışmıştır. Kurulan genetik algoritma metasezgiselinin temel çalışma prensibi, çaprazlama sırasında mevcut bulunan kapasite değerlerinden üretilebilecek miktarların

yansıması şeklindedir. Bunun ardından, belirli bir üst limit ile fazla mesaiye izin verildiği durumda algoritma yeniden çalıştırılmış, elde edilen sonuçlarda kötüleşme olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak ise, yeni sistemde çaprazlama ve mutasyon olasılıkları ile ilgili matematiksel çıkarımlar gerçekleştirilememiş olması gösterilmiştir (Xie ve Dong, 2002).

Dönemsel olarak, üretilen ürün miktarının o dönemde, ürüne olan talepten daha az olması durumunda, talebin ilgili kısmı karşılanamamaktadır. Talebin karşılanamayan kısmı, değişik varsayımlara göre ya kaybedilir ya da sonraki dönemlerde karşılanmak üzere saklı tutulur. Problemin başlangıç halinde, her dönemde bulunan mevcut talebin karşılanacağı varsayımı yapılır. Problem uzantılarının bir diğeri ise, karşılanamayan talebin bir maliyet ile kaybedilmesini kapsamaktadır. Absi ve Kedad-Sihdom tarafından, farklı elde bulundurmama maliyet yapılarına göre, tek seviyeli parti büyüklüğü problemlerinin nasıl şekillendiği incelenmiştir. Elde bulundurmama maliyetinin, farklı fonksiyon yapıları izlediği varsayımı altında, öncelikle oluşturulan karma tam sayılı model gevşetilmiş, bunun ardından dal-kesim algoritmaları yardımıyla alt limitler elde edilmiştir. Sunulan polihedral yaklaşım çok boyutlu, güçlü eşitsizliklere yol açmıştır. Bu eşitsizliklerin algoritma içinde kullanılması sonucunda da, problemin çözümüne yardımcı olması adına alt limitler elde edilmiştir. İlerleyen çalışmalarda ise, belirlenen yeni problem yapısının çözümüne ilişkin sezgisel yaklaşımlar oluşturulacağı bilgisi verilmiştir (Absi ve Kedad-Sihdom, 2008).

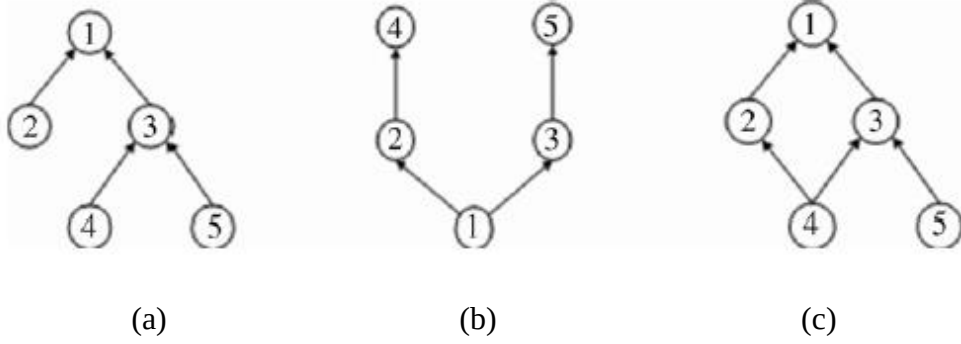
Tek seviye ürün yapılarında başlangıç problemi için, üretim ve tedarik zamanlarının toplam periyot zamanını aşmadığı varsayımı yapılır. Bu tip problemlerde, üretilen ürünlerin tamamı kararı alınan dönemde üretilebilecek zamana sahiptir. Benzer şekilde, ilgili ürünler için satınalma kararları veriliyor ise, satınalınan miktarlar değerlendirme periyodu içinde elimize ulaşmaktadır. Fakat; gerçek hayat uygulamalarında üretim ve tedarik için teslim zamanları bulunur. Bu konuda yayımlanan çalışmaların çoğu tedarik zinciri sistemlerinde, parti büyüklüğünün planlaması üzerine yapılan çalışmalardır. Sambasivan ve Yahya tarafından, 2005 yılında yapılan çalışmada, çok ürünlü, çok fabrikalı bir sistemde fabrikalar arası taşıma dikkate alınarak taşıma parti büyüklüğü planlaması yapılmıştır. İncelenen sistemde, tedarik zamanları da dikkate alınarak model karma tamsayı bir model şeklinde kurulmuş ve Lagrange gevşetmesi yardımıyla hazırlanan sezgisel bir

yöntem ile optimuma yakın çözümler elde edilmiştir (Sambasivan ve Yahya, 2005). Model optimuma yakınlık açısından iç açıcı sonuçlar vermese de, bir gerçek hayat probleminin modellenmesi ve sezgisellerin uygulaması açısından önemli bir noktaya tekabül etmektedir. Konu hakkında yapılan bir diğer çalışmada ise, tedarik zincirlerinde parti büyüklüğü planlaması çalışmaları farklı ağ yapıları altında incelenmiştir. Benzer şekilde Lagrange temelli farklı bir sezgisel ile çalışan modelde, küçük bir yerel arama sezgiseli de kullanılmıştır. Bu çalışmada, tek seviye ürün yapılarının yanı sıra çok seviyeli ürün yapıları için de model performansı analiz edilmiştir. Sonuçlara göre, önerilen model çok seviyeli ürünlerde de, en az tek seviyeliler kadar iyi sonuçlar vermektedir (Chen ve Chu, 2003). Tek seviyede problem yapısı açısından farklılık yaratacak son özellik, belirtilen model içinde zaman pencerelerinin kullanılıp kullanılmadığı mevzusudur.

Artan müşteri ihtiyaçları ve değişen pazar yapısı, sadece belirtilen miktarda ürünün müşteriye tesliminin, ihtiyaçları karşılamak açısından yeterli olmadığını göstermektedir. Müşteriler miktar kısıtının yanı sıra, istediği zaman aralığında ürünlerinin ellerinde olmasını talep etmektedirler. Bu bağlamda, zaman pencereleri kavramı, hem üretim operasyonları hem de talep teslimi açısından bir uzantı problem olarak karşımıza çıkmaktadır. İncelenen konu çizelgeleme yayınları literatüründe sıklıkla karşılaşılsa da, konu hakkında parti büyüklüğü problemlerinde ayrıntılı bir çalışma mevcuttur. Brahimi ve diğerleri tarafından 2010 yılında gerçekleştirilen çalışmada, polihedral yaklaşımla problemin konveks koni özellikleri belirlenmiş, oluşturulan önermeler yardımıyla Lagrange temelli bir gevşetme yapısı oluşturulmuştur. Önerilen çözüm algoritması yeterince iyi olsa da, çok çabuk zamanda durağan hale gelen algoritma, global arama açısından etkin değildir (Brahimi vd, 2010).

Ürün yapısının birden çok katmanı içerdiği durumlarda, yani çok seviyeli ürünlerin parti büyüklüklerinin planladığı problemlerde, öncelikli verilmesi gereken karar farklı çok seviyeli ürün yapılarından hangisinin kullanılacağıdır. Çok seviyeli ürün yapılarında farklı üç çeşit ürün yapısı kullanılmaktadır. Bunlar; montaj parçaları (a), ağaç yapısı (b), genelleştirilmiş yapı (c) şeklinde tanımlanabilir. Bu tip yapılarda, ürün ağaçlarını çevrimsiz birer graf şeklinde tanımlamak problem çözümü açısından kolaylıklar sağlamaktadır. İlgili çalışmada, incelenen problemde montaj parçaları şeklinde yapıları bulunan ürünler kullanılmıştır. Önerilen parça sürü algoritması

yardımla kapasite kısıtı bulunmayan problem yapısında, yakın optimum çözümler elde edilmeye çalışılmıştır. Bu yayının bir diğer orijinal bakış açısı, performans değerlendirme yapısının simülasyon kullanılarak test edilmesidir. Şekil 2.1’de çalışma içinde incelenen ürün yapılarına ilişkin örnekler verilmiştir (Han vd., 2009). Şekil 2.1’de a, b, c tipleri için örnekler görülebilmektedir.



Şekil 2.1 : Farklı ürün yapıları gösterimleri (Han vd., 2009).

Çok kademeli ürün yapılarında, parti büyüklüğünün planlanması için ilk çalışmalardan biri Tempelmeier ve Derstroff tarafından 1996 yılında hazırlanmıştır. Çalışmada, öncelikle çok seviyeli kapasite kısıtlı problem için özgün bir matematiksel model kurulmuş ardından, bu modelin kapasite kısıtı gevşetilerek bir kapasitesiz çok seviyeli parti büyüklüğü planlama problemine dönüştürülmüştür. Dönüşümü gerçekleştirilen model, yerel arama özelliklerine sahip bir algoritma ile optimuma yakınsatılmıştır (Tempelmeier ve Derstroff, 1996). Altı farklı test problemi kümesi ile değerlendirilen algoritma, çok seviyeli parti büyüklüğü problemlerinin çözümünde sıklıkla referans verilen bir makale halini almıştır.

Konu hakkında bir diğer önemli bakış açısı Özdamar ve Barbarosoğlu tarafından 2000 yılında iki makale ile ortaya sunulmuştur. Bu makalelerden ilkinde, problemin her iki kısıtı da lagrange gevşetmesi ile genelleştirilmiş ve ortaya çıkan tüm küçük problemler benzetim tavlama esas alan bir algoritma ile iyileştirilmiştir. Bu çözümün optimuma yakınlık açısından iyi sonuçlar vermediğini gören yazarlar, faz-I algoritması ile iyileştirme sezgiselinin yapısını kuvvetlendirmiştir. Faz-I sezgiselinde ise, ileri veya geri ötelemelerin rastgele yapıldığı başlangıç iyileştirme sezgiselinden farklı olarak daha zeki bir iyileştirme politikası izlenmiştir. Oluşturulan algoritma bu tip problem yapıları içinde optimuma en iyi yakınsayan algoritma olarak not edilmiştir (Özdamar ve Barbarosoğlu, 2000). Çalışmanın ikinci aşamasında ise farklı bir makalede, oluşturulan benzetim tavlama iyileştirme sezgiseli için duyarlılık

analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, benzetim tavlama performans parametreleri doğrudan başlangıç çözüm uzayına bağlıdır. Yani gevşetilen kısıt, problemin çözümüne yardımcı oluyor ise, benzetim tavlama oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Kapasite kısıtının tek başına gevşetilmesi, optimuma yakınlık açısından %22 değeri ile en iyi sonucu vermektedir (Barbarosoğlu ve Özdamar, 2000). Çok seviyeli ürün yapılarında, problem uzantıları oluşturmak zaten boyutları açısından oldukça zor olan problemi daha da çözümü imkansız bir hale dönüştürmektedir.

Bu çerçevede, problem uzantısı olarak ayar erteleme ve ayar bölme işlemlerinin dahil edildiği bir çalışmada, düzelt ve optimize et algoritması montaj tipi ürün ağacına sahip yapılarda kullanılmış optimuma yakınlık açısından oldukça iyi değerler elde edilmiştir. Optimum çözümün, seçilen alt periyotlardan herhangi birinde ayar optimizasyonun gerçekleştirildiğine bağlı olduğunun saptandığı çalışmada, herhangi bir alt periyotta optimum şekilde ayar bölünüp ötelenebiliniyorsa, bu aktarımın diğer dönemlere yansıtılabilineceği gösterilmiştir (Sahling vd., 2009).

Çok seviyeli ürün yapılarında, alt parça üretimlerinin fazla mesai ile gerçekleştirildiği bir diğer çalışmada ise, optimum çözüme MAK-S-MİN karınca kolonisi algoritmaları ile yaklaşılmıştır. Bu çalışmada, başlangıç çözümü olarak kullanılan karınca kolonileri yaklaşımının üzerine, dört adet farklı yerel arama tekniği geliştirilmiştir. Yerel arama tekniklerinden bazıları, oluşturulan çözüm üzerinden indirgenmiş bir DP çözümü oluşturarak yerel optimumu aramaktadır. Elde edilen sonuçlar küçük problemler için çok iyi sonuçlar verse de, problem büyüklüğü ve karmaşıklığı arttıkça iyi bir performans gösterememektedir (Almeder, 2010). Benzer bir biçimde, fazla mesai ve teslim zamanları ile incelenebilecek bir problemi, düzelt ve optimize et algoritmasıyla matematiksel modelleme esaslarını dikkate alarak çözümlemeye çalışan yazarlar elde ettikleri sonuçları, önceki paragraflarda anlatılan (Tempelmeier ve Derstroff, 1996) yayınıyla karşılaştırma yoluna gitmişlerdir. Not edilen sonuçlara göre, incelenen test probleminden yapısal farklılıklar içeren verileri olmasına rağmen, kurulan modelin karşılaştırılan makale sonuçlarına göre daha esnek yapıda olduğu not edilmiştir. Esneklik ile kastedilen, alt problemlerin rahatlıkla değiştirilmesiyle bu algoritmanın daha farklı parti büyüklüğü uzantılarına da çözüm getirebileceği olgusudur (Helber ve Sahling, 2010).

Problem yapısı ile ilgili farklılıkların tespiti ve geliştirilen çözümlerin analizinin ardından, uzantı problemlere geliştirilen çözüm teknikleri de gruplanmış ve literatür

taramasının bir ayağı olarak analistlere sunulmuştur. Daha önceden bahsedildiği üzere, çalışmada yoğunluklu olarak parti büyüklüğü planlama problemlerinin sezgisel ve metasezgisel algoritmalar ile çözümü esaslı yaklaşımlar dikkate alınacaktır. Bu çerçevede, oluşturulan tarama; üç ana kısımdan oluşturulmuştur. Bunlar; yöneylem ve matematiksel modellerle temelli çözümler, sezgisel ve metasezgisel çözümler ve bu ikisinin birlikte kullanıldığı melez çözümler olarak listelenmektedir.

Yöneylem ve matematiksel modelleme temelli yöntemlerin çoğu, sezgisel yöntemlerin başlangıç çözümleri olarak değerlendirildiği için çözüm olarak sadece bu yöntemlerin kullanıldığı inceleme yayınlarının sayısı azdır. Tek seviyeli ürün yapılarında, hazırlanan karma tamsayılı matematiksel modelin kesme yüzeyleri teknikleri yardımıyla yeniden formülasyonu, problem için üst limit değerleri vermektedir. Uzantı problemlerde kısıt ve karar değişkeni sayısı arttığı için yöneylem temelli doğrudan bağlantı sonuçlar oluşturulması güçleşmektedir (Belvaux ve Wolsey, 2001). Bu konuda, çok seviyeli ürün yapılarının dikkate alındığı parti büyüklüğü problemleri için ağ akışı diyagramları yardımıyla doğrudan matematiksel modelleme temelli çözümler de oluşturulmuştur. Yenisey tarafından 2006 yılında önerilen yaklaşımda, taraf kısıtlar her bir girdi ve çıktı dönemi için matematiksel model halinde yazılıp çözüldüğünde, parti büyüklüğü yaklaşımı ihtiyaç kadar üret yaklaşımı ile gerçekleştirilmektedir. Konu hakkında, sunulan gelecek çalışmalar bölümünde, ağ yapısının stokastik karakter gösterdiği durumlarda model değişkenleri ve çok büyük sayıda parametreler içeren problemler için neler yapılması gerektiği araştırma alanı olarak not edilmiştir (Yenisey, 2006). Melez algoritmalar kümesinde çözüm arama stratejisine dayanan tam çözüm yöntemlerinden biri, Pitakaso ve diğerleri tarafından 2006 yılında literatüre dahil edilmiştir. Tam çözüm teknikleri ile popülasyon temelli metasezgisel tekniklerin birleştirildiği bu çalışmada, öncelikle ayrıştırılan matematiksel model için evrimsel algoritma özelliklerinden yararlanan MAK-S-MİN karınca kolonileri kullanılmış ve parametre sayıları otomatik şekilde uyarlanarak problem büyüklüğü azaltılmıştır. Çok seviyeli ürün yapılarında gerçekleştirilen bu çalışma sayesinde, talebin dönemler arasında aktarılması esaslı dekompozisyonun oldukça faydalı olduğu gözlenmiştir (Pitakaso vd., 2006). Bu çalışmanın geliştirilmiş bir halinin sunulduğu bir diğer yayında ise, maliyet fonksiyonun bileşenleri benzer karınca kolonisi yöntemleri kullanılarak yeniden

modellenmiş ve elde edilen sonuç parametreler bir önceki çalışma ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır. İkinci çalışmada, karınca kolonileri yaklaşımının yanı sıra, başlangıç çözümü olarak sunulan Wagner-Whitin yaklaşımı da, çalışmaya orijinallik katmaktadır (Pitakaso vd., 2007) .

Sezgisel ve metasezgisel yaklaşımlar açısından, şimdiye kadar literatür taramasında ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Bunlardan farklı olarak, genetik algoritma operatörlerinin optimizasyonu ile gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, çok kromozomlu çaprazlama stratejileri kullanılmış, uygunluk, çaprazlama, mutasyon parametrelerinin değişkenliğine göre duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir (Süer vd., 2008). Literatürün tamamlanan kısmında bahsedilmeyen ama bir makalede kullanılan bir diğer metasezgisel teknik, stokastik arama algoritmasıdır. Çok seviyeli ürün yapılarında, hazırlanan matematiksel modelin maliyet dönüştürme ile genelleştirilmiş halinde, olurlu bölge içinde herhangi bir noktayı stokastik arama algoritmaları ile seçen teknikte, soğutma eğrisi, iç kaynaklı evrim stratejisi, durdurma kriterleri ve olurlu bölge sınırları farklı stratejiler kullanılarak belirlenmiş ve duyarlılıkları test edilmiştir (Jeunet ve Jonard, 2005). Literatürde karşılaşılan ve uygulama alanı açısından oldukça geniş bir çerçeveye sahip olan memetik algoritmalar da çok seviyeli ürün sistemi içinde parti büyüklüğü problemlerinin en yakın optimum çözümlerinin araştırılmasında başvuru yöntemler arasındadır. Berretta ve Rodrigues tarafından sunulan çözüm tekniğinde, eğer elde edilen başlangıç çözümü olurlu bölgenin dışında ise, çözüm farklı teknikler ile düzgünleştirilmekte, ardından olurlu bölgeye yerleştirildikten sonra iyileştirme sezgiseline veri olarak aktarılmaktadır. Düzgünleştirme sürecinin temelinde seçilen bir miktar parti büyüklüğünün farklı periyotlar arasında taşınmasıyla olurlu bölgeye sokulması prensibi bulunmaktadır. İyileştirme sezgiseli olarak kullanılan memetik algoritmada ise, bu olurlu bölgedeki çözümü uygunluk, başlangıç popülasyonunun seçimi ve büyüklüğü gibi parametreleri belirleyerek iyileştirme yoluna gitmektedir (Berretta ve Rodrigues, 2004).

Taraması yapılan farklı çözüm stratejilerinin ardından, son inceleme fazı olan uygulama alanı hakkında bilgiler verilmesi gerekmektedir. Çalışma konusu doğrudan bir üretim mevzusu gibi görünse de lojistik alanında da uygulamalara rastlanmaktadır. Çalışılan problemlerin çoğu yaratılmış yapay test problemleri olsa dahi, bazı çalışmalarda gerçek işletme verilerinin kullanıldığından bahsedilmiştir.

Konun oldukça zor olan doğasından ötürü, doğrudan bir fabrika uygulaması yapmak oldukça güçtür. Literatür taraması ağacında da, incelenen her bir temel hedef makalenin hangi alanda verileri içerdiği not edilmiştir.

Parti büyüklüğü problemlerinin analizinde sadece incelenen konunun taranması, ilgili problemlerin diğer konular ile etkileşimlerini göstermek adına eksik bir yan bırakmaktadır. Bu bağlamda, üretim planlama ve kontrol teorisinde parti büyüklüğü planlama konusu ile doğrudan ilişkili olan problem alanlarının tespiti, planlama sürecini anlamayı kolaylaştıracaktır (Gören vd., 2008).

Bu çerçevede, parti büyüklüğü literatürünün ardından, parti büyüklüğünün parti çizelgeleme ve parti bölme kararları ile nasıl bir ilişki içinde olduklarını göstermek, literatür taramasına zenginlik katacaktır. Bu sürecin ardından, yapılan taramadan elde edilen veriler ile yoğunlaştırılması gereken alan konusunda fikir sahibi olunabilir. Mevcut çalışmaları, daha önce analiz edilmemiş alanlara yoğunlaştırmak, çalışmaların özgünlüğünü sağlamak adına ciddi faydalar sağlayacaktır.

Bu bilgilerin ardından, hazırlanan literatür ağacı rahatlıkla analiz edilebilir. Oluşturulan şablon gereği, her bir problem tipinin özelliklerinin ve çözüm tekniklerinin harfler ile kodlanması yoluna gidilmiştir. Bu çerçevede, incelenen yayının yayımlandığı yıl, yazarları hakkında bilginin ardından, incelediği problemin uzantı bilgileri, çözüm yapısı hakkında bilgiler ve uygulama alanının ne olduğu not edilmektedir. Bu sayede, analizler çizelgelerden daha rahat bir biçimde incelenebilmekte ve ağacın boş dalları daha sağlıklı bir biçimde tespit edilebilmektedir.

Çalışmada kullanılan literatür ağaç yapısı, parti büyüklüğü literatüründe hazırlanan diğer çalışmalarda da benzer şekilde korunmuştur. Çizelge 2.1’de Problem yapısı, çözüm tekniği ve uygulama alanı sekmeleri altında çizelgenin okunması için bilgilerin not edildiği görülebilir.

Çizelge 2.1: Uzantı problemlerin gösterim biçimleri

Problem Yapısı		Çözüm Yapısı	
A: İncelenen ürün yapısı		X: Tam çözüm teknikleri	
	A1: Tek seviyeli ürünler		X1: Düzenle ve optimize et algoritması
	A2: Çok seviyeli ürünler		X2: Dal ve Sınır algoritması
B: İncelenen ürün sayısı			X3: Ağ akışı modellemesi
	B1: Tek ürün		X4: Karma tamsayı modeller
	B2: Çok ürün	Y: Sezgisel ve Metasezgisel çözüm teknikleri	
C: Planlama periyodunun yapısı			Y1: Benzetim Tavlaması
	C1: Tek planlama periyot		Y2: Genetik Algoritmalar
	C2: Çoklu planlama periyodu (Dinamik planlama periyodu)		Y3: Tabu Arama
	C3: Hareketli planlama periyodu		Y4: Memetik Algoritmalar
D: Kapasite kısıtı bilgileri			Y5: Lagrange Gevşetmesi
	D1: Kapasite kısıtlı		Y6: Karınca Kolonileri Tekniği
	D2: Sınırsız kapasite		Y7: Parçacık Sürü Optimizasyonu
E: Makine/Tezgah ayar sistemleri			Y8: Yerel Arama Teknikleri ve diğerleri
	E1: Dönem başına ayar	Z: Melez teknikler	
	E2: Ayar erteleme/öteleme		
	E3: Sıra Bağımlı ayar	Uygulama Alanı	
	E4: Ayarsız planlama	Lojistik	
F: Fazla mesai kullanımı		Üretim	
	F1: Sınırsız fazla mesai kullanımı		
	F2: Kısıtlı fazla mesai kullanımı		
	F3: Fazla mesaiye izin verilmediği durumlar		
G: Elde bulundurmama maliyeti kavramı			
	G1: Ürün için elde bulundurmama maliyeti olduğu durum		
	G2: Zaman parametrelili elde bulundurmama maliyeti durumu		
	G3: Elde bulundurmamaya izin verilmediği durum		
H: Üretim ve tedarik teslim zamanları			
	H1: Üretim çevrim zamanı		
	H2: Tedarikçi teslim zamanı		
	H3: Teslim zamanlarının gözardı edildiği		
I: Zaman pencereleri			
	I1: Talep zaman pencereleri kısıtı		
	I2: Üretim zaman pencereleri kısıtı		
	I3: Planlama periyodunun zaman pencereleri kısıtı		
	I4: Zaman pencerelerinin bulunmaması		

Parti büyüklüğü planlama sürecinde incelenen çalışmaların kullandığı yöntem, uzanti problemler ve uygulama alanlarının ayrıntılı bir biçimde yer aldığı çizelge Ek A'da verilmiştir.

Daha önceden de bahsedildiği üzere, literatür taramasının ilerleyen kısımlarında parti büyüklüğü probleminin diğer problemler ile etkileşiminden bahsedilecektir. Bu etkileşim analizinde, ilgilenecek olan konu planlanan parti büyüklüklerinin çizelgelenmesi problemidir. İlgili çakışma alanı ile ilgili oldukça fazla yayın bulunmamaktadır. 2010 yılında Portekiz'de düzenlenen EURO(European Operational Research Societies) konferansındaki özel oturum, konu hakkında farkındalık yaratmak adına önem taşımaktadır. Uluslararası Üretim Araştırması Dergisi tarafından 2011 Mayıs ayında yayınlanan editör notunda, konunun giderek artan öneminden bahsedilmiş ve araştırma çalışmalarının yönlendirilmesi gereken bir alan olarak konuya dikkat çekilmiştir. İlgili konuda yapılan araştırmalar üretim sistemlerinin gerçek verilerini de içerdikleri için, uygulanması daha yararlı olan teknikler olarak not edilmiştir. EURO 2010 özel oturumunda yapılan çalışmaların notlarının aktarıldığı bilgi notunda, bu karmaşık problemin modellenmesinde dekompozisyon kurallarının ve Lagrange gevşetmesinin öncül çözümler olarak kullanılabilineceği not edilmiştir (Editörler, 2011).

Konu hakkında Transchel ve diğerleri tarafından hazırlanan çalışmada, problemin karmaşık doğasından dolayı, sadece iki aşaması olan ürün ağacı dikkate alınmıştır. Gerçek hayat uygulaması içeren bu çalışma, sürekli akış tipi bir üretim sisteminde gerçekleştirildiği için, belirtilen ürün tipinin geçerliliği hakkında herhangi bir problem bulunmamaktadır. Çalışmanın başlangıcında, sunulan problem için hazırlanan matematiksel model dekompozisyon tekniği ile ayrıştırılmış, bunun ardından yeniden formülasyon tekniği yardımıyla hazırlanan sezgisel algoritma ile birlikte en yakın çözüme kavuşturulmuştur. İlerleyen çalışmalarda ise, modele farklı geçerli eşitsizlikler yerleştirildiğinde problem karakteristiğinin araştırılacağı not edilmiştir (Transchel vd., 2011).

Konu hakkında yapılan bir diğer çalışma, yine çok yakın bir zaman diliminde gerçekleştirilmiştir. Gonçaves ve Sousa tarafından, 2011 yılında gerçekleştirilen çalışmada, parti büyüklüklerinin tek bir tezgah ortamında planlandığı varsayımı yapılmıştır. Bu varsayım altında, üretilen partilerin çizelgelenmesi, karma tamsayılı lineer olmayan bir modelin kurulmasının ardından, rassal-anahtar-bazlı genetik

algoritmalar kullanılarak optimum çözüme yaklaştırılmıştır. Çalışmanın orijinal yanlarından biri hazırlanan modelin başlangıç durumu için, yüksüz bir sistem kabulü yapmamasıdır (Gonçalves ve Sousa, 2011).

Parti büyüklüğü planlama problemlerinin bir diğer uzantısı olan parti bölme problemleri mevcut tek makine ve akış tipi problemlerde araştırma alanı olarak dikkat çekmektedir (Sarin ve Jaiprakash, 2007). Parti büyüklüğü problemlerinde, tek makinede işlenecek parti terimi, farklı tip ürünleri de içeriyor olsa da, o tezgahta işlenecek tüm ürünleri kapsamaktadır. Bu çerçevede, işlenen ürünlerin, ürün tiplerine veya farklı parametrelere göre, öncül veya ardıl periyotlara veya varsa tezgahlara kaydırılması parti büyüklüğü ile birlikte değerlendirilen bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Konu hakkındaki literatür çok büyük ölçüde, çizelgeleme teorisine ait olsa da, konu hakkında yapılan bir çalışma mevcuttur. Ouenniche ve Boctor tarafından 2001 yılında yayınlanan çalışmada kabulde, tezgahlar için çevrim zamanı temel inceleme periyot zamanının bir tamsayı katıdır. Bu sayede, çok seviyeli ürünlerin üretiminde, her bir çevrim K adet alt çevrime ayrılabilir ve her bir alt çevrim için parti öteleme kararları periyot uzunluğu belli olduğu için deterministik bir şekilde gerçekleştirilebilir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, problem tipinin farklılaşması büyük problemlerde çözüm zamanının artmasına yol açmaktadır (Ouenniche ve Boctor, 2001).

Şimdiye kadar sunulan parti büyüklüğü literatüründe, problemin NP-zor yapısına sürekli bir biçimde vurgu yapılmıştır. Bunun yanı sıra, çalışmaların sezgisel ve metasezgisel yaklaşımlarla çözümü sürekli bir şekilde ön planda tutulmuştur. ÇizelgeA.1'den de ayrıntılı bir biçimde görülebileceği üzere, mevcut çalışmaların kısıtlı fazla mesai kararları ile birlikte değerlendirilmesinde yeterli sayıda yayın bulunmamaktadır. Bunun yanı sıra, bir çok çalışmada not edildiği üzere benzetim tavlama, ilgili problem yapısı için oldukça uygun ve iyi sonuçlar veren bir metasezgiseldir.

Bu çerçevede, parti büyüklüğü ve üretim planlama kontrol teorisinden fazla mesai ve yüklenme zamanlarını da dikkate alarak elde edilebilecek çıkarımlar ile daha zeki hale getirilebilecek bir benzetim tavlama temelli yaklaşıma ihtiyaç vardır. Belirtilen bu yaklaşım, algoritmanın iyileştirme sezgiseli kısmının yapısını aktarmaktadır. Başlangıç çözümünün bulunmasında ise, genellikle yöneylem temelli yaklaşımlar ön plana çıkmaktadır. Diğer taraftan, uygulaması kolay bir başlangıç

Çözümünün problem yapısını nasıl etkileyeceğinin analizi hiçbir çalışmada görölmemektedir. Yani, kolay bir başlangıç çözümü iyi bir sonuç getirir mi, sorusunun cevabı henüz yanıt bulmamıştır.

Bulunan bu açık yanlar dikkate alınarak hazırlanan bu tezin özelliklerine bundan sonraki bölümde, ayrıntılı bir biçimde yer verilecektir.

3. PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ PLANLAMA VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

3.1 Genel Tanımlar

Daha önceki bölümlerde aktarıldığı üzere, kapasite kısıtlı parti büyüklüğü problemi, periyottan periyoda değişen deterministik talebin, sonlu bir planlama periyodu altında, kısıtlı kapasite parametrelerini dikkate alarak hangi periyotlarda ne kadar üretilmesi gerektiğini belirten planlama problemi türüdür.

Tek seviyeli ürünler için parti büyüklüğü planlama problemi ve bu problemin temel formülasyonu birinci bölümde ayrıntıları ile tanımlanmıştır. Bu çalışmada çözüm sunulan problem tipi, tek seviyeli kapasite kısıtlı parti büyüklüğü probleminin iki bakış açısında genişletilmiş uzantı problemi olarak değerlendirilebilir. Buna göre sunulan model;

- (i) Kaynak kısıtı sayısı olarak, k parametresinin iki değerini aldığını kabul eder. Yani, planlama sistemi, kapasite kaynağı olarak normal mesai süresi ve fazla mesai sürelerinin varlığından yola çıkarak analiz edilmektedir.
- (ii) İncelenen sistem, tek seviyeli ürün yapılarında parti büyüklüğü planlamasını gerçekleştirdiği için genellikle sürekli üretim sistemleri için geçerliliği bulunmaktadır. Bu çerçevede, sürekli üretim sistemlerinde, periyot başına ayar kavramı ortaya atıldığı için tezgah ayarı karar değişkeninin modele dahil edilmesine gerek yoktur (Gaafar vd., 2009), (Haugen vd., 2001). Sunulan bu problem yapısı için belirtilen isimlendirmede, çok ürünlü terimi yerine çok ürün aileli terimi kullanılması daha uygundur. Üretim sistemi açısından, tezgah ayarından kaçınıldığı durumlarda, ürünler yerine ürün ailelerini birlikte işlemek, planlaması gerçekleştirilen üretim sistemine daha etkin bir katkı gerçekleştirecektir (Özdamar ve Bozyel, 2000).

Genelleştirilmiş matematiksel modelin uzantı problem için kurulacak versiyonunda amaç fonksiyonu ve kısıtlar açısından bu bilgiler ışığında farklılıklar oluşturulacaktır. Kurulacak model, fazla mesai yapmak ile envanteri dönem sonunda elde tutmak arasında bir ödünleşme içerdiği için model karmaşıklığı da bir ölçüde artmaktadır.

Bu ödünleşme oldukça mantıklı temellere dayanmaktadır. Çünkü; talebin mevcut üretim kapasitesinden az olduğu periyotlarda, üretilip envantere konulacak ürünler ile, dönemsel olarak yoğun periyotlarda fazla mesai yaparak talebi karşılamak arasında birim maliyet açısından bir eşitsizlik bulunmaktadır. Diğer taraftan, elde bulundurma maliyeti genellikle ürün başına tanımlanan bir parametre olmasına karşın, fazla mesai maliyeti ise, birim zaman başına belirlenen değişken bir maliyet kalemidir (Özdamar ve Birbil, 1998). İncelenen dönemler boyunca sunulan mevcut kapasite değerleri oldukça sıkı kısıtlar ise, fazla mesai yapmanın kaçınılmaz olması koşulu ortaya çıkmaktadır.

Literatür taraması kısmında bahsedildiği üzere, fazla mesai uzantısının da farklı çeşitleri bulunmaktadır. Çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan, fazla mesainin de belirli bir kapasite yaratabildiği üst limitinin olduğu problem tipleridir. Yani her dönem boyunca yapılabilinecek maksimum fazla mesai'nin bir de bir kısıt değeri bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, fazla mesai maliyeti birim değişken zaman bileşenine bağlı olan bir parametredir.

Problem hakkında orijinal çalışmalar incelendiğinde, 1992 yılında benzer bir problem için Lagrange gevşetmesi temelli bir yaklaşım geliştirildiği görülmektedir. Bu yaklaşımda, ürün ailelerinin işleme zamanlarının birbirlerinden ve dönemsel olarak farklılık göstermediği kabulü yapılmıştır. Bu modelin sonuçlarına göre, ayar sürelerinin değişken olarak tanımlanması algoritma sayısal performansını olumsuz yönde etkilemektedir (Diaby vd., 1992).

Bu bilgiler ışığında, matematiksel model olarak hazırlanabilinecek problem formülasyonun amaç fonksiyonun ve kısıtlarının tespit edilmesi gerekmektedir. Daha önceki çalışmalarda, problemin amaç fonksiyonu farklı maliyet kalemlerinin toplamının minimizasyonu olarak kurulmuştur. Sunulan problem boyutu kapsamında, toplam üretim maliyeti, elde bulundurma maliyeti, fazla mesainin ve normal mesainin maliyetleri toplamı her bir dönem için toplam maliyet fonksiyonu olarak yazılabilir. Kurulan maliyet fonksiyonu hazırlanan algoritmada her adımda

kontrol edilecek ve her bir iterasyonda atılan adımın maliyet fonksiyonuna katkısı göz önüne alınarak adımın kabulüne veya reddine karar verilecektir.

Keskin kısıtlar olarak karşımıza çıkan envanter dengesi ve kaynak kısıtları uzantı problemin modelinde de yerlerini korumaktadır. Fakat; bu modelde kaynak kısıtı olarak normal mesai ve fazla mesai zamanları değerlendirmeye alındığı için, model parametrelerinde değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede hazırlanan model:

$$z = \text{Min } \sum_{\forall t} \sum_{\forall i} (c_{i,t} X_{i,t} + h_{i,t} I_{i,t} + oc_t C_t + ov_t O_t) \quad (3.1)$$

$$s. t. I_{i,t-1} + X_{i,t} - I_{i,t} = D_{i,t} \quad \forall i, \forall t \quad (3.2)$$

$$\sum_{\forall i} cp_i X_{i,t} \leq C_t + O_t \quad \forall t \quad (3.3)$$

$$C_t \leq \text{Max} C_t \quad \forall t \quad (3.4)$$

$$O_t \leq \text{Max} O_t \quad \forall t \quad (3.5)$$

$$X_{i,t} \geq 0, I_{i,t} \geq 0, O_t \geq 0, C_t \geq 0 \quad \forall i, t$$

Karar değişkenleri;

$X_{i,t}$ = i ürününden t döneminde üretilecek parti büyüklüğü

$I_{i,t}$ = i ürününden t döneminin sonunda elde kalan envanter miktarı

C_t = t periyodunda kullanılan normal mesai miktarı

O_t = t periyodu boyunca kullanılan fazla mesai miktarı

Parametreler;

$c_{i,t}$ = i ürününün t döneminde birim değişken üretim maliyeti

$h_{i,t}$ = i ürünün t dönemi sonunda birim elde tutma maliyeti

oc_t = t dönemi için birim normal mesai maliyeti

ov_t = t dönemi için birim fazla mesai maliyeti

$D_{i,t}$ = i ürünü için t dönemindeki bağımsız talep

$\text{Max} C_t$ = t dönemi için kullanılabilinecek maksimum mesai miktarı

$\text{Max} O_t$ = t dönemi için kullanılabilinecek maksimum fazla mesai miktarı

$cp_{i,t}$ = i ürünün t döneminde birim işleme zamanı

Hazırlanan modelde (3.1) denklemi ile temsil edilen amaç fonksiyonunda not edilmesi gereken önemli bir nokta toplam normal mesai ve fazla mesai maliyetlerinin ürün indisinden bağımsız olduğu olgusudur. Amaç fonksiyonun tüm ürünleri ve tüm periyotları kapsayacak şekilde oluşturulduğunun not edilmesi gerekmektedir. Kısıt (3.2)'de envanter denge kısıtı verilirken kısıt (3.3), toplam kullanılan kapasite

değerlerini göstermektedir. Model mantığı gereği, normal mesai'nin maksimum değeri aşıldığı takdirde, (3.4) ve (3.5)'inci kısıtlar yardımıyla fazla mesai değerleri gerekli seviyeyi almaktadır. Kısıt (3.3)'e göre kullanılabilinecek maksimum kapasite normal ve fazla mesai'nin toplamının izin verdiği ölçüdedir. Amaç fonksiyonu katsayıları bakımından fazla mesai'nin katsayısı normal mesai'ye göre daha büyük olduğu için optimizasyon stratejisi O_t değerinin büyümesine izin vermeyecektir.

Hazırlanan problem yapısı için karmaşıklık teorisine göre yapılan analiz çalışmalarında problemin 0-1 sırt çantası probleminin özel bir hali olduğu için NP-zor kategorisine alınması gerekmektedir (Pochet ve Wolsey, 2005).

Bu çerçevede, sunulan uzantı problem için algoritmik bir çözüm önerilmesi kaçınılmaz bir zorunluluk halini almaktadır. Bu çerçevede hazırlanan iki aşamalı sezgisel çözümün adımları bir sonraki bölümde ayrıntılı bir biçimde aktarılacaktır. Bu kısımda ise, ilgili algoritmanın daha zeki hale getirilmesi ve çözüm yaklaşımlarının yapısının daha olurlu bir biçimde anlaşılması için bazı matematiksel çıkarımlar sunulmuştur.

3.2 Problem Çözümü için Baskın Küme Tanımları

Problemin çözüm yaklaşımında başlangıç sezgiseli olarak olurlu veya olurlu olamayan bir çözüm üreten, uygulaması kolay bir algoritmanın kullanılacağı önceki bölümlerde not edilmiştir. Üretilen başlangıç probleminin özelliklerine göre, iyileştirme sezgiselinde, her bir iterasyonda bir ürünün bir miktarlık parti büyüklüğünün bir periyottan diğerine aktarıldığı bir komşuluk yapısı kullanımı planlanmaktadır. Diğer bir deyişle, zeki yöntemlerle seçilen bir parti büyüklüğünün farklı bir periyotta üretilmesinin maliyet fonksiyonu üzerinde yarattığı etki değerlendirilecektir.

Arama algoritmalarında, komşuluk kararlarının zeki yöntemlerle belirlenmesi hem problemin optimum çözüme oldukça yüksek oranda yakınsamasına hem de daha kısa zamanda kümenin bileşenlerini taramasına olanak vermektedir (Süral vd., 2009).

Bu bağlamda, iyileştirme sezgiseli içinde alınması gereken üç önemli karar bulunmaktadır. Bunlar; transferi gerçekleştirilecek ürünün hangisi olması gerektiği, hangi periyotlar arasında bu transferin gerçekleştirileceği ve bu transferin en fazla ne miktarda gerçekleşebileceğinin belirlenmesidir.

Bu kritik kararların tespitinde tüm kümenin aranması yerine oluşturulacak bazı çıkarımlar ile birlikte, global arama daha etkin bir biçimde gerçekleştirilebilir. Bu çerçevede, Baker tarafından 1974 yılında yayınlanan “Sıralama ve Çizelgeleme” kitabında, arama kümelerinin belirtilen kalıplar dahilinde daraltılması için kriterler sunulmuştur. Bu kriterlere göre belirlenen yeni küme içinde arama yapmak, tüm uzayın taranmasından zaman ve bulunan çözüm kalitesi açısından daha etkin bir sonuç vermektedir. Oluşturulan bu daha dar küme, tüm uzayın bir alt kümesi olsa da, uzayın tamamına karşı daha baskın özelliklere sahip oldukları için Baskın Küme olarak adlandırılırlar. Herhangi bir alt kümenin Baskın küme olarak belirlenebilmesi için belirtilen tanımları sağlıyor olması gerekir (Baker, 1974):

Önerme 1.1: Herhangi bir S iterasyonun performansını gösteren $Z = f(c_1, c_2, \dots, c_n)$ gibi bir parametre var olduğu varsayımı altında (bizim problemimizde amaç fonksiyonuna karşılık gelmektedir.), $Z' = f(c'_1, c'_2, \dots, c'_n)$ S iterasyonundan bağımsız bir S' iterasyonun performans parametresi olsun. $c'_j \geq c_j$ özelliğini taşıyan bazı j parametreleri için $Z' \geq Z$ özelliği de sağlanıyor ise, Z' kümesinin Z 'ye baskın olduğu söylenebilir. Bu özelliği sağlayan tüm parametreler kümesine de, sıradan ölçütler adı verilir.

Bu bilgiler ışığında, incelenen herhangi bir iterasyonun bir diğer iterasyona baskınlığının parametrelerin kullanılarak gösterilmesi, karar verme algoritmasını da daha etkin bir hale sokacaktır. Hazırlanan yapısal yaklaşım gereği her bir kritik karar için baskın kümeler ayrı ayrı oluşturulacaktır.

Partilerin birbirlerini takip eden periyotlar arasında aktarılacağı bilgisiyle birlikte hangi periyotlar arasında ve hangi ürün için bu transferin gerçekleşeceğinin belirlenmesi oldukça karmaşık bir problemdir. Literatürde yapılan çalışmaların hepsinde periyotların ve ürünlerin rastgele seçildiği gözlenmiştir. Bu konuda, oluşturulacak daraltılmış bir küme arama algoritmanın hızlanmasına ve optimuma daha hızlı yakınmasına yardımcı olacaktır.

Baskın Küme 1.1: Herhangi bir iterasyonda (S), mevcut periyotlar içinde kapasite kullanımı en yoğun olanının seçildiği varsayımı altında (seç t_2 , öyle ki $C_{t_2} + O_{t_2}$ tüm periyotların en büyüğü olsun) geri yönlü atanan (atama t_2 'den t_1 yönüne doğru yapılıyor, öyle ki $t_1 \leq t_2$ ve $t_2 = t_1 + 1$) parti büyüklükleri için Baskınlık özelliği ancak ve ancak;

$$\forall S \{ \min \{ c_{i,t1} + h_{i,t1} - c_{i,t2} - h_{i,t2} \}, \text{seç } i \} \quad (3.6)$$

$$S \text{ için } i \text{ uygunsuz ise maks } \{ X_{i,t2} * cp_i \}, \text{seç } i, \text{aksi halde rassal } (i) \quad (3.7)$$

özelliğini sağlayan iterasyon için gerçekleşir. (3.6) ve (3.7) denklemleri ile tanımlanan çözüm kümeleri diğer arama alanlarına baskındır.

Bu küme özelliği ile anlatılmak istenilen, toplam kullanılan zaman açısından en yoğun periyottan bir önceki periyoda partinin toplam maliyet fonksiyonunda azalma sağlanarak kaydırılması tekniğidir. Yük bakımından en yoğun periyodun kaynak periyodu seçilmesinin ardından hangi üründen(i) aktarma gerçekleştirileceğinin tespiti, (3.6) önermesinin uygulanması ile geçerlilik kazanacaktır. Seçilen dönemlerde, ürün seçimi yapılırken toplam birim üretim maliyeti ve elde tutma maliyeti toplamının, öncül ve ardıl periyotlar için farklarının minimum olduğu üründe gerçekleştirilerek, toplam amaç fonksiyonunda en büyük değişikliğin yapılması sağlanmaktadır. Bu kurala göre atılan her adım, toplam maliyet fonksiyonunda ilgili parametreler açısından olumlu yönde bir katkıya yol açmaktadır. Bu da baskın küme tanımını doğrudan sağlamaktadır. Bu ürünlerin, transferlerin sadece geri yönlü taşımalarda geçerli olduğunun önemle not edilmesi gerekmektedir.

Diğer taraftan kurulan bu Baskın küme tanımında bazı sınır noktaları bulunmaktadır. (3.7) önermesinde tanımlanan i için uygunluk ifadesi seçilen ürünün atanabileceği miktarının değeri ile ilgilidir. Örneğin; kavramsal olarak seçilen t_2 ve i parametreleri için periyotta başlangıç çözümü parti büyüklüğü sıfır ise, yani o periyotta önceki periyotlara aktarılabilecek herhangi bir üretim miktarı yoksa, aynı periyotlarda daha az baskın fakat etkin bir i seçimi için kural (3.7) uygulanmaktadır. Bu kural ile anlatılmak istenilen, ilgili periyotta en fazla kaynağı kullanan ürünün seçimidir. Bu sayede, bir önceki döneme kaydırılacak üretim miktarıyla varsa bu periyottaki fazla mesai parametrelerinden kurtulunur.

Bu çözümleme de, belirtilen parti büyüklüğü sıfırlama kısıt engeline takılırsa, küme değerleri arasından rastgele seçilen bir i ürününün transfer işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu sayede global aramaya, kötü çözümleri de probleme belirli bir olasılıkla sokarak yardımcı olunur.

Baskın kümeyi kısıtlayan bir diğer olgu, seçilen en yoğun dönemin (t_2), birinci dönem olması durumudur. Bu durumda, parti büyüklüğünün aktarılabileceği herhangi bir ön dönem bulunmadığı için arama algoritmasının farklı bir dönemi

seçmesi gerekmektedir. Bu durumda oluşturulan yaklaşım, baskın kümeye dahil olmadığı için dördüncü bölümde algoritma analizinde anlatılacaktır.

Hangi periyotlar arasında, hangi ürünlerin transferlerinin gerçekleştirileceğinin belirlenmesinin ardından taşınabilecek maksimum miktarların tespiti büyük önem kazanmaktadır. Bu problem için hazırlanan, Baskın küme tanımlarında ise, ürünlerin ileri veya geri yönlü atamalarına göre en fazla ne kadar parti aktarılabileceği konusunda matematiksel ifadeler oluşturulmuştur.

Algoritmanın herhangi bir iterasyonunda alınan karar geri öteleme (parti artırma) olarak ifade ediliyor ise; bu tanımda bir miktarda i ürünün $t+1$ (t_2) periyodundan t (t_1) periyoduna aktarıldığı anlaşılmaktadır. Eğer bir ileri öteleme kavramı not edilmişse (parti azaltma), i ürününden belirlenen bir miktarda t (t_1) periyodundan $t+1$ (t_2)'e aktarıldığı ortaya çıkmaktadır. Bu çerçevede kurulan baskın küme'nin özellikleri başlangıç çözümünün olurlu bölgede olup olmadığına göre değişmek ile birlikte, eğer başlangıç çözümü olurlu bölgede ise sadece amaç fonksiyonunu iyileştirme temelli, değil ise, çözümü olurlu bölgeye sokmak temelli çalıştığı gözlemlenmektedir: (Özdamar ve Barbarosoğlu, 2000);

Baskın küme 1.2:

- (i) Eğer verilen karar bir partiyi geri öteleme (parti artırma) yönünde ise ($t+1$ (t_2) periyodundan t (t_1)'e) ötelenebilecek maksimum miktar, t_2 dönemindeki parti büyüklüğü ile t_1 döneminin tamamı boyunca açıkta bulunan kapasite ile üretilebilecek miktarın minimum değeri kadardır.

$$\Delta_{max} = \max \{0, \min \{X_{i,t_2}, Q_{t_1}\}\} \quad (3.8)$$

Q_{t_1} ile tanımlanan parametre t_1 döneminde, açıkta kalan boş kapasitenin incelenen i ürünün birim işleme zamanına bölümü ile elde edilen bir üretim miktarı değeridir. Diğer bir gösterimle;

$$Q_{t_1} = \beta_{t_1} / cp_i \quad (3.9)$$

Burada, β_{t_1} ile tanımlanan parametre t_1 dönemi boyunca toplam işyükü açığını ifade etmektedir. Eğer bu iki değer açısından, algoritma akışına göre bir negatiflik durumu oluşursa, ötelenebilecek maksimum miktar 0 değerini almalıdır.

- (ii) Eğer verilen karar bir partiyi ileri öteleme (parti azaltma) yönünde ise (t_1) periyodundan $t+1$ (t_2)'e, ötelenebilecek maksimum miktar, ötelemenin sınırları geri ötelemenin değerlerine algoritma gereği doğrudan bağlıdır. Ötelenebilecek maksimum miktar ise, mevcut dönemde elde bulunan dönem sonu envanteri ile gelecek dönemin tamamı boyunca açıkta bulunan kapasitenin hangisi küçük ise o kadardır. Yani, öteleyebileceği miktar ya dönem sonu envanter miktarı ya da bir sonraki dönemin boş kapasitesi kadardır;

$$Delta_max = maks \{0, min\{I_{i,t1}, Q_{t2}\}\} \quad (3.10)$$

Q_{t2} ile tanımlanan parametre t_2 döneminde, açıkta kalan boş kapasitenin incelenen i ürünün birim işleme zamanına bölümü ile elde edilen bir üretim miktarı değeridir. Diğer bir gösterimle;

$$Q_{t2} = \beta_{t2}/cp_i \quad (3.11)$$

Burada, β_{t2} ile tanımlanan parametre t_2 dönemi boyunca toplam işyükü açığını ifade etmektedir. Eğer bu iki değer açısından, algoritma akışına göre bir negatiflik durumu oluşursa, ötelenebilecek maksimum miktar 0 değerini almalıdır.

Baskın küme tanımı ile elde edilen bu iki limit de doğrudan başlangıç çözümünün performansına bağlıdır. Bu performansın özelliklerine göre, algoritmada alınan önlemler ve yapılan modifikasyonlar dördüncü bölümde aktarılacaktır.

İki adet farklı baskın küme tanımlanması ile daha zeki hale getirilen algoritmanın arama yönü, ilerleyen bölümlerde daha ayrıntılı bir biçimde aktarılacaktır. Bu açıklamaların ve problem yapısının gösterdiği esnekliğin kullanılmasından sonra, ilgili problemin çözümünde ne gibi yaklaşımlara başvurulduğu ve bu yaklaşımların ne gibi özelliklerinin bulunduğu bahsedilmesi gerekmektedir. Bu kısmın ardından, çalışma kapsamında kullanılan en temel parti büyüklüğü yöntemlerine ve algoritmada kullanılan metasezgisel yaklaşıma ilişkin özelliklerin tanımlanmasına başlanılacaktır. Bu sayede tüm parametreleri ile hazırlanan probleme ilişkin sunulan çözümün özellikleri ve kullanılan yöntemlerin yaklaşımları anlaşılabilir ve algoritmanın daha kolaylıkla okunması sağlanabilir.

3.3 Algoritmalar Teorisi

Çalışılan problemlerin zorluk derecesi artıkça, ilgili problemlerin çözümünde kullanılan algoritmaların yapısı oldukça karmaşık bir hal almaktadır. Bu karmaşıklık, sadece tasarlanan algoritma adımlarının anlatımını değil, bunun yanı sıra algoritmanın ne tip bir amaçla kurulduğunun yansıtılmasını da zorlaştırmaktadır. Problemlerin çözümünde öncelikle yapılması gereken, tüm parametrelerin ve amaçların olabildiğince açık bir biçimde ortaya konulmasıdır.

Bu sayede, kodlanacak algoritmanın özellikleri ve gereklilikleri daha belirgin bir şekilde hazırlanabilir. Küçük çözüm kümelerinin tarandığı algoritma yapılarında, örtülü deneme yanılma yöntemleri optimum çözümlerin bulunması açısından başarılı olabilir. Fakat; problem boyutunun ve çözüm uzayının genişlediği durumlarda, deneme yöntemlerinin performans açısından oldukça kötü sonuçlar verdiği bilinmektedir (Aho vd., 1974).

Bu bağlamda, bu zor problemlerin çözüm yaklaşımında oluşturulacak algoritmalar belirli özelliklerine göre sınıflandırılmışlardır. Bu sınıflandırma, Moret ve Shapiro tarafından, 1991 yılında “Algorithms from P to NP” isimli kitapta açıklanmıştır. Bu gruplandırma yapısına göre; Graf ve Geometrik algoritmalar, arama ve belirleme algoritmaları, saldırgan (Greedy) algoritmalar, iteratif algoritmalar, böl-ve-ele geçir algoritmaları kombinatorial problemlerin çözümlerinde en sıklıkla kullanılan yaklaşımlardır (Moret ve Shapiro, 1991). Çalışmada incelenen problem yapısına en uygun algoritma kümeleri, arama algoritmaları ile iteratif algoritmalar olarak belirlenebilir. Çözüm kümesinin durumuna göre, bu küme içinden yapılacak arama faaliyetleri, kodlanacak sezgisel yaklaşım ile gerçekleştirilmiş olacaktır.

Teoride kombinatorial problemler için kurulan algoritmaların yapısı iki temel aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar, başlangıç çözümünün elde edildiği birinci bölüm ve bu başlangıç çözümünden yola çıkılarak kurulan bir iyileştirme algoritması şeklindedir. Başlangıç çözümü ile bahsedilmek istenilen, incelenen problem için olur veya olurlu olmayan bölgede bir çözüm bulunması yaklaşımıdır. Bu yaklaşım tamamıyla, ilgili problem hakkında çalışan karar vericilerin oluşturduğu bir özelliktir. Başlangıç çözümünün elde edildiği algoritmalar Moret ve Shapiro gruplamasındaki algoritma çeşitlerinden herhangi biri olabilir, fakat burada önemli olan bu algoritmanın iyileştirmeye açık bir yönünün bulunması gerekliliğidir.

Başlangıç çözümünün elde edildiği yapısal algoritma için literatürde bazı metasezgisel algoritmaların da kullanıldığı görülmektedir. Bu algoritmaların kullanımının gerekleri de bir sonraki kısımda metasezgisel algoritmalar teorisi başlığı altında değerlendirilecektir. Başlangıç çözümünden elde edilen sonuç ile iyileştirme sezgiseline veri verildiğinde, algoritmalar bu adımları iyileştirmeye çalışırlar. Bu konuda not edilmesi gereken önemli noktalar, problem yapısının başlangıç çözümüne bağımlılığına ilişkin çıkarımlardır (Harel, 1993), (Moret ve Shapiro, 1991), (Özdamar ve Barbarosoğlu, 2000).

Bazı problem yapılarında, optimuma en yakın çözümü arama stratejileri, başlangıç çözümüne doğrudan bağımlı olabilir (Özdamar ve Barbarosoğlu, 2000).

Belirtilen bağımlılık, başlangıç çözümünün performansı ile doğrudan ilişki içerisindedir. Başlangıç çözümünde optimuma yakınlık açısından oldukça iyi bir sonuç elde edildiği durumlarda, iyileştirme algoritması bu iyi sonucu daha iyi yerlere taşıyamayabilir. Benzer şekilde, başlangıç çözümünün çok kötü olduğu algoritma tasarımlarında, iyileştirme algoritması bu kötü çözümünden optimuma oldukça yakın çözümler türetebilir. Bu sebepten bu bağımlılık, doğrudan incelenen problemin karakteristiği ve tasarlanan algoritmaların özelliği ile ilişki içerisindedir. Bazı problem tipleri, optimuma yaklaşma konusunda başlangıç çözümüne bağımlı iken bazı problem tiplerinde ise, kötü çözüm ile iyileştirme sezgiseline bir avantaj yaratabilir (van Laarhoven ve Aarts, 1989).

Bu çerçevede, kurulan algoritmanın başlangıç çözüme bağımlılığı da algoritmanın sayısal testleri bölümünde ayrıntılı bir biçimde analiz edilecektir.

Kurulan algoritmaların yapısal özellikleri hakkında ayrıntılı bilgilerin ardından, bu yapıların nasıl test edileceklerinin de net bir biçimde ortaya konulması gerekmektedir. Kurulan bir algoritmanın performansı, iki temel faktör açısından incelenmektedir. Bunlar; algoritmadan elde edilen sonuçların kalitesi ve algoritmanın bu sonuçları elde ederken kullandığı işlemci saniye zamanıdır (van Laarhoven ve Aarts, 1989).

Sonuçları kalitesi ifadesinden kasıt, elde edilen sonuçların optimuma yakınlığı ve diğer benzer algoritmalar ile performans karşılaştırma sonuçlarıdır. Optimuma yakınlık karşılaştırması sadece, küçük, polinom zaman içinde çözülebilen test

problemleri için geçerli olurken, benzer konudaki farklı algoritmalar ile karşılaştırma fikri daha büyük boyutlu test problemleri için de uygulanabilir.

Algoritmanın işlemci zamanı kullanımı ifadesi ise, büyük test problemi yapıları için, ne kadar zamanda durdurma kriterine ulaştığının bir fonksiyonudur. Eğer algoritma çok çabuk bir biçimde, optimuma oldukça yakın çözümlere ulaşabiliyorsa, tasarlanan bu yapı için başarılı ifadesi kullanılabilir.

Bu çerçevede, kurulan algoritmanın performans değerlendirmesi süreçleri de algoritmanın sayısal testleri bölümünde ayrıntılı bir biçimde analiz edilecektir. Bu analizlerin de ardından, çözüm tekniğinde kullanılan yöntemlerin ayrıntılı bir biçimde incelenmesi gerekmektedir.

3.4 Sezgisel Algoritmalar Teorisi

Geçmiş deneyimlerden ve yargılardan elde edilen bakış açılarına göre, problemlere daha tutarlı çözüm yaklaşımları geliştirmeyi sağlayan fakat, bu çözümlerde hiçbir şekilde optimumu bulma garantisi vermeyen algoritmalar kümesine sezgisel algoritma adı verilir. (Silver, 2004).

Sezgisel algoritmalar oldukça karmaşık problem tipleri için, çok geniş bir uygulama alanına sahiptirler. Bu geniş uygulama alanlarına sahip olmalarının oldukça farklı sebepleri mevcuttur. Bu sebeplerin, çözüm yapılarının anlaşılması adına listelenmesi gerekmektedir (Silver, 2004);

1. Uygulama kolaylığı; Problem hakkında karar vericilerin hiçbir biçimde anlamadıkları bir matematiksel modeli çözmelerini beklemek oldukça zordur. Diğer taraftan, karar vericilerin anlayabileceği parametreleri kullanarak çözüm üretmeye çalışan sezgisel yaklaşımlar bu süreçleri uygulayanlara kullanım kolaylığı sağlamaktadırlar.
2. Mevcut durumdan iyileştirme göstermesi; Sezgisel yaklaşımların doğasında bulunan sürekli bir adım ileri atma olgusu, problem çözümünün iyileştirilmesi temelli çalıştığı için pozitif bir taraf olarak karşımıza çıkmaktadır.

3. Hızlı yanıt; Uygulamaların gerçekleştirilebilmesi adına, optimum çözümü uzun zamanda elde etmek yerine yaklaşık optimum çözüm kısa zamanda elde edilebilir.
4. Gürbüzlüğü; Sezgisel yaklaşımlar, problemin karakteristiğindeki ve veri setindeki dalgalanmalardan diğer çözümlere göre daha az oranda etkilenmektedirler.
5. Optimizasyon süreçlerinde kullanıma; Sezgisel yaklaşımlar, optimizasyon adımlarında sıklıkla başvurulan yöntemler arasındadır. Kullanımları; başlangıç çözümünün elde edilmesinde, kısmi deneme yanılma yöntemlerinde çözüm kümelerinin daraltılmasında ve çözümün tüm yönleriyle arama yapılarında optimizasyon süreçlerinde doğrudan kullanılmaktadır.

Bu çerçevede algoritmalar teorisi bölümde anlatıldığı biçimde, sezgisellerin çeşitlerinin ve kullanım alanlarının ayrıntılandırılması gerekmektedir. Sezgisel yaklaşımlar, algoritma çeşitlerinden farklı bir biçimde belirgin bir problemin çözümünde bazı öğrenilmiş yapıların kullanılması özelliklerinin içermektedir. Bu konuda not edilmesi gereken önemli bir nokta; oluşturulan sınıflar birbirleri ile ayrık kümelerdir. Bu çerçevede yedi farklı sezgisel algoritma çeşidi literatürde önerilmiştir (Silver, 2004);

- Rassal bir biçimde üretilen sonuçlar
- Problemin parçalanması, alt problemlere ayrılması
- İndirgeme esaslı teknikler
- Çözüm kümesini daraltma esasına dayanan yaklaşımlar
- Kestirim esasına dayanan algoritmalar
- Yapıcı başlangıç çözümleri
- Yerel iyileştirme (komşuluk arama algoritmaları)

Çözölmeye çalışılan problemin belirli özelliklerine göre, çözümde kullanılacak algoritma gruplarının şekillendirilmesi gerekmektedir. Bu kararın verilebilmesi için; karar verilecek problemin stratejik/operasyonel/taktik seviye bir karar olduğunun belirlenmesi, kararın alınma sıklığının belirlenmesi, gerekli geliştirme zamanının

tespiti ve karar vericinin konu hakkında bilgi düzeyi, problem çözüm uzayının büyüklüğünün bilinmesi gerekmektedir.

Rassal bir biçimde üretilen sonuçlar, çözüm stratejisi olarak kullanıldıklarında tek başlarına oldukça kötü sonuçlar vermektedirler. Diğer taraftan, bu yaklaşımın bazı metasezgisel yaklaşımlar ile birlikte kullanılması halinde, algoritma performanslarında ciddi artış gözlenmektedir (Baum ve Carlson, 1979).

Problemin parçalanması ve alt problemlere ayrılması, kendi içinde bir akışı olan karmaşık problemlere uygulanabilecek bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda, parçalama yapısının nasıl olması gerektiği sıklıkla optimize edilmeye çalışılan bir konudur. Bu parçalama, karar hiyerarşisine göre, kullanılan kaynak kısıtlarının yapısına göre veya kararların alınış sırasına göre gerçekleştirilir. Oluşturulan alt problemlerin karmaşıklığı ana probleme göre daha düşük olduğu için çözüm stratejileri belirli bir tutarlılık göstermektedir (Silver, 2004).

İndirgeme esaslı tekniklerde, iki temel bakış açısı mevcuttur. Bunlar, incelenen problemin daha küçük bir alt problemden genelleştirilerek tekrardan oluşturulması ve oluşturulan bu yeni modelin yaratıcı problem çözme yaklaşımları ile çözülmesi stratejileridir (Silver, 2004).

Çözüm kümesini daraltma esasına dayanan sezgisel yaklaşımlarda, çok farklı teknikler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları, doğrudan olurlu bölge dışındaki çözümlerin dışlanması öngörmektedir. Diğer bazı çalışmalarda, kullanılan yapay sinir ağları uygulamaları da bu başlık altında değerlendirilmektedir (Silver, 2004).

Kestirim esasına dayanan yapılarda ise, problemin tam formülasyonu yerine benzer daha kolay yapısı matematiksel ve geometrik açıdan formüle edilir. Gerçek problem yapısı ile incelenen arasındaki fark belirli bir seviyeye düşmüş ise, bu manipülasyon kabul edilir ve çözüm olarak sunulur.

Yapıcı başlangıç çözümleri, en sıklıkla başvuru olan sezgisel yöntemlerdendir. Bu yöntemlerde eldeki veriler ile birlikte, çözüm adım adım oluşturulan bir özelliğe sahiptir. Bu yöntemlerde, son adım uygulana kadar herhangi bir çözüm ortaya çıkmamaktadır. Yapıcı çözümlerin bir uzantı yaklaşımı olan saldırgan (Greedy) sezgiseller, her bir adımda bir sonraki adımın özelliklerini amaç fonksiyonunda düşüş sağlamak esaslı çalışmaktadır (Silver, 2004).

Yerel iyileştirme (komşuluk arama) sezgisellerinde, temel mantık oldukça basittir. Bir başlangıç çözümü ile belirlenen olurlu bir noktadan, tanımlanan komşuluk özelliklerine göre farklı noktalara gidilmektedir. Fakat; bu gidişin gerçekleşmesi için ancak ve ancak bulunan yeni komşunun başlangıç çözümünden belirlenen performans parametresi açısından iyi değerde olmasıyla gidilebilir. Ne zaman ziyaret edilebilecek başka bir komşu kalmazsa veya iyileştirme yapılabilecek bir adım atılamazsa algoritma durur (Armour ve Buffa, 1963).

Bu konuda dikkat edilecek en önemli noktalardan biri, komşuluk politikalarının nasıl belirlenmesi gerektiği hususudur. Komşuluk tanım olarak, herhangi bir t periyodundan başka bir t' periyoduna geçildiğinde, x gibi parametreye bağımlı bir değerlendirme kümesinde ne gibi değişiklikler olduğudur (Müller-Merbach, 1981). Tez çalışmamız kapsamında bir sonraki bölümde ayrıntılı bir biçimde anlatılmış olsa da, komşuluk tanımı bir miktar partiyi birbirlerini takip eden periyotlar arasında hareket ettirmektedir.

Çözüm yapısının tanımından da anlaşılabilineceği üzere, yerel iyileştirme yaklaşımlarının yerel optimum noktasına takılması çok ciddi bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebepten tasarlanan algoritmalarda sadece yerel arama stratejilerinin modele konulması çoğunlukla herhangi bir yerel optimumda tıkanılması ile sonuçlanmaktadır. Bu çerçevede, tezin kapsamı için yerel arama yapısının aynı sıra, farklı noktalarda aramaya globallik katılması adına bir metasezgisel yaklaşım kullanılmıştır.

Sezgisel algoritmalar ile birlikte sıklıkla kullanılan metasezgisel algoritmalar, değişik açılardan benzerlikler gösterse de, aralarında arama yapma stratejisi açısından çok ciddi farklılıklar bulunmaktadır.

3.5 Metasezgisel Algoritmalar Teorisi

Tanım olarak metasezgiseller birçok kaynakta farklı biçimlerde yansıtılmıştır. Temel olarak metasezgisel, alt sekmede çalışan sezgisellere yön veren ve onları şekillendiren ve yüksek kaliteli çözümler halini almalarını sağlayan uzman, zeki, iteratif algoritmalar (Osman, 2002). Bu süreçte metasezgiseller, doğadan ve işleyen süreçlerden öğrendikleri çıkarımlara göre daha zeki bağlantılar kurabilmekte ve yapısal bilginin oluşumunu olumlu yönde sağlayabilmektedirler (Moon vd.,2002).

Metasezgisel yaklaşımlar çok stratejik bir biçimde hiçbir surette yerel optimuma takılmamayı ve gürbüz bir çözüm bulmayı hedeflemektedir (Glover ve Kochenberger, 2003). Son yıllarda, artan bir oranda kombinatoryal özelliklere sahip problemler için sıklıkla kullanılan metasezgisel yaklaşımlar, optimum çözüme yaklaşma hedefinde fakat bunu sağlama tutarlılığında değildirler.

Her bir metasezgisel yaklaşım ayarlamalarının yapılandırılması için en az bir parametreye sahiptir. Bu sayede, parametrelerde yapılan kalibrasyon işlemleri ile birlikte ilgili karmaşık problemin daha yakın çözümleri elde edilmiş olur. Bu özelliklerinin yanı sıra, metasezgisel yaklaşımların paralel çalıştırılabilme özellikleri bulunmaktadır. Paralel çalıştırılma ile kastedilen, aynı anda başlatılan iki algoritma performansının işlemci zamanı etkilemeden ortak arama yapabilme kabiliyetidir.

Her ne kadar metasezgisel algoritmalar, optimum çözüm bulma garantisi vermeseler de, yapılan literatür taramalarından elde edilen bilgilere göre, gerçek anlamda büyük problemler için tam sonuç veren algoritmalar kadar iyi performans göstermektedirler. Bu bağlamda, gerçek hayat uygulamalarında karşılaşılan problemlerin çözümlerinde kullanılabilinecek kısıtlı zaman ilkesi, bu yaklaşımların popülerliğini artırmaktadır.

Bu çerçevede, Blum ve Roli tarafından sunulan metasezgisel algoritmaların özellikleri şu şekilde listelenebilir (Blum ve Roli, 2003);

- Metasezgisel algoritmalar arama süreçlerine yol gösteren tekniklerdir. Asıl arama yapısı, sezgisel bir algoritma ile kurgulanır.
- Metasezgisellerin tasarlanması sürecinde temel amaç, çözüm uzayının en etkin ve hızlı biçimde taranmasının sağlanmasıdır.
- Metasezgisel yaklaşımları oluşturan teknikler, çok basit yapılardan oldukça karmaşık yapılara kadar çok geniş bir yelpazede yayılmaktadır.
- Metasezgisel algoritmalar yaklaşım esaslıdır ve genellikle deterministik olmayan değerlendirme stratejileri içerirler.
- Metasezgiseller problem özel değildirler. Her probleme uygulanabilen yapıları mevcuttur.
- Metasezgisel yaklaşımların her biri yerel optimuma katılmamak adına farklı bir arama, kurtuluş stratejisi geliştirmiştir.

- Günümüzde kullanılan en gelişmiş metasezgisel algoritmalar, tarama tarihçesine göre iç öğrenme süreçlerini gerçekleştirip, algoritma içi zekiliği artırabilirler.
- Metasezgisellerin en önemli özelliği, çözüm çeşitlendirmesi ve çözüme yoğunlaşma arasında dinamik bir bağlantı kurmalarıdır.

3.5.1 Metasezgisel Algoritmaların Sınıflandırılması

Günümüzde global arama yaklaşımlarından esinlenen oldukça fazla sayıda metasezgisel algoritma bulunmaktadır. Bu yaklaşımların gruplandırılması hususu da, bu bağlamda oldukça fazla önem kazanmaktadır.

Literatür ayrıntılı bir biçimde incelendiğinde, metasezgisel algoritmaların sınıflandırılması için birden fazla teknik kullanıldığı gözlemlenmektedir. Bu tekniklerin her biri sınıflandırmaya farklı bakış açılarından bakmakta ve algoritma karakterlerini dikkate almaktadır;

Doğadan esinlenme kriterine göre gruplama, farklı gruplama tiplerine göre en sezgisel özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bazı metasezgiseller doğadaki bazı sistemlerin özelliklerini kullanarak optimizasyon problemlerinin çözümlerine yaklaşmaktadır. Doğa esinlenmesine sahip bazı metasezgiseller; Genetik Algoritmalar, Karınca Kolonileri Optimizasyonu, Kuş Sürüsü Algoritmaları, Benzetim Tavlaması gibi tekniklerdir. Diğer algoritmalar ise, bu esinlenmeye sahip değildirler. Fakat, çoğu çalışmaya göre bu sınıflandırma belirli bir anlam ifade etmemektedir (Osman ve Laporte, 1996).

Popülasyon yapısına göre sınıflandırma yönteminde ise, aynı anda değerlendirilen sonuç sayısının durumları yansıtılmaktadır. Bu karada, algoritma popülasyon esasına göre mi yoksa her seferinde tek nokta arama esasına göre mi çalıştığı belirtilmektedir. Tüm komşuluk arama özelliğine sahip metasezgiseller tek nokta arama grubuna girerken, tabu arama ve değişken komşuluk arama gibi teknikler popülasyon esasına göre çalışırlar (Blum ve Roli, 2003).

Amaç fonksiyonunun ve arama kümesinin özelliklerine göre yapılan sınıflandırmada, bazı algoritmaların statik bazılarının ise dinamik özellikler gösterdiği gözlemlenmektedir. Arama boyunca çoğu algoritma içinde, amaç fonksiyonu ve arama kümesi sabit bir şekilde tutulurken, yönlü yerel arama

metasezgiselinde, amaç fonksiyonunun yapısı sürekli değiştirilmekte ve arama kümesi farklı özellikleri ile taranmaktadır (Blum ve Roli, 2003).

Hafıza kullanımı tekniklerine göre yapılan sınıflandırmada, algoritma çalıştırıldığında elde edilen arama tarihçesine göre, yapının değişip değişmediği sorgulanmaktadır. Hafızasız olarak nitelendirilebilecek algoritmalar, Markov karar zincirlerinin esasına göre sürekli bir sonraki adımı bir önceki adımı unutarak atmaktadır. Hafıza kullanımının bulunduğu algoritmalarda da, bu kullanımın stratejisi hakkında farklılıklar bulunmaktadır. Bazıları kısa dönemli hafıza kullanımı geliştirirken, bazı algoritmalarda uzun dönemli hatırlama faaliyetleri uygulanmaktadır. En sıklıkla kullanılan hafıza temelli metasezgiseller Tabu Arama, Genetik Algoritmalar, Karınca Kolonileri Optimizasyonu teknikleridir. Hafızasız tekniklerin başında ise, tez çalışması kapsamında da kullanılan benzetim tavlama bulunmaktadır. (Bahcelet ve Talbi, 2000).

3.5.2 Metasezgisel Algoritmaların Çeşitleri

Hertz ve Widmer tarafından 2003 yılında sunulan listeye göre sıklıkla kullanılan metasezgisel algoritmalar hakkında kısa bilgiler verilmesi gerekmektedir. Ardından kullanılan algoritma özelinde ayrıntılı bilgilendirme yapılacaktır. Bu analiz çalışılan algoritmanın yapısına yoğunlaşılması ile tamamlanılacaktır. Bu çerçevede öncelikle tek nokta değerlendirmesi içeren algoritmaların özelliklerinden bahsedilecektir;

i. Temel yerel arama (İteratif iyileştirme); Bu arama tekniğinde, bir adımın atılabilmesi için elde edilen adımın önceki iterasyonun çözümünden daha iyi olması beklenmektedir.

Algoritma yerel optimumu bulduğu anda durdurma kriterine ulaşmaktadır. Tasarlanan algoritmada iyileştirme fonksiyonu “ilk iyileştirme”, “en iyi iyileştirme” veya “özellikli bir iyileştirme” olarak tanımlanabilir. Bu sebepten tasarlanan algoritmanın performansı doğrudan, başlangıç kümesine, iyileştirmeyi kabul kriterine ve iterasyon sayısına bağlıdır. Bu bağlamda yerel optimuma takılmama adına, farklı özellikleri dikkate alan bir benzer algoritma geliştirilmiştir (Blum ve Roli, 2003). Bu algoritmalar için pseudo kod yapısı ise Çizelge 3.1’de gösterilmiştir;

Çizelge 3.1 : Yerel Arama Algoritması pseudo kodu.

$s \leftarrow \text{başlangıççözümü}(\text{algoritması}())$
tekrarla
 $s \leftarrow \text{iyileştir}(N(s))$
süzdür daha iyi çözüm bulunamayana kadar

İlgili kod yapısında $N(s)$ ile ifade edilen fonksiyon, komşuluk yapılarının özelliklerini belirlerken, s tasarlanan çözüm uzayını belirtmektedir.

ii. Tavlama Benzetimi; Bu arama tekniği, şimdiye kadar literatürde kullanılan en eski yaklaşım olarak dikkat çekmektedir. Yerel aramadan farklı olarak, lokal optimuma takılmamak için bir strateji geliştirmiştir. Bu stratejinin geliştirilmesinde metallerin tavlama sürecinde aldıkları fazlardan esinlenilmiş ve bu, algoritma stratejisine yansıtılmıştır. İlgili metasezgisel tez çalışmasının temel yapısında kullanıldığı için bir sonraki kısımda ayrıntılı bir biçimde analiz edilecektir.

iii. Tabu Arama; Günümüzde kullanımı en sık gözlenen metasezgisel olarak not edilen tabu aramanın, 2003 yılında yapılan bir çalışmaya göre yetmişden fazla farklı problemde kullanıldığı gözlenmektedir (Silver, 2004).

Tabu kelimesinin de ifade ettiği üzere, yasak adımların tanımlandığı ve bu adımlardan kaçınıldığı algoritma yapısında kısa dönemli hafıza özellikleri kullanılmaktadır. Kısa dönemli hafızasını, yerel minimuma katılmaktan kurtulmak için kullanan algoritma yeni ziyaret edilen çözümleri tabu (yasak) listesinde kısa dönemli hafızaya almakta ve bu liste dahilindeki yasak adımların atılmasına izin vermemektedir. Yani, bu algoritmada tanımlanan komşuluk kavramı, tabu listesine dahil olmayan çözüm uzayından seçilen veri yapılarını aktarmaktadır (Glover ve Laguna, 1997).

Bu çerçevede algoritmanın dinamik yapısı gereği tabu listesi sürekli bir biçimde güncellenmektedir. Bir adımda yasak olan bir iterasyon, diğer bir adımda serbest bırakılabilir. Diğer taraftan, tabu listesinde bulunan tüm çözümlerin tek tek kontrol edilmesi algoritma zamanı açısından oldukça sıkıntılı bir özelliktir. Bu bağlamda listeye sadece, atılacak yasak adımın özelliklerini taşıyan belirteçler yüklenir. Tanımlanan çerçevesiyle algoritmanın pseudo kodu Çizelge 3.2’de gösterilmiştir (Blum ve Roli, 2003):

Çizelge 3.2 : Tabu Arama pseudo kodu.

```
s ← başlangıççözümüalgoritması()
oluştur tabulistesisi( $TL_1, TL_2, \dots, TL_n$ )
k ← 0
tekrarla (durdurma kriteri gerçekleşmediği sürece)
    Aramakümesi(s, k) ← {s kümesi tabu listesinde değil ve s'CN(s, k)}
    s ← seç en iyisini (Aramakümesi(s, k))
    güncelle tabulistesisi
    k ← k + 1
sürdür kriter sağlanana kadar
```

Tanımlanan adımların her biri algoritma içinde, ayrıntıları ile gösterilmiştir. Pseduo kod çerçevesinde tanımlanmasından da anlaşılacağı üzere, komşuluğun karakteri bulunan iterasyon sayısının hangisi olduğunu da bağımlıdır. Yerel arama sınıflandırması altında değerlendirilecek bir diğer teknik değişken komşuluk arama algoritmasıdır.

iv. Değişken Komşuluk Arama; Dinamik bir biçimde komşuluk yapılarının güncellendiği bu metasezgisel yaklaşımda, algoritma yapısı oldukça esnek bir biçimde yüksek serbestlik derecesi ile kurgulanmıştır (Hansen ve Mladenoviç, 1997).

Algoritmanın başlangıcında, belirli bir komşuluk yapısı oluşturulmaktadır. Bu komşuluk yapısı rassal bir biçimde oluşturulmuş bir yapı olabilir. Bu çerçevede, hazırlanan algoritma ile başlangıç çözümü üretilir ve durdurma kriteri sağlanana kadar, bu tekrarlanır. Yapı temel olarak üç bileşenden oluşur.

Bunlar algoritmanın sarsılması, yerel arama ve çözüm taşıma adımlarıdır. Sarsılma adımında, mevcut *s* çözümünün *k*. komşusundan *s*' gibi bir çözüm seçilir ve yerel arama bu noktadan başlatılır. Yerel arama başlangıçta komşuluğa bağımlı olmadan istenilen şekilde arama gerçekleştirebilir ve bu süreç sonucunda elde edilen *s''* çözüm yapısı *s* ile kıyaslanır. Eğer daha iyi bir çözüm elde edildi ise, yerini alır aksi halde *k* bir artırılır ve yeni bir sarsılma adımı başlatılır. Konu hakkında pseudo kod ise Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 : Değişken Komşuluk Arama pseudo kodu.

```
seç başlangıç komşuluk yapısı  $N_k$   
 $s \leftarrow \text{başlangıççözümü}(\text{algoritması}())$   
tekrarla (durdurma kriteri gerçekleşmediği sürece)  
     $k \leftarrow 1$   
    tekrarla ( $k < k_{\text{maks}}$  olduğu sürece)  
         $s' \leftarrow \text{rassaseçim}(N_k)$   
         $s'' \leftarrow \text{yerelarama}(s')$   
        eğer ( $f(s') < f(s'')$ ) ise  
             $s' \leftarrow s''$   
             $k \leftarrow 1$   
        değil ise  
             $k \leftarrow k + 1$   
bitir  
bitir
```

Değişken komşuluk arama sezgiselinin temel özellikleri hakkında verilen bilgilerin ardından yerel arama özelliklerine sahip algoritma tiplerinden popülasyon mantığı ile çalışan algoritmaların özellikleri hakkında bilgiler verilecektir. Bu sayede temel algoritma yapıları daha ayrıntılı bir biçimde anlaşılır bir hale gelecektir.

Popülasyon yaklaşımıyla sınıflandırılan metasezgisel örneklerinden evrimsel algoritmaların ve karınca kolonilerin özellikleri oldukça yüzeysel bir biçimde aktarılacaktır.

v. Evrimsel Algoritmalar; Dünya üzerinde yaşayan canlıların genetik özelliklerinin aktarıldığı bu tekniklerde, arama yöntemlerine değişiklikler katarak yerel minimumdan kurtulma stratejileri geliştirilmektedir. Bu algoritmalar genellikle, çaprazlama ve türetme operatörlerini yeni çözümler üretmek için kullanırlar. Benzer biçimde, mutasyon operatörünü de, mevcut bir çözümden başka noktalara çözümü taşımak adına kullanırlar (Silver, 2004). Yaklaşımların genelleştirilmiş versiyonları için oluşturulan, pseudo kod ise Çizelge 3.4’de ayrıntılı bir biçimde hazırlanmıştır:

Çizelge 3.4 : Evrimsel Algoritmalar pseudo kodu.

```
 $P \leftarrow \text{üret}(\text{BaşlangıçPopülasyonu}())$   
değerlendir ( $P$ )  
tekrarla (durdurma kriteri gerçekleşmediği sürece)  
     $P' \leftarrow \text{çaprazla}(P)$   
     $P'' \leftarrow \text{mutasyon}(P')$   
    değerlendir ( $P''$ )  
     $P \leftarrow \text{seç}(P' \cap P'')$   
bitir
```

Bu adımlar atılırken seçim kararlarının özellikleri, önceden tanımlanmış kurallara göre tasarlanmak zorundadır. Bu çerçevede, hangi alternatifin çözüme gireceği hangilerinin çözümden çıkacağı her bir adımda ayrı ayrı belirlenmelidir. Evrimsel algoritmalar başlığı altında listelenebilecek algoritmalar arasına genetik algoritmalar, memetik algoritmalar, evrimsel programlama bu sınıf algoritmalar listesine dahildir. Son olarak, tanımlanacak metasezgisel yaklaşım karınca kolonileri tekniğidir.

vi. Karınca Kolonileri Algoritmaları; Doğadaki karıncaların, bir besin bulduklarında besinin yollunu bulmak için salgıladıkları fermonon isimli bir kimyasal kullanıma yapısının metasezgisel yaklaşımında kullanımı ile gerçekleştirilen bir algoritmadır. Bu teknik stokastik parametre bazlı bir optimizasyon tekniğidir. Teknikte, tanımlanan bazı karıncalar, iyi çözümleri salgıladıkları fermonon yoğunluğuna göre bulurlar. Bu sayede, üzerinde fazla fermonon bulunan algoritma yolları daha fazla karınca tarafından ziyaret edilir ve böylece optimum çözüme daha fazla yaklaşılabilmektedir.

Metasezgisel algoritmaların incelenmesi bölümünü bu algoritmaların nasıl hibridleştirildikleri hakkında bilgiler verilerek kapatılması hedeflenmektedir. Bu sayede çalışma kapsamında tasarlanan iki aşamalı sezgisel yapı daha rahat bir biçimde anlaşılabilir. Tez kapsamında, bir parti büyüklüğü planlama algoritması ile bir metasezgisel yaklaşım birleştirildiği için bu iki stratejinin birleştirilmesi tekniklerinden bahsedilmek zorundadır.

Bu teknikler, Focacci ve diğerleri tarafından tanımlandığı biçimiyle üç temel yaklaşımla gerçekleştirilir. Bunlar (Focacci vd.,2002) ;

- Metasezgisel yaklaşım ile problem çözümüne yönelik algoritmanın arka arkaya uygulanması durumu: Bu durumda, bu iki algoritma birbirlerine veri aktarabilir bir hal almaktadır. Bunun gerçekleştirilebilmesi için ise, bu iki yaklaşımın birbirlerini tamamlar özellikte olmaları gerekmektedir. Tez kapsamında başlangıç çözümünün bir parti büyüklüğü planlama algoritması olması ve iyileştirme sezgiselinin bir benzetim tavlama temelli yaklaşım olması adına bu teknik uygulamaya alınmıştır.
- Metasezgisellerin komşuluk kararlarını vermek adına problem çözümüne yönelik algoritmaları kullanması durumu: Bu yaklaşım ise, tez kapsamında

kullanılmış bir diğer tekniktir. Geliştirilen iyileştirme sezgiselinde her ne kadar karar verme yaklaşımı benzetim tavlama olsa da, hangi adımların atılacağını belirleyen komşuluk yaklaşımları bir önceki bölümde tanımlanmış parti büyüklüğü teorisinin baskın küme özelliklerinden faydalanmaktadır.

- Kullanılan son yaklaşım ise, iki algoritmanın iç içe geçirilmesi ve sıra gözetmeksizin rassal bir biçimde herhangi birini uygulaması tekniğidir. Bu yaklaşım literatürde en az karşılaşılan tekniktir ve genellikle kötü sonuçlara mahal vermektedir.

Tez çalışması kapsamında, belirtildiği üzere birinci ve ikinci stratejiler ayrıntılı bir biçimde uygulamaya alınmış ve sonuçlar tanımlanan performans kriterleri ile birlikte analiz edilmişlerdir. Oluşturulan algoritmaların, yapısal özellikleri hakkında ilerleyen kısımlarda daha ayrıntılı bilgiler verilmeye devam edilecektir. Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere, iyileştirme sezgiselinin karar verme adımlarında bir benzetim tavlama metasezgiseli tüm parametreleri ile modele yansıtılmıştır. Bu bağlamda, metasezgisel yaklaşımlardan benzetim tavlama yönteminin ayrıntılı bir biçimde analiz edilmesi, parametrelerinin ve çözüm yapısının özelliklerinin ayrıntılandırılması gerekmektedir.

3.5.3 Tavlama Benzetimi Metasezgiseli

Tavlama Benzetimi (TB) bir katının minimum enerji durumu elde edilene kadar yavaş yavaş soğutulduğu fiziksel tavlama sürecini taklit eden olasılıklı bir metasezgisel arama yöntemidir. Bu yöntem ile üretilen çözümler sırasının, amaç fonksiyon değeri genel bir azalma eğilimindedir. Fakat bazı durumlarda amaç fonksiyon değerleri yüksek olan çözümler de kabul edilmektedir. Bu yolla, yerel bir minimum çözüme takılmaktan kurtulup, daha iyi bir yerel veya global bir minimum için aramaya devam etmek amaçlanır (Alp vd.,2001).

Tavlama benzetiminde bu çerçevede, herhangi bir anda herhangi bir adımda, çözümün daha kötü bir noktaya yönlendirilmesine izin verilebilir. Bu sayede, sadece yerel optimuma takılmak yerine eğrinin her yeri aranarak globallik kontrolleri de gerçekleştirilmiş olunur. Fakat, bu özelliğin kullanımı belirli parametrelere bağımlı olduğu için her kötü adım kabul edilmez. Bu parametreler sıcaklık (T_0) gibi ölçülebilir değerler olarak karşımıza çıkmaktadır (Reeves, 1993).

Tavlama benzetiminin kombinatoriyal optimizasyon problemleri için global en iyi değere yakın çözümler veren kullanışlı bir modern sezgisel teknik olduğu literatürde sıklıkla not edilmektedir (Özdamar ve Birbil, 1998), (Gaafar vd., 2009).

Fizik biliminde tavlama, bir katının ısı banyosunda düşük enerji durumlarının elde edilmesi için bir ısıl süreç olarak tanımlanır. Bu süreç aşağıda belirtilen iki adımı içermektedir (Kirkpatrick vd.,1983);

- i. Isı banyosunun sıcaklığını, katının eriyebileceği en yüksek değere yükselt
- ii. Katının yer durumunda parçacıkları kedinin düzenleyene kadar, ısı banyosunun sıcaklığını kademeli bir biçimde azalt.

Bu sayede, tüm parçacıklar az enerji baskısı altında, daha düzenli bir şekilde soğuyarak düzgün bir dizilim yapısına ulaşırlar. Çıktılan en yüksek sıcaklık seviyesinden (T_{maks}) başlayarak, sıcaklık değerinin düşürülmesi süreci simüle edilmektedir. Sıcaklığın hızlı düşürüldüğü durumlar ile yavaş düşürüldüğü durumlar arasında yapısal olarak ciddi farklılıklar mevcuttur, işte bu farklılıklar optimizasyon teorisinde de benzerdir. Tüm kötü çözümleri kabul etmekle, hiçbir kötü çözümü kabul etmemek arasında ciddi bir ödünleşme mevcuttur. Bu sebepten, tavlama sürecinin matematiksel yönden aktarılması ile hangi olasılıkla hangi adımın kabul edileceği hususunda bir görüş olabilir.

Her bir T sıcaklığı değerinde, katıların ısıl denge durumuna gelmelerinin bir olasılık yoğunluk fonksiyonu ile tanımlandığı bilinmektedir. Bu seviyede E seviyesinde bulunması olasılığı Denklem (3.12) ile Boltzmann dağılımdan sağlanmaktadır (van Laarhoven ve Aarts,1989).

$$P(E = E) = \frac{1}{Z(T)} * \exp\left(-\frac{E}{k_B T}\right) \quad (3.12)$$

Bu tanımlama da, $Z(T)$ normalleştirme faktörü, T mevcut sıcaklık değeri, k_B ise Boltzmann sabiti olarak tanımlanır. $\exp\left(-\frac{E}{k_B T}\right)$ ile belirtilen değer ise, Boltzmann faktörüdür. Sıcaklık (T) değeri düştükçe, bu faktör düşük enerjili seviyelere ulaşır. Sıcaklık sıfır değerini aldığı anda enerji yükü sıfırdan farklı fakat düşük bir olasılık değeri almaktadır.

Eğer, mevcut seviyeden bir sonraki adıma enerji değişimi ΔE negatif ise, zaten faz değişimi gerçekleşmiş demektir. Fakat; ΔE pozitif ise, yine de faz değişiminin

$\exp(-\frac{\Delta E}{k_B T})$ gibi bir olasılıkla kabul edilme ihtimali mevcuttur. İşte tam olarak bu yaklaşım Tavlama Benzetiminin metasezgiselinin temel eksenini oluşturmaktadır.

Maliyet fonksiyonunda azalmaya yol açan her adım algoritma tarafından kabul edilirken, maliyet artışının gerçekleştiği iterasyonlarda $\exp(-\frac{\Delta E}{k_B T})$ olasılıkla kabul edilirler. Bu kabul kararının verilebilmesi için 0 ile 1 arasında rassal bir sayı atanır. Bu sayı eğer, oluşturulan eşik değerden ($\exp(-\frac{\Delta E}{k_B T})$) düşük ise, planlanan adım onaylanır. ΔE ile tanımlanan değişken ise atılan adımla, amaç fonksiyonunda ne gibi bir değişiklik olduğunu göstermektedir.

Bu bağlamda Tavlama Benzetimi metasezgiselinin, bir minimizasyon probleminin çözümünü hedeflediği, çözüm kümesinin S , amaç fonksiyonunun f olarak, komşuluğun ise N ile tanımlandığı pseudo kodu yazılı bir hale getirilebilir. Tam versiyonunun kodlanmış hali Çizelge 3.5’de ayrıntılı bir biçimde görülebilmektedir. (Reeves, 1993);

Çizelge 3.5 : Benzetim Tavlaması Metasezgiseli pseudo kodu.

```

seç başlangıç çözümü  $s_0$ 
seç başlangıç sıcaklığı  $t_0 > 0$ 
seç sıcaklık düşürme katsayısı  $\alpha$ 
tekrarla
    tekrarla
        rassal seç  $s \in N(s_0)$ 
         $\delta \leftarrow f(s) - f(s_0)$ 
        eğer  $\delta \leq 0$  ise
             $s = s_0$ 
        değil ise
            türet  $x \leftarrow U[0,1]$ 
            eğer  $x \leq \exp(-\delta/t)$  ise
                 $s = s_0$ 
            değil ise adım red
        durdur kriter kontrolü
        ayarla  $t = \alpha(t)$ 
bitir

```

Sıcaklık (T) algoritmanın kötü çözümleri kabul etme olasılığını kontrol eden bir parametredir. Yüksek bir sıcaklık tamamen rassal bir yürüyüşe neden olarak çözüm süresini arttırabilir ya da kötü bir performansa yol açabilir. Düşük sıcaklıklar ise en iyiye giden yolun gözden kaçırılmasına yol açabilir. Bu nedenle sıcaklık başlangıçta

yüksek tutulup araştırma ilerledikçe aşamalı olarak azaltılmalıdır. Bu performans kararlarını etkileyen faktörlerin analiz edilmesi gerekmektedir (Ayan, 2009).

i. Başlangıç Sıcaklığı (T_0)

Kirkpatrick vd. (1983), başlangıç sıcaklığının (T_0) seçimi için tavlamaya başlamadan önce bir deneme koşumu yapmayı önermişlerdir. Onların önerisine göre, bu denemede kabul edilmiş olan kötü çözümlerin toplam çözümlere oranı önceden belirlenmiş olan başlangıç kabul olasılığına (P_0) eşit olmalıdır. Burada kötü çözüm, amaç fonksiyonu değeri açısından mevcut çözümünden daha kötü olma anlamında kullanılmaktadır. Bu yöntemde göre, komşu çözümler arasında pek çok geçiş yapılmakta ancak sadece kötü geçişlerin amaç fonksiyonunda yarattıkları ortalama artış (Δ) dikkate alınmakta ve $T_0 = \Delta / \ln P_0$ eşitliğine göre başlangıç sıcaklığı hesaplanmaktadır (Ayan, 2009).

ii. Soğutma Fonksiyonu ($F(T_k)$)

Sıcaklık birçok çalışmada Kirkpatrick vd. (1983) tarafından geliştirilmiş olan sabit oranlı soğutma fonksiyonu ile azaltılmaktadır. Bu yöntemde sıcaklıklar $T_{k+1} = \alpha T_k$ şeklinde belirlenmektedir. Burada $0 < \alpha < 1$ önceden belirlenmesi gereken ve soğutma oranı olarak adlandırılan bir parametredir, $\alpha = (T_M / T_0)^{1/(M-1)}$ şeklinde bir değer aldığı varsayılmaktadır. Burada M toplam devre sayısını ve T_M son devredeki sıcaklığı göstermektedir. Ancak α yı belirlemede bu yöntemi uygulayabilmek için formüldeki parametrelerin önceden belirlenmiş olmaları gerekmektedir (Ayan, 2009).

iii. Devre Uzunluğu (L)

Tavlama sürecinde her bir sıcaklıkta çok sayıda komşu çözüm oluşturulmakta ve bunlardan bazıları yeni çözüm olarak kabul edilmektedir. Mevcut çözümün kendisine komşu bir çözümle yer değiştirmesi geçiş olarak adlandırılmaktadır. Herhangi bir sıcaklıkta geçişlere karar vermek için yapılacak ikili karşılaştırmaların sayısı sınırlandırılmalıdır. Aksi halde tavlama süreci sonsuz bir döngüye dönüşebilecektir. Söz konusu sınırlandırma devre uzunluğu ile yapılmaktadır (Ayan, 2009).

iv. Durdurma Ölçütü

Tavlama Benzetimi algoritması, devre sayacı önceden belirlenmiş bir değere ulaştığında veya toplam deneme sayısı önceden belirlenmiş bir değere ulaştığında sona erdirilebilir. Algoritmayı durdurmak için diğer bir kural hesaplama süresini sınırlamaktır.

Diğer taraftan, tezin yazını kapsamındaki tavlama benzetimi metasezgiseli, parametreleri açısından genelleştirilmiş metasezgisel yapısı ile farklılıklar göstermektedir. Eğer, iyileştirme sezgiseli tarafından atılan bir adım, maliyet fonksiyonun (amaç fonksiyonunun) değerinde bir düşüşe sebep oluyor ise adım doğrudan kabul edilir. Diğer taraftan, çözüm kötüleşirse, (PA) gibi bir olasılık değeri ile bu kötü yönlü adım da kabul edilir. Bu (PA) olasılığının hesaplanması formülü Denklem (3.13)'de tanımlanmıştır (Özdamar ve Barbarosoğlu, 2000).

$$PA = \exp\left(-\frac{\Phi_{maliyet}}{z^{r-1}E^r}\right) \quad (3.13)$$

Denklem (3.13) ile tanımlanan olasılık değerinde z^{r-1} , mevcut çözümün maliyet değerini yansıtırken, E^r değeri, r iterasyonun sıcaklık düşürme değeri olarak tanımlanmaktadır. $\Phi_{maliyet}$ olarak tanımlanan parametre ise maliyet fonksiyonundaki değişimin ifadesidir. 0 ile 1 arasında atanan rassal sayı, hesaplanan PA değerinden küçük ise, adım kabul edilir. Aksi halde, adım red edilip, algoritma ilerlemesi sağlanmaktadır.

Bu çerçevede, her bir iyileştirme sağlanamayan her iterasyondan sonra, E^r değerinde de ayarlamaya gidilmektedir. Tanımlanan sıcaklık değeri (E^r) (3.14) fonksiyonuna göre sürekli bir biçimde düşürülür (Özdamar ve Bozyel, 2000).

$$E^{r+1} = \frac{E^r}{\beta * E^r} \quad (3.14)$$

Tavlama Benzetimi metasezgiselinden, her algoritma yaklaşımında olduğu gibi, iyi çözümler elde edebilmek için, parametrelerin optimize edilmesi gerekmektedir. Özdamar ve Bozyel tarafından, 1996 yılında yapılan deney tasarımı yaklaşımları ile birlikte bu problem tipi için parametre optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve β değerinin 0.01 değerini alması gerektiği hesaplanmıştır (Özdamar ve Bozyel, 1996).

Bu sayede, çözüme yaklaşım algoritması, iyi çözüm vermeyen olurlu bölgeleri ziyaret ettiğinde, iyileştirme sağlamayan adımların atılması bu dinamik yapı sayesinde önlenmektedir. Atılan bir adımın tavlama benzetimi stratejisi yardımıyla reddedildiği durumlarda neler yapıldığı bir sonraki bölümde önerilen çözüm yapısı dahilinde ayrıntılı bir biçimde anlatılacaktır.

Kullanılan tekniklerin ve metasezgisel algoritmaların ayrıntılı bir biçimde anlatılmasının ardından, kapasite kısıtlı çok ürünli çok periyotlu parti büyüklüğü planlama problemlerinin çözümlerine yönelik, geliştirilen en temel yaklaşımlardan

ve sezgisel yöntemlerden bahsedilecektir. Bu sayede, problemin başlangıç çözümünün oluşturulmasında ve iyileştirme sezgiselinin yapısının anlaşılmasında yardımcı bilgiler edinilecektir.

3.6 Dinamik Parti Büyüklüğü Planlama Teknikleri

Çok ürünlü parti büyüklüğü planlama problemlerinin statik ve dinamik planlama periyoduna göre farklılıklar gösterdikleri, bir önceki bölümde ayrıntılı bir biçimde analiz edilmiştir. Statik sipariş miktarı bir kez hesaplandıktan sonra, planlama periyodu boyunca değişikliğe uğramamaktadır. Dinamik parti büyüklüğü planlamasında ise, teknikler ve stratejiler dönem sonu envanter miktarına göre yeniden yapılandırılır.

Sunulan bu çerçevede, çok ürünlü çok periyotlu (dinamik) parti büyüklüğü için kullanılan planlama tekniklerinin özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Bu sayede, problemin başlangıç çözümü olarak kullanılacak bu yaklaşımların özellikleri hakkında fikir sahibi olunabilir ve iyileştirme sezgiseli daha tutarlı bir yapıya kavuşturulabilir.

Bu teknikler, kurulan matematiksel modelin kısıtlarından her birini sağlamayabilmektedirler. Genellikle, bu teknikle hazırlanan çoğu yaklaşım, problemin envanter dengesi kısıtını korur iken, kapasite kısıtına dikkat etmemektedir. Diğer taraftan, doğrudan kapasite kısıtının da korunmasına yönelik tekniklerden Wagner ve Whitin yöntemi, literatürde sıklıkla karşılaşılan bir yaklaşımdır. Bu açıklamaların ardından, dinamik çok ürünlü parti büyüklüğü planlama problemleri için geliştirilen teknikler analiz edilebilir.

3.6.1 Gereksinim Kadar Üret Algoritması (Lot-for-Lot, L4L)

Bu yöntem gereği, bir dönemde gerçekleşen talep ne kadar ise, üretilecek veya satın alınacak parti büyüklüğünün de aynı seviyede planlanması gerekmektedir. Elde bulundurma toplam maliyetinin minimizasyonunun hedeflendiği bu teknikle birlikte, her dönemin sonunda üretilen miktarın tamamı talep olarak satıldığı için, dönem sonu envanter tutulmamaktadır. Talebin oldukça fazla dalgalı olduğu ürünlerde kullanımı zor olan yaklaşım, herhangi bir kapasite kısıtını dikkate almamaktadır. Diğer taraftan, planlanması ve uygulanması kolay olması açısından birçok çözüm

yaklaşımında bu teknik kullanılmaktadır. Aslında bu yöntem, tam zamanlı üretim stratejisinin uygulandığı ve sürekli üretim yapısı altında çalışan işletmelerde sıklıkla uygulanmaktadır. Bu tekniğin bir değişik versiyonu, sabit dönem miktarı tekniği olarak adlandırılmaktadır. Bu yaklaşımda, üretilecek birden fazla net dönem gereksinimleri toplanarak tek bir üretim planı geliştirilir ve uygulamaya alınır (Nahmias, 1997).

Tez çalışmasının kapsamında, başlangıç çözümü olarak gereksinim kadar üret tekniğinin kullanılmasının sebepleri arasında, ilgili tekniğin ilk aşamada herhangi bir envanter yaratmadan sistemin tam yükünün görülmesine yardımcı olması bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, başlangıç çözümünde uygulaması kolay bir tekniğin kullanımı, çalışma öncesi literatürde herhangi bir çalışmada vurgulanmamıştır.

Not edilmesi gereken önemli iki noktadan biri, bu yaklaşımın başlangıç çözümü için sıfır envanter olgusu ortaya çıktığından dolayı, iyileştirme sezgiselinin bunu dikkate alarak öncelikle envanter birikimini akıllı bir biçimde sağlayacak yapıya kavuşturulması gerektiğidir. Bir diğer önemli nokta ise, başlangıç çözümünün kapasite kısıtı duyarlılığı bulunmadığı için, atılan her adımın olurlu bölgenin içinde olup olmadığının kontrol edilmesi gerekmektedir.

Eğer bu sezgisel ile sağlanan çözüm, olurlu bölgenin içinde ise, temel amaç maliyet fonksiyonunun iyileştirmesi esasına dayanmak zorundadır. Aksi halde, öncelikli hedef çözümü olurlu bölgeye sokmanın ardından, maliyet değerlerini iyileştirmektedir. Bir sonraki bölümde, algoritmanın adımlarının anlatılacağı kısımda, bu tekniğin kodlama yapısı, özellikleri ve geliştirilmeye açık yanları açıklanacaktır.

3.6.2 Ekonomik Parti Büyüklüğü Algoritması (EPB)

Her ne kadar Ekonomik Parti Büyüklüğü (EPB), bağımsız talebe dayalı sonsuz planlama dönemine sahip ürün tipleri için geliştirilmiş olsa dahi, dönemlerin sonlu olduğu dinamik planlama yapısında da sıklıkla kullanımı mevcuttur. Bu çerçevede, her planlama dönemi için ve her bir ürün için ayrı ayrı hesaplanan ekonomik parti büyüklüklerine göre üretim değerleri gerçekleştirilmektedir (Johnson, 1976).

Bu yaklaşımın dinamik parti büyüklüğü planlama problemlerinde kullanılması için sadece bir optimum parti büyüklüğü hesaplaması yapılır. Bunun ardından her

dönemde, bu değerin talepten düşük olup olmadığı değerlendirilir. Eğer, envanter denge denklemi sağlanıyor ve toplam eldeki stok seviyesi talepten düşük ise, belirlenen optimum parti büyüklüğünün en yakın katı miktarında üretim gerçekleştirilir.

Dinamik planlama dönemi mantığı altında, ekonomik parti büyüklüğü kullanılırken, dönemsel talep miktarı D , planlama yapılan tüm dönemlerin planlanan sipariş değerlerinin ortalaması D^* olarak gösterilir. Burada herhangi bir dönemde veya dönemlerde planlanan sipariş değeri sıfır bile olsa ortalamaya katılmaktadır. A parametresi ile tanımlanan, ayar yapmanın sabit maliyeti, h parametresi ile tanımlanan ise birim ürünü elde tutma maliyetidir. Bu çerçevede ekonomik parti büyüklüğü değeri Denklem (3.15) kullanılarak hesaplanır (Tanyaş ve Baskak, 2006).

$$EPB = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \quad (3.15)$$

Bu hesabın sonuçlarına göre kurulan model de kapasite kısıtı açısından olurlu çözümler verme garantisi vermemektedir.

3.6.3 En Düşük Birim Maliyet Algoritması (EDBM)

Bu yöntemin özelliği, gerek üretim miktarlarını gerekse, üretimi gerçekleştirme aralıklarını serbest bırakmasıdır. En düşük birim maliyet yaklaşımı bir tür deneme yanılma yöntemidir. Bu algorithmada üretim miktarı hesaplanırken, bu miktarın sadece ilk dönem planlanan üretim değerleri, bir sonraki dönem veya sonraki dönemlerin planlanan verilerini karşılayıp karşılayamayacağı kontrol edilir. Bu yöntemde, eldeki maliyetlerin ne kadar zaman süresince sistemi yürütmek için yeterli olduklarına ilişkin bir fonksiyon kontrol edilir. Bu fonksiyon $C(T)$, ortalama elde bulundurma ve sipariş verme maliyetinin, T periyotluk planlama dönemine bölünmesiyle elde edilen bir fonksiyondur. Bu çerçevede A üretimin sabit maliyetini, r ise net ihtiyaçları tanımlamaktadır (Nahmias, 1997).

$$C(1) = A/r_1, \quad (3.16)$$

$$C(2) = (A + hr_2) / (r_1 + r_2), \dots,$$

$$C(j) = (A + hr_2 + 2hr_3 + \dots + (j-1)hr_j) / (r_1 + r_2 + \dots + r_n)$$

Denklem (3.16) seti ile hesaplanan parametrelerin sıralanmasıyla aralıkların kestirimi sağlanır. Algoritma genelinde, $C(j) > C(j-1)$ durumu sağlandığında, hesaplama bırakılır ve o zamana kadarki tüm talepler birlikte karşılanır. Bu teknik, düzeltilmiş bir gerektiği kadar üret yaklaşımıdır.

3.6.4 Silver ve Meal Algoritması

İlgili sezgisel algoritma, periyot başına ortalama maliyetin, geçilen periyot sayısına bağımlı olan bir fonksiyonu şeklinde tanımlanmaktadır. En düşük maliyet algoritmasına benzer bir biçimde hazırlanan yapıda, tek farklılık kontrol parametrelerinin belirlenmesinde, bölümde ihtiyaç miktarının değil periyot sayısının kullanılmasıdır.

$$C(1) = A, \quad (3.17)$$

$$C(2) = (A + hr_2)/2, \dots,$$

$$C(j) = (A + hr_2 + 2hr_3 + \dots + (j-1)hr_j)/j$$

Bu çerçevede hazırlanan fonksiyon ($C(T)$) için ise yeni değerler Denklem (3.17) seti ile hesaplanır. En düşük birim maliyet algoritması ile benzer bir biçimde, bu veriler ilgili maliyet kalemlerinin kaç dönem karşılanması gerektiği hususunda fikir verir ve buna göre hangi dönemlerin taleplerinin birlikte karşılanması gerektiği saptanabilir (Silver ve Meal, 1973).

3.6.5 Parça Periyot Dengeleme Algoritması (PPD)

Parça-dönem algoritması olarak da anılabilen algoritma, sipariş miktarını sipariş verme maliyeti ve elde bulundurma maliyetine göre dengeleyen sayısal bir yaklaşımdır. Toplam elde tutma maliyetinin çok az üzerinde olduğu bir durumda yapılan siparişin karşılayacağı dönem sayısı seçilir. Gereksinimlerin kesikli yapısından dolayı, toplam elde tutma maliyeti sipariş verme maliyetinden az olduğu sürece sipariş büyüklüğü artar. Amaç tam sayı olarak dönem gereksinimlerini kapsayan bir parti büyüklüğü bulmaktır. Parça-dönem algoritması tekrar sipariş verme ile karşılanan dönem sayısı arttıkça toplam parça-dönem hesaplar. Toplam parça-dönem, ekonomik parça dönemi ilk geçtiğinde o dönem için yeni bir sipariş verme planlanır.

Bu algoritma tipi de kapasite kısıtlarını dikkate almadan sadece, yaklaşım esaslı çözümler üretmeye çalışmaktadır. Bu son algoritmanın da ardından, kapasite kısıtını dikkate alarak optimum çözüm üreten fakat; hesaplama ve kodlama yapısı zor olan Wagner ve Whitin algoritması incelenmiştir.

3.6.6 Wagner-Whitin Algoritması (W-W)

Wagner-Whitin algoritması verilen bir problemi tekrarlayan işlemlerle sonuca götürme yöntemidir. Bu teknik, tekrarlamayan yöntemlere göre daha karmaşık işlemler gerektirir. Wagner-Whitin belirli bir zaman aralığındaki deterministik ve dinamik parti büyüklüğü miktarı problemine optimum çözümü sunmaktadır (Wagner ve Whitin, 1958).

Planlanan zaman aralığındaki dönemler sabit ve belirli bir uzunluktadır. Siparişler taleplerin dönem başında karşılanacağını garanti etmelidir. Wagner-Whitin algoritması minimum kontrol edilebilen maliyet politikasını elde etmeye yarayan dinamik bir programlama yaklaşımıdır. Hesaplamaları kolaylaştırmak için bazı teoremler kullanılır.

N dönemi içeren zaman içinde mümkün olan tüm siparişler alternatifleri için toplam değişir maliyet alternatifleri hesaplanır. Bu maliyetler elde bulundurma ve sipariş verme maliyetlerini içerir. Z_{ce} parametresi C .dönemden E .döneme kadar olan toplam değişir maliyet olarak kabul edilir (Denklem 3.18) ve C .dönemden yapılan sipariş E .döneme kadar ihtiyaçları karşıladığı varsayımı içerilir (Acar, 1999):

C_s = sipariş verme maliyeti

C_h = her dönem için elde bulundurma maliyeti

P = birim satın alma maliyeti

R_k = k .dönemdeki talep oranı

$$Z_{ce} = C_s + C_h P \sum (Q_{ce} - Q_{ci}), \text{öyleki } 1 \leq c \leq e \leq N \text{ ve } Q_{ce} = \sum_{k=c}^e R_k \quad (3.18)$$

f_e 1.dönemden e .döneme kadar mümkün olan minimum maliyet olsun, ve e .dönem sonunda envanter sıfır olsun. Algoritma $f_0 = 0$ değeri ile başlar ve $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ sırasıyla bulunmaya devam edilir. Ve daha sonra f_e hesaplanır.

$$f_e = \min(Z_{ce} + f_{(c-1)}) \quad (3.19)$$

Başka bir deyişle, her dönem için tüm sipariş verme alternatifleri ve ilave f_e stratejileri kıyaslanır. Ve en düşük maliyetli kombinasyon 1'den e 'ye kadar olan ihtiyaçları karşılayacak f_e olarak kaydedilir. Optimal maliyet çizgisinin değeri f_n dir. Bu optimum çözümden sipariş miktarını elde etmek için Denklem (3.20) uygulanır.

$$f_N = Z_{WN} + f_{W-1} \quad (3.20)$$

Son sipariş w . dönemde olduğu varsayımı altında ve w 'den N 'e kadar ihtiyaçların karşılandığı durumda, malzeme ihtiyaç planlaması sisteminde toplam maliyeti en az yapacak olan optimum sipariş miktarları Wagner ve Whitin tarafından geliştirilen Dinamik Programlama yöntemi ile bulunabilir. Sezgisel yöntemleri kullanmanın, W-W algoritmasını kullanmamak karşısında fazla bir maliyet getirmeyeceği, yapılan bazı araştırmalarda ispatlanmıştır. Bu yüzden sezgisel sipariş verme yöntemleri daha çok uygulama alanı bulmaktadır.

Bu bölümde incelenen uzantı problem yapısının, özelliklerinin ve problemin çözümünde kullanılan tekniklerin ayrıntılı analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin ardından, elimizdeki yaklaşımlar ve çıkarılan baskın küme özelliklerine göre, algoritmanın temel yapısı oluşturulabilir. Bir sonraki bölümde, problem yapısı için oluşturulan algoritma ayrıntılı bir biçimde anlatılacak ve bu bölümün ardından test problemleri ile birlikte algoritmanın değerlendirmesi gerçekleştirilecektir.

4. PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ PLANLAMA İÇİN İKİ AŞAMALI MELEZ SEZGİSEL BİR ALGORİTMA

Önceki bölümlerde, çerçevesi çizilen problem yapısına ilişkin oluşturulan çözüm stratejisinin anlatılacağı bu bölümde, öncelikle geliştirilen sezgisel yaklaşımın her bir adımının hangi sınıflandırma kümelerine girdiği analiz edilecek ve ardından her bir adım ile yapılmak istenilen ve elde edilen sonuçlar ayrıntılı bir biçimde aktarılacaktır.

Tezin başlığından da anlaşılacağı üzere, kurulan çözüm yapısı, iki aşamalı bir sezgisel yapı şeklinde kurgulanmıştır. Bu isimlendirme ile anılmasının temel mantığı, bir başlangıç çözümü ve bu çözümü izleyen bir iyileştirme sezgiselinin problem yapısının çözümü için birlikte kurgulanmış olmasıdır.

Oluşturulan çözüm yaklaşımının anlaşılabilmesi için algoritma yapısına hangi parametrelerin veri olarak verildiğinin tespit edilmesi gerekmektedir. Algoritma çalıştırmasının başlangıç aşamasında, her bir dönemde gerçekleşen talep değerleri, tüm maliyet parametreleri ve kapasite kısıtları belirli arayüzler yardımıyla algoritmanın okuması için veri olarak aktarılmıştır. Oluşturulan bu veri özellikleri de bir sonraki bölümde algoritma sayısal testleri başlığı altında ayrıntılı bir biçimde anlatılacaktır. Başlangıçta sistemde herhangi bir envanter ve işleme alınmamış talep olmadığının kabul edildiği yaklaşımda, başlangıç envanterinin değeri tüm dönemler için sıfır olarak kabul edilmiştir.

Oluşturulan yapının kodlanması ile ilgili tüm faaliyetler Microsoft Visual Studio C++ 2008 editöründe gerçekleştirilmiş ve kodlama faaliyetleri performansının algoritma performansını doğrudan etkilediği bilgisiyle, zeki kodlama tekniklerinden faydalanılmıştır. Algoritmanın hızı ile kodlama stratejisi arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Bu sebepten, algoritma içinde sıklıkla döngüler kullanılmamalı, çağırılması zor fonksiyonların seçiminden uzak durulmalıdır (Harel, 1993).

Kurulan yaklaşımlar açısından başlangıç çözümünün arama-belirleme algoritması olduğu belirtilebilir. Bunun ardından kodlanan iyileştirme sezgiseli ise, iteratif bir saldırgan algoritma özelliğini korumaktadır.

Bu bilgiler ışığında, her bir adımın özellikleri incelenebilir ve pseudo kodları hakkında açıklamalar yapılabilir:

4.1 Başlangıç Çözümü Sezgiseli

Kapasite kısıtlı parti büyüklüğü planlama problemlerinde geliştirilen başlangıç çözümlerinden çoğu probleme özgü çözüm üreten sezgisel yaklaşımlardır (Pitakaso vd., 2006). Bu yaklaşım, çalışma kapsamında belirtilen probleme genelleştirilmiş bir çözüm oluşturulması gerektiği fikri ortaya çıkmaktadır. Bu sayede, problemin gerçek karakteristikleri daha ayrıntılı bir biçimde anlaşılabilir ve optimum çözüme ulaşmaya yönelik stratejiler, daha sağlıklı temellere oturtulabilir (Berratta vd., 2005).

Bu bağlamda, dinamik parti büyüklüğü problemine bir başlangıç çözümü vermesi adına gerektiği kadar üret algoritması, çözüm yaklaşımı olarak kullanılmıştır. Bu tekniğin kullanılmasının sebepleri arasında, ilgili tekniğin ilk aşamada herhangi bir envanter yaratmadan sistemin tam yükünün görülmesine yardımcı olması bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, başlangıç çözümü olarak uygulaması kolay bir tekniğin kullanımı, çalışma öncesi literatürde herhangi bir çalışma tarafından vurgulanmamıştır.

Not edilmesi gereken önemli iki noktadan biri, bu yaklaşımın başlangıç çözümü için sıfır envanter olgusu ortaya çıktığından dolayı, iyileştirme sezgiselinin bunu dikkate alarak öncelikle envanter birikimini akıllı bir biçimde sağlayacak yapıya kavuşturulması gerektiğidir. Bir diğer önemli nokta ise, başlangıç çözümünün kapasite kısıtı duyarlılığı bulunmadığı için, atılan her adımda olurlu bölgenin içinde olup olunmadığının kontrol edilmesi gerekmektedir.

Bu açıklamaların ardından kodlama yönünü göstermek adına, algoritmanın pseudo kodu aşağıdaki Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Çalışma kapsamında, tüm hazırlanan algoritmaların pseudo kodlarının verilmesi planlanmaktadır. Bu sayede, kodlama dilinden bağımsız bir biçimde, tanımlanan ile ne aktarılacak istendiği sağlıklı bir biçimde anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.1 : Başlangıç çözümü pseudo kodu.

<i>başla</i> { ayarla $\forall I_j = 0$; eğer ($t1=T$) , o zaman $t2=T+1$; aksi halde $t2=t1+1$; <i>başla</i> { hesapla $DEP_{i,j}$ $X_{i,j} = D_{i,j} + DEP_{i,j}$ hesapla $\forall O_t, C_t, I_t$ } } <i>bitir</i> ;	<i>/Başlangıç sezgiseli L4L</i> <i>/Bağımlı talebin hesaplanması</i> <i>/İlk parti büyüklüğü belirlemesi</i>
---	--

Hazırlanan pseudo kod üzerinden adımlar anlatılacaktır. Öncelikle sistemde tüm başlangıç envanteri değerleri sıfırlanmaktadır. Bunun ardından, t_1 ve t_2 periyotlarının başlangıç değerlerini almalarına izin verilmektedir. Bu aşamada, parametrelerin aldığı değerlerinin önemi yoktur. Çünkü, her bir ürün ve dönem için parti büyüklükleri gerektiği kadar üret algoritmasına göre tek tek hesaplanmaktadır.

Ardından, algoritma özelinde varsa bağımlı talep değerleri hesaplanmaktadır. Bu çerçevede, bağımlı talebin yapısını aktarabilmek adına kod yapısı içinde bir ağaç yapısı kurulmuş ve öncüllük-ardıllık ilişkileri dikkate alınarak pseudo kod bu çerçeve hazırlanmıştır.

Bunun ardından her bir ürün ve dönem için talep kadar üretim tek tek hesaplanmıştır. Bu kod yapısında, $X_{i,j}$ i.'nci ürünün j. dönemdeki parti büyüklüğünü gösterirken, $D_{i,j}$ ise aynı parametreler ile talep miktarlarını göstermektedir.

Parti büyüklüklerinin belirlenmesinin ardından, başlangıç çözümü için oluşan diğer tüm parametrelerin hesaplanması gerekmektedir. Bu sayede, talebin saf hali altında, hangi periyotta fazla mesai ve kapasite kullanımı olduğu ayrıntılı bir biçimde gözlemlenebilir. İyileştirme sezgiselinde de, yoğun bu periyotlarda baskın küme tanımlarına göre iyileştirmeler yapılarak optimum çözüme zeki bir biçimde yaklaşılabılır.

Başlangıç çözümünün elde edilmesinin ardından bu veriler iyileştirme çözümüne aktarılabilir bir hal almıştır. İyileştirme sezgiseli, aldığı bu çözümleri birbirini takip eden iterasyonlara durdurma kriteri gerçekleşene kadar sokar ve optimum çözüme yakınsamaya çalışır. Bu sezgisel yaklaşımın özellikleri bir sonraki kısımda belirtilmektedir.

4.2 İyileştirme Sezgiseli

Başlangıç çözümü ile elde edilen çözüm kümesinin olurlu bölgede olmaması olasılığı ve sonucun amaç fonksiyonu açısından yetersiz bir seviyede olması sebebiyle bir iyileştirme sezgiseli kurulması gerektiği önceki bölümlerde ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır.

Bu sezgisel yaklaşım başlangıç çözümünü veri olarak alıp, bu çözümü hem olurlu bölgeye sokmaya hem de amaç fonksiyonu değerini küçültmeye çalışmak zorundadır. Bu çerçevede, hem parti büyüklüğü planlama teorisinin özelliklerinin hem de global optimum arama stratejilerinin ihtiyaç olduğu bu adımda, melez bir sezgisel yöntem kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Bu melez sezgisel yaklaşım, bir önceki bölümde tanımlanan Baskın küme özelliklerinin, öteleme stratejilerinin ve tavlama benzetimi metasezgiselinin bir bileşimi şeklinde tasarlanmıştır.

En temelinde, önerilen iyileştirme sezgiseli zeki bir biçimde seçtiği bir miktar üretim parti büyüklüğünü, yine Baskın küme tanımlarına göre seçilen öncül veya ardıl dönemler arasında her seferinde bir defa taşıyarak, toplam maliyet fonksiyonunu düşürmeye çalışır. Bu düşüşün her zaman gerçekleşmeyeceği olasılığı da dikkate alınarak, fonksiyon değerinde kötüleşme olsa dahi tavlama benzetimi yaklaşımıyla belirli bir olasılıkla bu çözümü de kabul yoluna gitmektedir.

Başlangıç çözümünün sunduğu kısıt gereği, ilk veri setinde dönem sonu envanter değerlerinin tamamı sıfırdır. Bu çerçevede, parti ötelemeleri asla bir sonraki döneme ileri öteleme şeklinde gerçekleştirilemeyecektir. Yani, algoritma yapısının kurulurken, öncelikle partileri bir önceki döneme atma esasına göre işletmeli, eğer bu transfer istenilen değeri sağlamıyorsa ileri yönlü transferin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bu bağlamda, anlatılan bu kaba yapının karar hiyerarşi de belirtilerek, pseudo kodlama yapısının daha rahat anlaşılması sağlanacaktır:

Adım 1: Zeki yöntemler ile hangi dönemler arasında partinin geri yönlü aktarılacağını belirle

Adım 2: Dönemlerin belirlenmesinin ardından, hangi ürün tipinden bu aktarımın yapılacağını bul

Adım 3: Ürün ve dönem tespitlerinin ardından, en fazla yapılabilinecek transfer miktarını belirle, ve yapılacak transfer adedine karar ver

Adım 4: Transferi gerçekleştir, maliyet fonksiyonu değişimini kontrol et, istenen değişim yakalandıysa adımı kabul et, yakalanmadıysa, tavlama benzetimi kriterlerine göre kabulü değerlendir

Adım 5: Eğer adım reddedilirse, ileri öteleme yaklaşımını başlat, bu üründen en fazla hangi miktarın ileri ötelenebileceğini zeki yöntemlerle belirle, ötelemeyi gerçekleştir

Algoritmanın herhangi bir iterasyonunda alınan karar geri öteleme (parti artırma) olarak ifade ediliyor ise; bu tanımda bir miktarda i ürünün $t+1$ (t_2) periyodundan t (t_1) periyoduna aktarıldığı anlaşılmaktadır. Eğer bir ileri öteleme kavramı not edilmişse (parti azaltma), i ürününden belirlenen bir miktarda t (t_1) periyodundan $t+1$ (t_2)'e aktarıldığı ortaya çıkmaktadır. Algoritma kapsamında tanımlanan komşuluk yapısı, bir önceki veya bir sonraki periyot ile aralarında gerçekleştirilen üretim partisi transferidir (Özdamar ve Barbarosoğlu, 2000).

Parti öteleme yaklaşımının geçerliliğini koruması için her atılan adımdan sonra, mevcut parametrelerin güncellenmesi (Dönem sonu envanter miktarı, fazla mesai, normal mesai miktarları, dönemlik üretim(parti büyüklüğü) miktarları) gerekmektedir. Bu sayede, önceki durum ile sonraki durum toplam maliyet fonksiyonu açısından karşılaştırılabilir bir hal almaktadır.

Aktarılan bu bilgilerin ardından; bir miktar açıklama da kodlama yapısında kullanılan gösterimler ile ilgili yapılmak zorundadır. Kullanılan notasyonların tamamı, problem formülasyonu bölümünde kullanılanlar ile aynı anlamlara gelmektedir. Bu sayede, verilerin tekrarlı bir şekilde açıklanmasına gerek kalmamaktadır.

Sunulan karar hiyerarşisinin, tüm bileşenleri ile birlikte gösterildiği iyileştirme sezgiseline ilişkin pseudo kod Çizelge 4.2'de ayrıntılı bir biçimde incelenebilir.

Bu sayede, iterasyonun her bir adımında neler yapılması gerektiği ayrıntılı bir biçimde gözlenebilir. Bazı kod satırlarının yanında da, bilgilendirmeler de mevcuttur:

Çizelge 4.2 : İyileştirme Sezgiseli pseudo kodu.

```

başla {
    eğer ( $\forall C_j \geq 0$ )
    seç maks  $\{C_t + O_t\}$ 
    hesapla  $t2=t, t1=t2-1$ 
    seç min  $\{c_{i,t1} + h_{i,t1} - c_{i,t2} - h_{i,t2}\}$ 
    seç i
    eğer ( $X_{i,t2}=0$ ), o zaman seç maks  $\{X_{i,t2} * cp_i\}$ 
    seç i
    eğer ( $X_{i,t2}=0$ ), o zaman seç rasal(i) uygun i bulunana kadar
    eğer ( $t2 \leq 1$ ), o zaman
        başla {
             $t2=t2+rassal(0;max\_period)$ 
            seç min  $\{c_{i,t1} + h_{i,t1} - c_{i,t2} - h_{i,t2}\}$ 
            seç i
            eğer ( $X_{i,t2}=0$ ), o zaman seç maks  $\{X_{i,t2} * cp_i\}$ 
            seç i
            eğer ( $X_{i,t2}=0$ ), o zaman seç rasal(i) uygun i bulunana kadar}
        hesapla  $ava\_cap(t1)$ 
        hesapla  $Q_{i,t1}$ 
        eğer [ $(t1 \leq t2) \& (ava\_cap(t1) \geq 0)$ ], o zaman  $\Delta\_max = \min \{X_{i,t2}; Q_{i,t1}\}$ 
        değil ise  $\Delta\_max=0$ 
         $\Delta \leftarrow rassal\{0, \Delta\_max\}$ 
        hesapla  $\Phi_{maliyet}$ 
        eğer ( $\Phi_{maliyet} > 0$ ), o zaman hesapla PA, tSA
        seç  $p = kabul/red, \Delta$  kadar transfer için
        eğer [ $(\Phi_{cost} > 0) \& (p = kabul)$ ] veya [ $(\Phi_{cost} < 0)$ ], o zaman
            başla {
                 $X_{i,t2} = X_{i,t2} - \Delta$ 
                 $X_{i,t1} = X_{i,t1} + \Delta$ 
                güncelle  $\forall O_t, C_t, I_t$ 
                Maliyet = Maliyet +  $\Phi_{maliyet}$ 
                eğer (Maliyet < MinMal), o zaman MinMal = Maliyet
                eğer [ $(\Phi_{maliyet} > 0) \& (p = red)$ ], o zaman
                    başla {
                        hesapla  $t3=t2+1$ 
                        güncelle  $\forall I_j$ 
                        hesapla  $ava\_cap(t3), Q_{i,t3}$ 
                        eğer [ $(t1 \leq t3) \& (ava\_cap(t3) \geq 0)$ ]  $\Delta\_max = \min \{I_{i,t1}; Q_{i,t3}\}$ 
                        değil ise  $\Delta\_max=0$ 
                         $\Delta \leftarrow rassal\{0, \Delta\_max\}$ 
                        hesapla  $\Phi_{maliyet}$ 
                         $X_{i,t1} = X_{i,t1} - \Delta$ 
                         $X_{i,t3} = X_{i,t3} + \Delta$ 
                        güncelle  $\forall O_t, C_t, I_t$ 
                        Maliyet = Maliyet +  $\Phi_{maliyet}$ 
                        eğer (Maliyet < MinMal), o zaman MinMal = Maliyet
                    }
            }
        }
    }
    bitir;
}

```

/İyileştirme sezgiseli n kere tekrarlı

/ Geri ötele Delta kadar t2'den t1'e

/(t+1)'den Delta kadar düş

/(t)'ye Delta kadar ekle

/Tüm parametreleri hesapla

/Maliyet değerini güncelle

/İleri ötele Delta kadar t1'den t3'e

/(t)'den Delta kadar düş

/(t+2)'ye Delta kadar ekle

/Tüm parametreleri hesapla

/Maliyet değerini güncelle

İyileştirme sezgiselinin ilk adımlarında, daha önce de tanımlandığı biçimde, başlangıç çözümü verilerine göre ötelemesi gerçekleştirilecek ürünün ve dönemlerin seçimi gerçekleştirilmektedir.

Mevcut veriler ile, kapasite kısıtına göre ($C_t + O_t$) en yoğun dönem tespit edilmekte ve bu dönem t_2 parametresine, bu dönemden bir önceki dönem ise t_1 parametresine eşitlenmektedir. Algoritma başlangıcında öncelikle, geri yönlü öteleme yapılacağı için ötelemenin t_2 'den t_1 'e yapılacağı bilinmektedir.

Her iterasyonda sadece bir öteleme yapılabildiği için, hangi periyotlar arasında bu parti aktarımının gerçekleştirileceğinin belirlenmesinin ardından, hangi üründen transferin yapılacağı bir diğer karar problemi halini almaktadır. Üçüncü bölümde tanımlanan Baskın Küme 1.1 özelliğine göre, en yoğun dönemden bir önceki döneme yapılacak aktarımda ürün seçimi için, dönemler arasındaki toplam elde bulundurma ve üretme maliyeti farklarının kontrol edilmesi gerekmektedir.

Bu aşamada, t_2 döneminde üretilen tüm ürünlerin $c_{i,t1} + h_{i,t1} - c_{i,t2} - h_{i,t2}$ değeri tek tek kontrol edilir ve bu fark minimum olan ürün transferi yapılacak ürün çeşidi olarak seçilir. Baskın küme tanımı içinde, kümeyi sağlayan bir diğer durum, seçilen ürünün o dönemde herhangi bir üretimi olmaması durumunda, o dönemde en çok kaynak kullanan ürünün seçiminin Baskınlığı koruyacağı durumudur. Bu bakış açısına göre, ilgili t_2 periyodunda, birim üretim zamanı ile üretilen miktar çarpımı en büyük olan ürün bir önceki döneme ötelenmek üzere seçilmektedir. Bu koşulunda sağlanmaması durumunda, rassal bir biçimde i ürününün seçimi gerçekleştirilmektedir.

Bu çerçevede, Baskın kümeyi geren bir durum, seçilen en yoğun dönemin 1. dönem olması halidir. Bu durumda, parti büyüklüğünün aktarılabilineceği herhangi bir ön dönem bulunmadığı için arama algoritmasının farklı bir dönemi seçmesi gerekmektedir. Bu durumun gerçekleşmesi halinde, algoritma planlama dönem sayısının en büyük değeri de dikkate alınarak, transfer periyodunu rassal bir biçimde belirlemektedir. Bu belirlemenin ardından, hangi ürününün transfere konu olacağı yukarı da tanımlanan strateji ile tekrar belirlenir. Bu yaklaşım, Baskın küme dahilinde bulunmadığından, algoritmaya sürekli bir iyileştirme değil, global optimumu arama yolunda bir rassallık kazandırır.

Barbarosoğlu ve Özdamar, 2000 yılında kaleme aldıkları bir çalışmada, karar parametrelerini rassal bir biçimde belirlemenin optimum garantisi vermediğini fakat,

global optimum arama stratejisine çok uyum gösterdiğini not etmişlerdir (Barbarosoğlu ve Özdamar, 2000).

Aktarımı yapılacak ürünün ve dönemlerin tespitinin ardından, hangi miktarda transfer yapılacağına tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çerçevede, $ava_cap(t_1)$ parametresiyle, aktarımın gerçekleştirileceği dönemdeki kapasite açığı hesaplanır. Bunun ardından, toplam boş kapasite ürün için birim üretim zamanına bölünerek, ne kadar ürün kapasitesi olduğu hesaplanır ($Q_{i,t1}$).

Baskın küme 3.2 tanımına göre, ötelenebilecek maksimum miktarlar belirlenir ve bunun ardından, ötelenecek miktar sıfır ile maksimum miktar arasında bir rassal sayı olarak atanır.

Bu problemde, öteleme yapılacak miktar olarak, ötelenebilecek maksimum miktarın seçilmemesinin sebebi, algoritmanın global optimumu arama çabalarına rassal özellikler katarak yardımcı olmaktır (Özdamar ve Birbil, 1998).

Transfer edilecek miktarların da belirlenmesinin ardından, bu transferin toplam amaç fonksiyonu üzerinde yarattığı değişiklik kontrol edilir. Önceki bölümlerde aktarıldığı üzere, bu adımda tavlama benzetimi metasezgisel yaklaşımın özelliklerinden faydalanılmaktadır. Eğer maliyet değişimi, negatif ise, yani adım olumlu yönde ise hemen kabul edilir, kabul edilmesini gerektirecek bir diğer durum ise tavlama benzetiminin önceki bölümlerde anlatılan dinamikler ile adımı amaç fonksiyonunu kötüleştirse dahi kabul etmesi halidir. Eğer atılan adım, bu iki stratejiden herhangi biri yardımıyla kabul edilirse, t_2 periyodundan t_1 periyoduna delta kadar üretimin taşınması gerekmektedir. Bu çerçevede tüm diğer parametreler, toplam maliyet dahil olmak üzere güncelleştirilir. (Geri öteleme)

Eğer atılan adım reddedilirse, ileri öteleme yaklaşımı uygulamaya alınır, bu yaklaşımda ileri ötelenecek ürün zaten belirlidir. Belirlenmesi gereken, hangi döneme hangi miktarda öteleneceğidir. Çalışma kapsamında, adımın reddi halinde ilgili partinin 2 dönem sonraya transferi gerçekleştirilmektedir. Bu sayede, Baskın küme 3.1 tanımının boşluklu maliyet özelliğinden faydalanmış olunur. Maksimum ne kadar transfer edileceğinin belirlenmesi ise, Baskın küme 3.2 özellikleri kullanılarak belirlenmektedir. Bu adımların ardından, benzer kararlar ile ötelenecek miktar belirlenir ve ileri yönlü öteleme gerçekleştirilir. Herhangi bir biçimde, bu adımın maliyet fonksiyonu üzerindeki etkisi kontrol edilmez adım doğrudan uygulanır.

Sunulan bu iyileştirme sezgiseli daha önce de bahsedildiği üzere, melez bir yapıya sahiptir. Hem parti büyüklüğü teorisinin hem de metasezgisel algoritmalar teorisinin özelliklerini kullanan yaklaşım, parametre ayarı açısından da analiz edilmiştir. Algoritmanın durdurma kriteri olarak başlangıç çözümlü küçük problemler için 150 iterasyon olmasına karar verilmiştir. Diğer taraftan yapılan gözlemlerde, küçük problem yapıları için 50-60 iterasyonda iyileştirme sağlanamayan en iyi duruma geldiği gözlemlenmektedir. Bu da algoritmanın kolay ama etkili bir biçimde çalıştığının en temel göstergelerindendir.

4.3 Görsel Örnek

Ayrıntılı bir biçimde özellikleri aktarılan algoritmanın sayısal sonuç analizinde ayrıntılı bir biçimde performans değerlendirmesi hazırlanacaktır. Fakat; temel değişkenlerin ve değişimlerin görülebilmesi adına Çizelge 4.3’de görsel bir örnek sunulmuştur. Bu örnekte, sadece atılan bir adımın herhangi bir veri setinde ne gibi değişikliklere yol açtığı aktarılacaktır. Bu sayede, adımların atılış şekli ve sağlanan değişiklikler hakkında daha ayrıntılı bir fikir sahibi olunabilir.

Çizelge 4.3 : Görsel bir örnek.

	$X_{i,t2}(1)$	$I_{i,t2}(1)$	$X_{i,t1}(1)$	$I_{i,t1}(1)$	Delta	$\Phi(\text{Maliyet})$
Adımdan önce	50	0	75	0	-	
Adımdan sonra	72	0	53	0	22	-2641

Bu yapıda sunulan örnekte, herhangi bir iterasyonda, başlangıç ve bitiş parametrelerinin yapısı görülmektedir. 22 adetlik bir parti, t_2 periyodundan t_1 periyoduna atıldığında, dönem sonu envanter değerlerinde herhangi farklılık gözlenmez iken, parti büyüklüğü değerleri birinde artarken diğerinde azalmaktadır.

Bu noktada not edilmesi gereken bir diğer önemli nokta, güncelleme stratejileri ile ilgilidir. Bir adım atıldıktan sonra, dönem sonu elde kalan envanter adetlerinin değerleri güncellenirken, t_2 döneminden önceki tüm dönemler için envanter balans dengesi yazılır, maksimum fazla mesai ve normal mesai kısıtlarıyla değerler yeniden hesaplanmaktadır. Bu sayede, eğer elde edilen sonuç, farklı kriterler açısından olurlu bölgede değilse dahi, parametre ayarı ile olurlu bölgeye sokulmuş olunmaktadır.

Çizelge 4.4 : Envanter seviyelerinin güncellenmesi komutları.

```
for(i=1;i<max_col;i++)
{for(j=1;j<=t2;j++)
{a=j-1;
inventory[i][j]=lotsize[i][j]+inventory[i][a]-demand[i][j];}}
```

Çizelge 4.4'te kod yapısından da görüldüğü üzere, tüm ürünler için t_2 döneminin önündeki tüm dönem verilerinde dönem sonu envanter değerleri envanter denge kısıtına göre yeniden değer almaktadır. Benzer bir biçimde, geri öteleme gerçekleştirildiği durumda normal mesai ve fazla mesai parametrelerinin güncelleştirilmesine yönelik C++ kodu Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Geri öteleme kapasite değerlerinin güncellenmesine ilişkin komutlar.

```
lotsize[item][t2]=lotsize[item][t2]-delta;
lotsize[item][t1]=lotsize[item][t1]+delta;
for(p=1;p<max_col;p++)
    {s=pre[item][p];
    lotsize[s][t2]=lotsize[s][t2]-delta;
    lotsize[s][t1]=lotsize[s][t1]+delta;
    if(lotsize[s][t2]<=0)
    {lotsize[s][t2]=0;
    lotsize[s][(t2+1)]=lotsize[s][(t2+1)]-delta;}}
if(overtime[t2]<=0)
    {capacity[t2]=capacity[t2]-(delta*ptime[item]);
    for(p=1;p<max_col;p++)
        {s=pre[item][p];
        capacity[t2]=capacity[t2]-delta*ptime[s];}}
else
    {overtime[t2]=overtime[t2]-delta*ptime[item];
    for(p=1;p<max_col;p++)
        {s=pre[item][p];
        overtime[t2]=overtime[t2]-delta*ptime[s];}
    if(overtime[t2]<=0)
    {capacity[t2]=max_cap[t2]+overtime[t2];
    for(p=1;p<max_col;p++)
        {s=pre[item][p];
        capacity[t2]=capacity[t2]-delta*ptme[s];}
    overtime[t2]=0;}}
if(overtime[t1]<=0)
    {capacity[t1]=capacity[t1]+delta*ptime[item];
    for(p=1;p<max_col;p++)
        {s=pre[item][p];
        capacity[t1]=capacity[t1]+delta*ptme[s];}
    if(capacity[t1]>=max_cap[t1])
    {overtime[t1]=capacity[t1]-max_cap[t1];
    capacity[t1]=max_cap[t1];}
    else
    capacity[t1]=capacity[t1];}
else
    {overtime[t1]=overtime[t1]+delta*ptime[item];
    capacity[t1]=capacity[t1];}
```

Her ne kadar, pseudo kodu yazımı, algoritma akışını yansıtıyor olsa da, gerçek bir programlama dilinde bunu göstermek oldukça zahmetli bir iştir. Tanımlanan bu yapı için Visual Studio C++ 2008 dilinde, yaklaşık 800 satırlık kod yazılmıştır.

Algoritma adımları dahilinde kullanılan tavlama benzetimi metasezgiseli hakkında ve çalışma kapsamında kullanılan parametre ayarları hakkında üçüncü bölüm kapsamında tüm bilgiler aktarılmıştır. Algoritma kapsamında zekilik tanımı, elde tutma ve fazla mesai maliyetlerinde transfer atamaları ile bilinçli azaltışlara gidilmesinden kaynaklanmaktadır.

Oluşturulan algoritmaların önceki bölümlerde aktarıldığı üzere, performans değerlendirmelerinin gerçekleştirildiği bazı kontrol süreçleri bulunmaktadır. Beşinci bölümde, tasarlanan algoritmanın belirli problem yapılarına göre etkinliği test edilecek ve geliştirilebilir yanları vurgulanacaktır.

5. SAYISAL ALGORİTMA TESTLERİ

Algoritma performansının analizinde sıklıkla kullanılan iki temel yöntem bulunmaktadır. Bunlar, (i) Algoritmanın küçük problemlerde optimuma nasıl yakınsadığı, (ii) sezgiselin hesaplama gereksinimleri olarak listelenebilir. Hesaplama gereksinimleri ile kasıt, algoritma zamanı, durdurma özellikleri, hafızada kaplanan alan gibi büyük test problemlerinde izlenen performans ölçütleridir (Silver, 2004).

Bu bağlamda, açıklanması gereken hususlar, sezgisel algoritmaların optimum ile karşılaştırmaların nasıl gerçekleştirildiği hususudur. Bunun yanı sıra, sadece test problem setinin optimumu ile karşılaştırma eksik bir değerlendirme yaratabilir. Farklı özellikleri ile belirlenen problem çözümlerine ilişkin (Alt sınır, En kötü olurlu çözüm) karşılaştırmalar da test sistematığının güçlenmesini sağlamaktadır (Osman ve Leporta, 1996).

En küçükleme problemlerinde, bilindiği üzere büyük problemler için optimum çözümün bulunması her zaman olurlu olmamaktadır. Bu çerçevede, problemin gevşetilmiş versiyonlarından elde edilen alt limit çözümlerinin de karşılaştırma parametresi olarak kullanıldığının not edilmesi gerekmektedir. Bu sayede, optimumu bulmadan da, alt sınırlar dikkate alınarak çözüme yakınsanmış olunur (Almada-Lobo ve James, 2010).

Algoritmadan beklenen bir diğer özellik, optimuma yakın olması kadar, gürbüz özelliklere de sahip olmasıdır. Gürbüzlüğün performansa yansıtılmış görünümü, algoritma yapısının seçilen veri kümesine bağımlı olmadığının tespiti ve kötü sonuçlar veren bir iterasyonların olmaması olarak nitelenmektedir. Eğer, tasarlanan test kümesi üzerinden çözüm duyarlılığı ortaya çıkıyor ise, hangi durumlarda bu duyarlılığın gerçekleştiği tespit edilmeli ve algoritma bu durumlarda uygulamaya alınmamalıdır (Harel, 1993).

Bu çerçevede, optimallik testleri için kullanılan temel gösterge elde edilen sonucun optimum çözümden ne kadar uzak olduğuna ilişkindir. Kullanılan denklemler genellikle yüzde olarak mesafe ölçen yaklaşımlardır (Silver, 2004):

$$GAP_1 = [(Z_H - Z_O) / Z_O] * 100 \quad (5.1)$$

$$GAP_2 = [(Z_C - Z_O) / Z_O] * 100 \quad (5.2)$$

$$GAP_3 = [(Z_C - Z_H) / Z_C] * 100 \quad (5.3)$$

$$GAP_4 = [(Z_H - Z_O) / (Z_C - Z_O)] * 100 \quad (5.4)$$

Bu denklem seti (5.1, 5.2, 5.3, 5.4) ile ifade edilen değerlendirme kriterlerinin tamamı yüzde fark belirttiği için karar vericiler açısından gerçekleşen maliyet iyileşmesinin tamamını görmek de pozitif yönlü bir etki yaratabilir. Bu formüllerde kullanılan gösterimler;

Z_H = Sezgisel çözüm ile elde edilen amaç fonksiyonu değeri

Z_O = Optimum çözümün amaç fonksiyonu değeri

Z_C = Başlangıç çözümünün amaç fonksiyonu değeri

GAP_1 ile değer, sezgisel çözümün optimum çözüme olan uzaklığından bahsetmektedir. Bu fark tüm sezgisel yaklaşımların değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan bir faktördür. Doğrudan net bir değer alması beklenmez, fakat çözüm tiplerine göre hangi aralıkta olabileceği kestirilmektedir. Örneğin; çok karmaşık problem yapıları için GAP_1 değerinde elde edilen %15'lik değer oldukça iyi olarak yorumlanabilir. Bazı durumlarda elde edilen %4 yakınsama ise, problem tipine göre kötü olarak değerlendirilebilir. Bu çerçevede yapılması gereken, literatürde benzer problemlere çalışan makalelerden elde edilen değerler ile karşılaştırmalar yapmaktır. Çalışma kapsamında da, ilgili probleme benzer bir problem olarak Özdamar ve Bozyel tarafından ortaya atılan GAP değerleri ile karşılaştırmalar yapılacaktır.

GAP_2 ile ifade edilen parametrede, başlangıç çözümü ile optimuma ne kadar yakınlığı tespit edilir. Bu tespit, toplam algoritma performansını belirlemek adına oldukça yararlı bir değerdir. Çünkü, bu parametre sayesinde kurulan yapının başlangıç çözümüne ne kadar bağımlı olduğu konusunda fikir sahibi olunur. Algoritmalar teorisi bölümünde anlatıldığı gibi, bir başlangıç çözümünün çok iyi olması, o algoritmanın optimum çözüme çok iyi yakınsayacağının göstergesi değildir. Hatta, bazı durumlarda bu yakınsama, tüm algoritmanın global optimuma yakınsaması konusunda handikap olarak görülmektedir. Tez çalışması kapsamında

da bu parametrenin aldığı değerler ile GAP_1 'in aldığı değerler karşılaştırılarak algoritmanın gürbüzlüğü hakkında yorumlar yapılacaktır.

(5.3), (5.4) denklemleri ile tanımlanan GAP_3 , GAP_4 parametreleri ise, iyileştirme sezgiseli tarafından yapılan iyileştirmenin ne kadar olduğu hakkında fikir vermektedir. Bu parametreler sayesinde de saf iyileştirme sezgiseli tarafından ne kadar ilerleme sağlandığı görülebilmektedir. GAP_4 parametresi, belirtilen aralıkta % değişime oldukça duyarlı bir biçimde hazırlanmış bir değişkenliği ifade etmektedir.

Yüzde uzaklık ifadelerinin yanı sıra, amaç fonksiyonunda gerçekleşen iyileştirmeler de algoritma performansı açısından bilgiler vermektedir. Bu bağlamda kullanılan denklem (5.5) ile belirtilmiştir.

$$GAP_5 = Z_H - Z_O \quad (5.5)$$

Bu denklem yapısı ile ise, sezgisel çözümün maliyet kalemi açısından uzaklığının optimumdan ne kadar mesafede olduğu gösterilmektedir. Şimdiye kadar tanımlanan bu 5 farklı performans ölçütü de değerlendirme süreçlerinde başvurulacak ölçütlerdir. Not edilmesi gereken bir diğer önemli nokta, bu parametrelerin sadece, küçük test problemlerine uyarlanabilir değişkenler olduğu bilgisidir. Büyük problem tipleri için optimumu bulma süresi polinom olmayan zaman diliminde gerçekleşmektedir.

5.1 Test Problemleri Veri Seti Yapısı

Oluşturulan sezgisel yöntemlerin değerlendirme süreçlerinde test problemlerinin kullanıldığı önceki kısımlarda aktarılmıştır. Bu bölümde, kullanılan test problemlerinin özelliklerinden, çeşitlerinden, nasıl oluşturulduklarından ve hangi parametreleri kapsadıklarından bahsedilecektir. Bu sayede, daha ayrıntılı bir biçimde anlaşılacak olan yapı gereği problem özellikleri hakkında fikir sahibi olunacaktır.

5.1.1 Veri Seti Çeşitleri

Algoritmaların değerlendirilmesinde kullanılan iki ana strateji yapısı, en temelde iki tip test problemi yapısının oluşturulmasını zorunlu kılmaktadır. Bu yapıların sayısı duyarlılığı ölçülmek istenilen değişken sayısına bağlı olarak belirlenmektedir. Öncelikle üretilecek küçük problem tipleri üzerinden optimuma yakınlık testleri gerçekleştirilmeli, bunun ardından üretilecek büyük problem tipleri ile birlikte,

algoritma çalışma zamanı, durdurma özellikleri, parametre duyarlılığı gibi konular değerlendirilecektir.

Bu çerçevede, tez çalışması kapsamında Sınıf-A ve Sınıf-B olmak üzere iki blok test problemi oluşturulması sağlanmıştır. Her bir sınıf test probleminin içeriğindeki farklı veri setleri aynı kaynaktan gelmelerine rağmen farklı değerler alarak, algoritmanın değişik değerlerle benzer sonuçlar verip vermediğinin testini gerçekleştirmektedir.

Sınıf-A test problemleri, optimum çözüm ile kontrol amaçlı bir özellikte üretilmiştir. Bu bağlamda, 4 adet ürün, 4 adet periyot içeren bu problem tiplerinden toplamda 20 adet farklı problem değerleri türetilmiştir. Bu sayede, sorun tipi için bu özellikleri sağlayan yapıların değişkenlikleri test edilmiş olunacaktır.

Sınıf-B test problemleri ise, iki alt gruptan oluşmaktadır. Bir grupta, dönem sayısı fazla seçilmiş iken bir diğer grupta, ürün sayısı fazla seçilmiştir. Sınıf-B1 olarak adlandırılan grup tipi için, 10 periyot 4 ürün planlaması yapılmıştır. Sınıf-B2 olarak adlandırılan yapılanma için ise, 3 periyot 10 ürün değeri birer farklı test problemi olmak koşulu ile hazırlanmıştır.

İncelenen parti büyüklüğü problem uzantı yapısı, ilk defa analiz edilen özelliklere sahip olduğundan dolayı literatür kapsamında, herhangi bir veri seti çözümü bulunmamaktadır. Bu çerçevede, planlanan bu test problemleri kendi içinde mantıklı stratejiler ile rassal tekniklerle türetme problemler olarak değerlendirilmektedirler.

Literatürde doğrudan, aynı problem tipi ile çalışan herhangi bir araştırmaya rastlanmadığı için bir karşılaştırma sezgiseli bulunmamıştır. Test problemlerinin rassal yapıda oluşturulmasının sağlayacağı bir diğer fayda, üzerinde oynanmış veya değerleri değiştirilmiş test problemleri oluşması olasılığının önüne geçilmesidir (Brahimi vd., 2010).

Bu sayede, algoritma performansı Sınıf-B tipi veri seti için daha özgün bir biçimde kontrol edilebilmektedir. Rassal yapı, Sınıf-A tipindeki problemler için herhangi bir farkındalık yaratmamaktadır. Çünkü; bu problem kümesindeki çözümler için zaten optimum değerler Xpress yazılımı kullanılarak hesaplatılmıştır.

5.1.2 Test Problemlerinin Özellikleri

Algoritma tasarımı bölümünde ayrıntılı ile anlatılan, sezgisel veri olarak verilecek test parametrelerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Yaklaşım ile oluşturulan yapı

gereği, ürünlere ilişkin talepler, maksimum fazla ve normal mesai süreleri, birim ürün işleme zamanları ve her bir maliyet kalemi algoritma yapısına belirli kabuller ile veri olarak verilmektedir.

Bu çerçevede rassal yapının yansıtılması adına birden fazla tip problem yapısı olduğu bilgisiyle zeki türetme yöntemlerine başvurulmuştur. Algoritmanın gürbüzlüğüne aynı sınıfta bulunan farklı problemlere gösterdiği stabil sonuçlarla ölçüleceği yaklaşımda, her bir alt sınıf problem yapısında da dalgalanmalara sebep vererek tüm tip ürün özellikleri yansıtılma yoluna gidilmiştir.

Sınıf-A tipi problemlerde 4 adet ürün çeşitliliğinin olacağı vurgulanmıştı, bu ürünlerin parametrelerinin seçiminde oldukça geniş bir veri yelpazesinden faydalanılmıştır. Bu 4 tip ürün yapısı için ortak atanan parametreler talep değerleri ve mesai verileridir. Bu sınıftaki ürünlerin tamamının talebinin ortalaması 140, standart sapması 60 birim olan normal dağılımdan geldiği farz edilmiştir. Maksimum normal ve fazla mesai değerlerinin atanmasında ise, toplam yükün katsayısı hesabına göre 1.8, 2.3, 0.85 katsayıları kullanılmış ve bu değerlere de rassallık kazandırılmıştır. Birim fazla mesai normal mesai maliyetlerinin dikkate alındığı türetme sistemlerinde elde bulundurma maliyeti ile fazla mesai maliyeti arasında bir ödünleşme olduğu için her bir ürün tipi için h/ov oranı üç farklı seviyede belirlenmiştir. Bu seviyeler 1.1, 0.9 ve 1.5 değerlerini almaktadır ve tüm ürün tipleri ve problem tipleri için rastgele bir belirlenmiştir. Birim ürünleri üretmek için gerekli zaman ise 1 ile 5 arasında uniform dağılımdan türetilmiştir.

Farklı ürün tiplerini modele yansıtabilmek adına, üretilecek bu 4 tip ürün yapısının her birinde farklı c/h değerleri kullanılmıştır. Ürün1 yapısı için, bu oran ortalaması 12, standart sapması 7 olan normal dağılımdan türetilmiştir. Bu tip ürünler ile yansıtılan, üretim maliyetinin elde tutma maliyetine göre oldukça yüksek olan ürün çeşitleridir. Ürün2 örnekleme için ise, bu oran ortalaması 14, standart sapması 13 olan normal dağılım verileri şeklinde türetilmiştir. Bu sayede, ürün maliyetlerinde yüksek değişkenlik olan gerçek hayat ürün kümeleri bu modele Ürün2 başlığı altında yansıtılmıştır. Bu maliyet değerleri dalgalı ürünlerde, durağan bir çözüm yapısı sağlamak algoritmanın gürbüzlüğü hakkında da fikir verecektir. Ürün3 kümesi ile tanımlanan c/h değerleri ortalaması 7, standart sapması 3 olan değerlerden seçilmiştir. Ürün4 ise, bu oran ortalaması 2, standart sapması 1 olan normal dağılımdan gelmektedir. Bu ürün tiplerinde ise, gözlemlendiği üzere c/h oranı oldukça

düşük değerler almaktadır. Bu sayede, elde bulundurma maliyeti neredeyse üretim maliyeti kadar yüksek olan örneğin; bozulabilir kimyasallar için de parti büyüklüğü planlaması sonuçları değerlendirmeye alınabilir. Bu veri setine göre tanımlanan Sınıf-A ve Sınıf-B tipli test problemleri değerlendirmeye alınabilir. Sınıf-B tipi problem yapısında ise, temel olarak bu yaklaşım korunarak ek, ürünlerin parametreleri benzer şekillerde belirlenmiştir.

5.2 Sayısal Performans Analizi

Şimdiye kadar parametreleri ile birlikte tanımlanan problem yapısının algoritmaya verilmiş ve çözüm alınmış versiyonlarının sonuçlarına ilişkin değerlendirmeler sunulacaktır. Gerçekleştirilen tüm hesaplama ve kontrol işlemleri için DELL marka işlemcisi IntelCore i5 İŞLEMCİ, 2.53GHz, 64 bit işletim sistemi bulunan bir laptop kullanılmıştır. Sınıf-A tipi tasarlanan problemlerin her biri Bölüm 3 dahilinde aktarılan matematiksel model yardımıyla “Xpress 7.1, 32 bit” yazılımı kullanılarak optimum çözüme kavuşturulmuştur. Bu tip problemler için algoritma performansı açısından oldukça iyi ön parametreler elde edilmiştir. Bu sınıf problem testleri için algoritmanın çözüm bulması en fazla 1 saniye gibi bir değer almaktadır. Sayısal karşılaştırma performansı için 20 adet farklı test problemi ile elde edilen kriter değerleri için ise, Çizelge 5.1’deki veriler kontrol edilebilir.

Çizelge 5.1 : Sınıf-A tipi problemler için 20 test problemi sonuçları.

	Ortalama	Std. Sapma.	Parametreler
GAP ₁	3,58	2,85	Algoritma Performansı (%100)
GAP ₂	18,09	14,39	Başlangıç Çözümü Performansı
GAP ₃	47,43	26,61	Başlangıç Çözümünden İyileştirme
GAP ₄	54,80	44,44	Başlangıç çözümü ile sezgisel farkı
GAP ₅	4494 \$	3707	Amaç fonksiyonu açısından reel fark

Çizelge 5.1’deki verilere göre, algoritma %3.58 oranında optimum çözüme yakın sonuç vermektedir. Benzer problem yapıları için yapılacak bir karşılaştırmaya göre elde edilen sonuç oldukça geçerli bir algoritma kurulduğunu göstermektedir. Algoritmanın optimuma yakınlık açısından elde ettiği sonuç, geliştirilmesi açısından ışık verici özelliklere sahiptir. Özdamar ve Bozyel tarafından benzer fakat, ayar zamanları ve sınırsız fazla mesai mantığı altında yapılan çalışmada tavlama

benzetimi dışında elde edilen sonuçlar optimuma farklı algoritmalarla göre, %5 ile %25 arasında yakınsamaktadır (Özdamar ve Bozyel, 2000).

GAP₂ ile yansıtılan başlangıç çözümünün performansı, ortalamada %18 seviyesinde optimuma yakınsamaktadır. Burada not edilmesi gereken önemli bir husus, başlangıç çözümünün olurlu bölgede sonuç verme zorunluluğu olmadığı için, aldığı amaç fonksiyonu değerini doğrudan değerlendirmeye almak pek mantıklı görünmemektedir. Fakat, elde edilen sonuçlara göre başlangıç çözümü de belirtilen problem yapısına nispeten uyumlu özellikler göstermektedir.

GAP₃ ise, başlangıç çözümü üzerinden sağlanan iyileştirmenin tanımlandığı bir göstergedir. Kurulan algoritma yardımıyla başlangıç çözümü ortalama %47 oranında iyileştirilmiş ve optimuma yakınsatılmıştır. GAP₄ için yapılan benzer bir yorumda, başlangıç çözümü ile sezgisel iyileştirmede yakalanan yüzde farkı ayrıntılı bir biçimde görülmektedir. Bu iki değerlerin hesaplanmasında başlangıç çözümü olurlu bölgenin dışında olan gözlemler dışlanmıştır. Bu sayede, gerçek bir performans değerlendirme sistemi oluşturulmuştur.

Son olarak, Çizelge 5.1'e göre, doğrudan amaç fonksiyonunda yakınsama miktarının ne olduğu inceleme konusu olarak sunulmuştur. Ortalama maliyet değerleri açısından toplam maliyette \$4490 değerinde bir optimumdan sapma elde edilmiştir.

Bu problem seti için elde edilen çözüm değerlerinin gösterildiği EK B içindeki çizelgede, her bir deneme için 3 tip yapının (optimum çözüm, başlangıç çözümü, sezgisel yaklaşımın tümü) aldığı amaç fonksiyonu değerleri, bu denemelere verilen veri setlerinin özellikleri, performans parametrelerinin değerleri ve varsa açıklamalar gösterilmiştir.

Sınıf-A tipi problem yapıları için algoritma yaklaşık 1 işlemci saniye zamanında çözümü elde etmektedir. Bu elde etme sürecinde ortalama 50 iterasyonda bu değerleri sağladığı gözlemlenen algoritmanın yapılan 20 test değerlendirmesinin birinde doğrudan optimum değeri elde ettiği gözlenmiştir.

Algoritma gürbüzlüğü açısından incelendiğinde ise, Ürün2 ile sisteme verilen değişkenliğin optimumu elde etmede sıkıntı yaratmadığı gözlenmektedir. Parametre değerlerinde yaklaşık ortalama kadar standart sapma bulunan test problemleri özelliklerine rağmen, algoritma optimuma ortalama %3,58 ve standart sapma olarak %2,85 oranında yaklaşmıştır. Bu standart sapma değerinin düşüklüğü de, tasarlanan

algoritmanın oldukça gürbüz özelliklere sahip olduğu hususunda güvence vermektedir.

Algoritma performansı açısından not edilmesi gereken bir diğer önemli nokta, tasarlanan yapının başlangıç çözümüne bağımlılığıdır. Bu çerçevede, yapılan 20 test probleminin 4'ün de başlangıç çözümü, test problemi kümesi için %5,40 ve altında sonuç vermektedir. Bu test problemi örneklerinde (başlangıç çözümü performansı iyi olan), algoritma gelişim gösterme de toplamda ortalama %4'ten daha iyi bir sonuç yakalayamamıştır. Algoritmalar teorisinde aktarıldığı üzere, bazı yapıların başlangıç çözümünün iyi olması, optimum çözümü iyi bulamayacağına anlamına gelmektedir. Çalışma kapsamında tasarlanan yapı da benzer özellikler göstermektedir, başlangıç çözümünün optimumluğunun kötü olduğu durumlarda algoritma toplamda optimuma çok iyi yakınsarken, çok iyi başlangıç çözümlerinde iyileştirme gerçekleştirilemediği gözlemlenmiştir.

Bu çerçevede, Sınıf-A tipi problem yapılarında, oldukça iyi yakınsadığı gözlemlenen algoritmanın daha büyük problemlerde nasıl performans göstereceği merak konusudur. Büyük problemlerde optimuma yakınlık konusunda herhangi bir fikir verilemeyecek yapı için, algoritma çalıştırıldığında sonucun ortalama 12 işlemci saniye zamanda elde edildiği gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra, durdurma kriteri olarak tespit edilen maksimum iterasyon sayısı veya artık ilerleyememe alternatifleri arasında algoritma farklı özellikler göstermektedir. Sınıf-B1 tipi problemde oldukça fazla dönem sayısı mantığı altında ileri/geri ötelemeleri gerçekleştiren algoritma yapısında durdurma kriteri olarak, sürekli bir biçimde iterasyon sayısı değerine takılmıştır. Sınıf-B2 tipi problemlerde ise, ürün sayısının fazla olduğu durum için algoritma artık ilerleyememe özelliğine takılarak ileri yönlü adım atma özelliğini kaybedip durmuştur.

Bu çerçevede, algoritma performansının büyük test problemi yapıları için de küçüklere benzer özellikler gösterdiği söylenebilir. Bu yorumun yapılabilmesinde en önemli gösterge, algoritma çalışma zamanından elde edilen veriler ile durdurma şeklinin gerçekleşmesi durumudur. Yapılan gözlemlerin hiçbirinde, algoritma içinden çıkılmaz sonsuz döngülere kapılmamış ve sürekli bir biçimde belirli bir oranda iyileştirme sağlayarak durdurulma noktasına gelmiştir.

Sonuç olarak, fazla mesai kısıtı altında, çok rnl, çok periyotlu parti büyüklüğü planlama kararları için oluşturulan algoritmanın performansının ölçümü farklı alt kriterlere göre gerçeklenmiş ve elde edilen sonuçlar ayrıntılı bir biçimde not edilmiştir. Benzer problem yapıları için hazırlanan çalışmalara kıyaslandığında oldukça iyi sonuçlar verdiği gözlemlenen algoritma yapısının, küçük problem kümelerinde optimuma yaklaşık %3,58 oranında yaklaştığı görülürken, büyük problem tipleri için ise, durdurma kriteri ve çalışma zamanı açısından oldukça etkili değerler aldığı söylenebilir.

Tez çalışmasının son bölümünde ise, şimdiye kadar yapılmış bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve geliştirilmeye açık yanlar tartışılacak ve bu tezin literatüre sağladığı katkıdan ve kullanım olanaklarından bahsedilecektir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Üretim planlama ve kontrol teorisinin temel alt alanlarından olan parti büyüklüğü planlama problemi, bir ürün veya ürün grubunun hangi üretim periyodunda hangi miktarda üretilmesi gerektiği konusunda karar verme üzerine yapılandırılmıştır.

Çok ürünlü, çok periyotlu, kapasite kısıtı altında parti büyüklüğü planlama problemleri, uzantı problem yapıları ile birlikte sahip olduğu NP-zor karakteristiğinden dolayı sezgisel ve metasezgisel algoritmalar ile sıklıkla en yakın optimum çözüme kavuşturulmaktadır. Çalışma kapsamında, incelenen problem yapısının oldukça farklı uzantı problem çeşitleri bulunduğu için ayrıntılı literatür taraması ile hangi alana yoğunlaşılması gerektiği konusunda fikir edinilmiştir.

Bu çerçevede, incelenen problemin iki temel kısıtının, önceki çalışmalarda farklı teknikler ile gevşetilip, yeniden modellendiği gözlemlenirken, başlangıç çözümünün olurlu bölgede olup olmadığının kontrol edilmediği örneklere rastlanmamıştır. Bunun yanı sıra, şimdiye kadar yapılan çalışmaların hiçbirinde parti büyüklüğü planlama teorisi kullanılarak oluşturulabilecek baskın kümelerden faydalanılmamıştır. Çalışma kapsamında, uzantı bir parti büyüklüğü planlama problemi için geliştirilen iki aşamalı melez sezgisel yaklaşım sayesinde bu karmaşık problem için optimuma yakın çözümler elde edilmeye çalışılmıştır.

Kurulan algoritma, öncelikle dinamik parti büyüklüğü planlama tekniklerini kullanarak bir başlangıç çözümünü elde etmekte, bunun ardından, iyileştirme sezgiselinde zeki yöntemlerle bölünen ve periyotlar arasında ötelenen parti büyüklüklerinin amaç fonksiyonunda yarattığı değişiklik kontrol edilmektedir. Global arama tekniklerden Tavlama Benzetiminin kullanıldığı bu kısımda, atılan adım amaç fonksiyonu değerini düşüyorsa doğrudan kabul edilirken, adımın fonksiyon değerinde artışa yol açtığı durumlarda da ise, belirli bir olasılıkla da olsa atılan adımın uygulamaya alınır.

Tasarlanan algoritma yapısının, iki sınıf test problemi ile yapılan performans analizlerinde küçük problem kümesi için optimuma yaklaşık %3 oranında

yakınsadığı gözlemlenirken, büyük problem kümelerinde, genellikle oldukça kısa sayılabilecek işlemci zamanlarında en iyi çözüme yakınsanmıştır.

Hazırlanan çalışmanın, oldukça özgün özellikleri olmasına rağmen, ileri çalışmalar başlığı altında çok farklı özellikleri geliştirilebilir. Hazırlanan algoritma yapısal olarak çok seviyeli ürünler için de uygulanabilir özelliklere sahiptir. Sonraki çalışmalarda, çok seviyeli ürünler ile tek seviyeli ürünlerde algoritmanın nasıl performans gösterdiği gözlemlenecektir. Bunun yanı sıra, başlangıç çözümünde kullanılan sezgisel yöntem çok özel bir durum yaratmamaktadır. Bu çerçevede, farklı başlangıç çözümleri için algoritmanın iyileştirme sezgiselinin gösterdiği özellikler incelenbilir ve algoritma duyarlılığı test edilebilir. Son olarak, kullanılan Tavlama Benzetimi metasezgiselinde yapılacak parametre ayarlamaları sayesinde en uygun parametre kümesinin tespiti gerçekleştirilebilir.

Bu algoritma, ileride konu hakkında yapılacak diğer çalışmalara yol göstermesi adına öncü özelliklere sahiptir. Gerçek hayatta sıklıkla uygulaması olan bu oldukça zor problemin, en yakın optimum çözümlerinin tespiti, gelecek çalışmalara ışık tutması adına önemli bilgilerdir.

KAYNAKLAR

- Absi, N., and Kedad, S.S.**, 2008: The multi-item capacitated lot sizing problem with setup times and shortage costs. *European Journal of Operational Research*, Vol. **185**, no. 3, pp. 1351-1374.
- Alp, A., Çerçioğlu, H., Tokaylı, M.A., Dengiz, B.**, 2001: Stokastik Montaj Hattı Dengeleme: Bir Tavlama Benzetimi Algoritması. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, Cilt. **12**, no.3, sayfa 32-51.
- Aho, A.V., Hopcroft, J.E., and Ullman, J.D.**, 1974. The Design and Analysis of Computer Algorithms. Addison Wesley, USA.
- Almeder, C.**, 2010: A hybrid optimization approach for multi-level capacitated lot sizing problems. *European Journal of Operational Research*, Vol. **200**, no.2, pp. 559-606.
- Armour, G.C., and Buffa, E.S.**, 1963: A heuristic algorithm and a simulation approach to relative location of facilities. *Management Science*, Vol. **9**, pp.294-300.
- Ayan, T.Y.**, 2009: Kaynak kısıtlı çoklu proje planlama için tavlama benzetimi algoritması. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt. **23**, Sayı. 2, sayfa 101-118.
- Bahl, H.C., Ritzman, L.P., and Gupta, J.N.D.**, 1987: Determining lot sizes and resource requirements: A review, *Operations Research*, Vol. **35**, no.3, pp. 329-345.
- Baker, K.R.**, 1974. Introduction to Sequencing and Scheduling, John Wiley and Sons, USA.
- Barbarosoğlu, G., and Özdamar, L.**, 2000: Analysis of solution space-dependent performance of simulated annealing: the case of the multi-level capacitated lot sizing problem. *Computers & Operations Research*, Vol. **27**, pp. 895-903.
- Baum, S., and Carlson, R.**, 1979: On solutions that are better than most. *Omega*, Vol. **7**, pp.249-255.
- Belvaux, G., and Wolsey, L.A.**, 2001: Modelling Practical Lot Sizing Problems as Mixed-Integer Programms. *Management Science*, Vol. **47**, no.7, pp. 993-1007.
- Berretta, R., and Rodrigues, L.F.**, 2004: A memetic algorithm for a multistage capacitated lot sizing problem. *International Journal of Production Economics*, (87), pp. 67-81.

- Bitran, G.R., and Yanasse, H.H.,** 1982: Computational complexity of the capacitated lot size problem. *Management Science*, (28), 1174-1186.
- Blum, C., and Roli, A.,** 2003: Metaheuristics in combinatorial optimization: overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys*, Vol. 35, no. 3, pp.268-308.
- Brahimi, N., Perez, S.D., and Wolsey, S.A.,** 2010: Polyhedral and lagrangean approaches for lot sizing with production time windows and setup times, *Computers & Operations Research*, Vol. 37, pp.182-188.
- Buschkhül, L., Sahling, F., Helber, S., and Tempelmeier, H.,** 2008: Dynamic capacitated lot sizing problems: A classification and review of solution approaches. *OR Spectrum*, Vol. 32, pp. 231-261.
- Chen, H., and Chu, C.,** 2003: A lagrangean relaxation approach for supply chain planning with order/setup costs and capacity constraints. *International Journal of Systems Science and Systems Engineering*, Vol. 12, No. 1, pp. 98-110.
- Contreras, I., Diaz, J.A., and Fernandez, E.,** 2009: Lagrangean relaxation for the capacitated hub-location problem with single assignment. *OR Spectrum*, Vol. 31, pp. 483-505.
- Cook, W.J., Cunningham, W.H., Pulleyblank, and W.R., Schrijver, A.,** 1998. *Combinatorial Optimization*. John Wiley and Sons, USA.
- Diaby, M., Bahl, H.C., Karwan, and M.H., Zionts, S.,** 1992: A lagrangean relaxation approach for very-large-scale capacitated lot sizing. *Management Science*, Vol. 38, pp. 1329-1340.
- Editorial,** 2011: Lot Sizing and Scheduling: Industrial Extensions and Research Opportunities. *International Journal of Production Research*, Vol. 49, no.9, 2457-2461.
- Ferreira, D., França, P.M., Kimms, A., Morabito R., Rangel, S., and Toledo, C.F.M.,** 2008: Heuristics and Metaheuristics for lot sizing and scheduling in soft drink industry: a comparison study. *Studies in Computational Intelligence*, Vol. 128, pp. 169-210.
- Florian, M., and Klein, M.,** 1971: Deterministic production planning with concave costs and capacity constraints. *Management Science*, Vol. 18, p.12-20.
- Focacci, F., Laburthe, F., and Lodt, A.,** 2002. Local search and constraints programming. *Handbook of Metaheuristics*. Kluwer's Academic Publishing, MA.
- Gaafar, L.K., Nassef, A.O., and Aly, A.,** 2009: Fixed quantity dynamic lot sizing using simulated annealing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 41, pp. 122-131.
- Garey, M., and Johnson, D.,** 1979. *Computers and Intratractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. Freeman, San Francisco, CA.

- Gicquel, C., Minoux, M., and Dallery, Y.,** 2011: Exact solution approaches for the discrete lot sizing and scheduling problem with parallel resources. *International Journal of Production Research*, Vol. **49**, no.9, pp. 2587-2603.
- Glover, F., and Kochenberger, G.A.,** 2003. Handbook of Metaheuristics. Kluwer's International Series, USA.
- Glover, F., and Laguna M.,** 1997. Tabu Search. Kluwer's Academic Publishers, Boston.
- Gonçalves, J.F., and Sousa, P.S.A,** 2011: A genetic algorithm for lot sizing and scheduling under capacity constraints and allowing backorders. *International Journal of Production Research*, Vol. **49**, no.9, pp. 2683-2703.
- Gören, H.G., Tunali, S., and Jans, R.,** 2008: A review of applications of genetic algorithms in lot sizing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. **21**, no.4, pp. 575-590.
- Han, Y., Tang, J., Kaku, I., and Mung, Y.,** 2009: Solving uncapacitated multilevel lotsizing problems using a particle swarm optimization with flexible inertial weights. *Computers and Mathematics with Application*, 57, pp. 1747-1758.
- Hansen, P., and Mladenović, N.,** 1997: Variable neighborhood search for p-median problem. *Location Science*, 5, 207-226.
- Harel, D.,** 1993. Algorithmics: The spirit of Computing. Addison-Wesley Publishing Company, USA.
- Harris, F.W.** 1913: How many parts to make at once. *Factory: The Magazine of Management*, Vol. **1**, No.10, pp.135-6.
- Helber, S., and Sahling, F.,** 2010: A fix-and-optimize approach for multi-level capacitated lot sizing problem. *International Journal of Production Economics*, Vol. **123**, pp. 247-256.
- Haugen, K., Lokketangen, A., and Woodruff, D.,** 2001: A progressive hedging as a metaheuristic applied to stochastic lot sizing. *European Journal of Operational Research*, 132, pp. 116-122.
- Hung, Y., Chen, C., Shih C., and Hung, M.,** 2003: Using Tabu Search with Ranking Candidate List to Solve Production Problems with Setup, *Computers and Industrial Engineering*, 45, pp. 615-634.
- Hwang, H.C.,** 2007: Dynamic Lot Sizing Model with Production Time Windows. *Naval Research Logistics*, Vol. **10**, pp. 1002-1018.
- Jans, R., and Degraeve Z.,** 2008: Modelling Industrial Lot Sizing Problems: a Review. *International Journal of Production Research*, Vol. **46**, no.6, pp. 1619-1643.

- Jeunet, J., and Jonart, N.,** 2005: Single point stochastic search algorithms for the multi-level lot sizing problem. *Computers & Operations Research*, Vol. **32**, pp. 985-1006.
- Johnson, A.,** 1976. Operations Research in Production Planning, John Wiley and Sons Publishing, USA.
- Kadıpaşaoğlu, S.K., Xiang, W., and Khumawala, B.M.,** 1999: Batch scheduling in a multistage, multiproduct manufacturing system- an application, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. **19**, No.4, pp. 421-436.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., and Vecchi, M.P.,** 1983: Optimization by simulated annealing. *Science*, 220, pp.671-680.
- Meyr, H.,** 2000: Simultaneous lot sizing and scheduling by combining local search with dual reoptimization. *European Journal of Operational Research*, 120, pp. 311-326.
- Moon, I., Silver, E.A., and Choi, S.,** 2002: A hybrid genetic algorithm for the economic lot scheduling problem. *International Journal of Production Research*, Vol. **40**, no.9, pp. 809-824.
- Moret, B.M.E., and Shapiro, H.D.,** 1991. Algorithms from P to NP. The Benjamin/Cummings Publishing, USA.
- Müller, M.H.,** 1981: Heuristics and their design: a survey. *European Journal of Operational Research*, 8, p. 1-23.
- Nam, D., and Park, C.H.,** 2003: A multi-objective simulated annealing: A comparative study to evolutionary algorithms. *International Journal of Fuzzy Systems*, vol. **2**, no. 2, pp. 87-97.
- Nahmias, S.,** 1997. Production and Operations Analysis. Mc.Graw-Hill Int. Edition, Singapore.
- Osman, I.H.,** 2002: Preface: focused issue on applied metaheuristics. *Computers and Industrial Engineering*, 44, pp. 205-207.
- Osman, I.H., and Laporte, G.,** 1996: Metaheuristics: a bibliography. *Annals of OR*, 63, pp. 513-623.
- Ouenniche, J., and Boctor, F.F.,** 2001: The two group heuristic to solve the multiproduct economic lot sizing and scheduling problem in flow shops. *European Journal of Operational Research*, 129, p. 539-554.
- Özdamar, L., and Barbarosoğlu, G.,** 2000: An integrated Lagrangean relaxation-simulated annealing approach to the multi-level multi-item capacitated lot sizing problem. *International Journal of Production Economics*, (68), pp. 319-331.
- Özdamar, L., and Birbil, Ş.İ.,** 1998: Hybrid Heuristics for the Capacitated Lot Sizing and Loading Problem with Setup Times and Overtime Decisions, *European Journal of Operational Research*, 110, pp. 525-547.

- Özdamar, L., Birbil, Ş.İ., and Portman, M.C.,** 2002: Technical note: New results for the capacitated lot sizing problem with overtime decisions and setup times. *Production Planning and Control*, Vol. **13**, no 1, p. 2-10.
- Özdamar, L., and Bozyel, M.A.** 2000: The capacitated lot sizing problem with overtime decisions and setup times. *IIE Transactions*, Vol. **32**, no. 4 pp. 1043-1057.
- Özdamar, L., Bozyel, M.A., and Birbil, Ş.İ.,** 1998: A hierarchical decision support system for production planning (with case study). *European Journal of Operational Research*, 104, pp. 403-422.
- Pinedo, M.L.,** 2005. Planning and Scheduling in Manufacturing and Services, Springer Series in Operations Research, USA.
- Pitakaso, R., Almeder, C., Doerner, K.F., and Hartl, R.,** 2006: Combining population-based and exact methods for multi-level capacitated lot sizing problems, *International Journal of Production Research*, Vol. **44**, no. 22, pp. 4755-4772.
- Pitakaso, R., Almeder, C., Doerner, K.F., and Hartl, R.,** 2007: A MAX-MIN ant system for unconstrained multi-level lot sizing problems. *Computers & Operations Research*, Vol. **34**, pp. 2533-2552.
- Pochet, Y., and Wolsey, L.A.,** 2000. Production Planning by Mixed Integer Programming. Springer, USA
- Quadt, D., and Kuhn, H.,** 2008: Capacitated Lot Sizing with Extensions. *4OR*, (6), pp. 61-83.
- Reeves, C.E.,** 1993. Modern heuristic techniques for combinatorial optimization. John Wiley and Sons Publishing, Newyork, USA.
- Sambasivan, M., and Yahya, S.,** 2005: A lagrangean based heuristic for multi-plant, multi-item, multi-period capacitated lot sizing problems with inter-plant transfers. *Computers & Operations Research*, Vol. **32**, pp.537-555.
- Sahling, F., Buschkhül, L., Tempelmeier, and H., Helber, S.,** 2009: Solving a multilevel capacitated lot sizing problem with multi-period setup carryover via a fix-and-optimize heuristic. *Computers & Operations Research*, Vol. **36**, pp. 2546-2553.
- Sarin, S.H., and Jaiprakash, P.,** 2007. Flow Shop Lot Streaming. Springer, USA.
- Silver, E.A.,** 2004: An overview of heuristic solution methods. *Journal of Operational Research Society*, 55, pp. 936-956.
- Silver, E.A., and Meal, H.C.,** 1973: A Heuristic for Selecting Lot Size Quantities for the Case of a Deterministic Time Varying Demand Rate and Discrete Opportunities for Replenishment. *Production and Inventory Management*, Vol. **14**, pp. 64-74.

- Süer, G.A., Badurdeen, F., and Dissanayake, N.,** 2008: Capacitated Lot Sizing by using Multi-chromosome Crossover Strategy. *International Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 19, 273-282.
- Süral, H., Denizel, M., and Wassenhove, L.N.,** 2009: Lagrange relaxation based heuristic for lot sizing with setup times. *European Journal of Operational Research*, 194, p. 51-63.
- Tanyaş, M., Baskak, M.,** 2006. Üretim Planlama ve Kontrol. İrfan Yayıncılık, İstanbul, Türkiye.
- Tempelmeier, H., and Buschkhül, L.,** 2009: A heuristic for the dynamic multi-level capacitated lot sizing problem with linked lot sizes for general product structures. *OR Spectrum*, Vol. 31, pp. 385-404.
- Tempelmeier, H., and Derstroff, M.,** 1996: A Lagrangean-based Heuristic for Dynamic Multilevel Multiitem Constrained Lotsizing with Setup Times. *Management Science*, Vol. 42, No.5, pp. 738-757.
- Toledo, F.M.B., Armentano, V.A.,** 2006: A lagrangean based heuristic for the capacitated lot sizing problem in parallel machines. *European Journal of Operational Research*, 175, pp. 1075-1083.
- Transchel, S., Minner, S., Kallrath, J., Löhndorf, N., and Eberhard, U.,** 2011: A hybrid lot sizing and scheduling formulation for a production process with a two-stage product structure. *International Journal of Production Research*, Vol. 49, no.9, pp. 2463-2480.
- van Laarhoven, P.J.M., and Aarts, E.H.L.,** 1989: Simulated Annealing: Theory and Applications. Kluwer Academic Publishing, The Netherlands.
- Wagner, H., and Whitin, T.M.,** 1958: Dynamic Version of Economic Lot Size Model. *Management Science*, Vol. 5, no. 1, p. 89-96.
- Xie, J., and Dong, J.,** 2002: Heuristic Genetic Algorithms for General Capacitated Lot Sizing Problem. *Computers and Mathematics with Application*, 44, pp. 263-276.
- Yenisey, M.M.,** 2006: A flow network approach for equilibrium of material requirement planning. *International Journal of Production Economics*, Vol. 102, no. 2, pp. 317-332.

EKLER

EK A.1

Parti Büyüklüğü Planlama ile ilgili Literatür Çalışması

Çizelge A.1. : Literatür Ağacı.

Yılı	Yazarlar	Problem Yapısı																								Çözüm Yapısı											Uygulama Alanı				
		A		B		C			D		E				F			G			H			I				X			Y								Z	Lojistik	Üretim
		1	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	1		
1996	Tempelmeier ve Derstroff		*		*		*		*							*			*	*						*		*						*					*		*
1998	Özdamar ve Birbil	*			*			*	*		*					*			*			*				*				*	*	*							*		*
1998	Özdamar ve diğerleri		*		*		*		*				*			*			*			*				*													*	*	
1999	Kadıpaşaoğlu ve diğerleri	*			*			*		*	*					*			*	*	*					*												*	*		
2000	Barbarosoğlu ve Özdamar		*		*		*		*			*				*			*		*		*			*				*											*
2000	Özdamar ve Barbarosoğlu		*		*		*		*		*					*			*		*		*			*			*				*						*		*
2000	Hung ve Chien		*		*		*		*		*					*			*		*		*			*		*		*											*
2000	Özdamar ve Bozyel	*			*		*		*		*					*			*		*		*			*			*			*	*	*					*	*	*
2000	Meyr	*			*		*		*			*				*		*	*	*					*		*			*							*	*	*	*	*
2001	Haugen ve diğerleri	*		*			*		*			*		*		*		*	*				*		*		*		*												*

Çizelge A.1. : Literatür Ağacı.

Yılı	Yazarlar	Problem Yapısı																								Çözüm Yapısı												Uygulama Alanı			
		A		B		C			D		E				F			G			H			I				X			Y								Z	Lojistik	Üretim
		1	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	1		
2001	Belvaux ve Wolsey	*		*			*		*			*				*		*		*		*			*	*														*	
2002	Xie ve Dong		*		*		*		*		*				*			*		*		*		*			*					*								*	
2002	Özdamar ve diğerleri	*			*		*		*		*					*		*	*		*		*		*			*	*	*									*		*
2003	Chen ve Chu		*		*		*		*		*					*		*	*	*		*		*		*								*							
2003	Nam ve Park	*			*		*		*				*		*		*		*		*		*		*		*				*										*
2004	Berretta ve Rodrigues		*	*			*		*			*				*		*		*		*		*		*								*		*					*
2004	Robinson ve Lawerence	*			*		*		*		*					*		*		*		*		*		*								*							*
2005	Sambasivan ve Yahya	*			*			*		*			*			*	*		*	*		*		*		*								*						*	
2005	Berretta ve diğerleri		*		*	*			*				*			*		*		*		*		*		*			*	*	*							*		*	
2005	Jeunet ve Jonard		*		*	*			*			*		*		*		*		*		*		*		*							*			*				*	
2006	Toledo ve Armenteno	*			*		*		*		*					*		*		*		*		*		*							*								

Çizelge A.1. : Literatür Ağacı.

Yılı	Yazarlar	Problem Yapısı																								Çözüm Yapısı												Uygulama Alanı			
		A		B		C			D		E				F			G			H			I				X			Y								Z	Lojistik	Üretim
		1	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	1					
2006	Pitakaso ve diğerleri		*		*		*		*					*					*			*			*	*								*			*				
2006	Yenisey		*		*		*		*				*			*		*	*	*				*		*													*		
2007	Hwang	*		*			*	*					*		*		*		*		*		*		*		*														
2007	Pitakaso ve diğerleri		*		*		*		*				*		*		*		*		*		*		*									*					*		
2008	Süer ve diğerleri	*			*		*		*		*			*		*		*		*		*		*		*			*												
2008	Quadt ve Kuhn	*			*		*		*		*			*	*		*	*		*		*		*	*		*		*						*	*					
2008	Ferreira ve diğerleri	*			*		*	*			*		*		*		*	*	*		*		*		*		*		*	*			*					*	*		
2008	Absi ve Kedad-Sihdom	*			*		*	*		*		*		*		*	*	*	*		*	*	*	*	*	*		*	*										*		
2008	Tempelmeier ve Buschkühl		*		*		*	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*			*						*		
2009	Han ve diğerleri		*	*		*			*				*		*		*		*		*		*		*		*		*						*						

Çizelge A.1. : Literatür Ağacı.

Yılı	Yazarlar	Problem Yapısı																								Çözüm Yapısı											Uygulama Alanı							
		A		B		C			D		E				F			G			H			I				X			Y								Z	Lojistik	Üretim			
		1	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	1					
2009	Süral ve diğerleri	*		*			*		*			*				*		*		*			*			*		*						*				*			*		*	
2009	Conteras ve diğerleri	*			*			*	*				*			*		*	*	*				*									*			*	*		*	*		*		
2009	Gaafar ve diğerleri	*		*				*		*			*			*		*		*			*			*		*	*										*		*		*	
2009	Sahling ve diğerleri		*		*		*		*			*			*			*		*		*			*	*		*	*														*	
2010	Almeder		*		*		*		*		*				*			*		*		*			*	*		*	*						*			*		*		*		*
2010	Helber ve Sahling		*		*			*	*		*				*			*	*	*				*	*		*	*															*	
2010	Brahimi ve diğerleri	*			*		*		*			*			*			*		*		*	*		*	*							*										*	
2010	Almada-Lobo ve James		*		*		*		*			*			*			*		*		*		*		*		*								*							*	

EK B

Sınıf-A tipi problemler için elde edilen değerler

Çizelge B.1 : Sınıf-A tipi problemler için elde edilen değerler

Deneme Sayısı	Optimum çözüm(Zo)	Başlangıç çözümü (Zc)	Sezgisel sonucu(ZH)	Normal Mesai	Fazla Mesai	Veri Setinin Özelliği	GAP1	GAP2	GAP3	GAP4	GAP5	Açıklama
1	81290	110120	82356	5500	4000	Standart	1,31	35,47	25,21	3,70	1066	
2	78880	92280	82769	6500	5000	Talep değişken	4,93	16,99	10,31	29,02	3889	
3	96458	115663	101368	7000	5000	Türetme	5,09	19,91	12,36	25,57	4910	
4	205641	255118	207723	10000	5000	(h/o), 0.9	1,01	24,06	18,58	4,21	2082	
5	98050	103345	107146	10000	3000	Standart	9,28	5,40	-3,68	171,78	9096	*
6	208163	222022	213458	9000	5000	Kapasite boşlukları	2,54	6,66	3,86	38,21	5295	
7	132630	203150	145098	2500	9000	Kısıtlı normal mesai	9,40	53,17	28,58	17,68	12468	
8	127385	162015	128998	1200	2000	Düşük toplam kap.	1,27	27,19	20,38	4,66	1613	
9	137787	140005	139992	1500	2000	Standart	1,60	1,61	0,01	99,41	2205	*
10	163818	168600	166619	800	500	Düşük toplam kap.	1,71	2,92	1,17	58,57	2801	**
11	185490	185494	185640	900	650	Düşük toplam kap.	0,08	0,00	-0,08	3750,00	150	**
12	100121	120290	100246	900	1100	Talep değişken	0,12	20,14	16,66	0,62	125	
13	124125	135640	129387	1200	800	Yüksek birim mal.	4,24	9,28	4,61	45,70	5262	
14	172486	190486	176216	8000	3000	Büyük değerler	2,16	10,44	7,49	20,72	3730	
15	164218	201252	171321	9000	1000	Kısıtlı fazla mesai	4,33	22,55	14,87	19,18	7103	
16	109123	123546	113456	1000	2000	Normal mesai az	3,97	13,22	8,17	30,04	4333	
17	100253	145648	107168	9000	5000	Standart	6,90	45,28	26,42	15,23	6915	
18	86548	95463	87156	6500	3000	Türetme	0,70	10,30	8,70	6,82	608	
19	114658	146578	119014	1200	3000	Değişken üretim zam.	3,80	27,84	18,81	13,65	4356	
20	168012	183645	179875	8500	3000	(h/o), 1.1	7,06	9,30	2,05	75,88	11863	**
*Kötü çözüm ile başlamak daha mantıklı						Ortalama	3,58	18,09	47,43	54,80	4493,5	
**Başlangıç çözümü olurlu bölge dışında						Std. Sapma	2,85	14,39	26,61	44,44	3707,2	

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Çağatay İRİS

Doğum Yeri ve Tarihi: Bornova, İzmir – 26.09.1985

Adres: 1700.sok No:47/2 C-Blok D:9, Bornova/İzmir

Lisans Üniversitesi: 2003 – 2008, Dokuz Eylül Üniversitesi- Endüstri Mühendisliği Bölümü

Tez Çalışması Yayınları: **İris, Ç., Yenisey, M.M.**, 2011: A two-stage metaheuristic approach to multi-item multi-period capacitated lot sizing problem with overtime decisions. APMS 2011, Norway, Springer, Submitted as full paper.

İris, Ç., Yenisey, M.M., 2011: Metaheuristics and hybrid heuristics used in capacitated lot sizing problem: a review of application. LM-SCM 2011, Turkey, Accepted as full paper.