

TOBB EKONOM VE TEKNOLOJ ÜN VERS TES
FEN B L MLER ENST TÜSÜ

FABR KA Ç STOK ROTALAMA PROBLEM Ç N
F LO YAPISI VE ÇEVRESEL TA İMA Ç ZELGELER N N BEL RLENMES

YÜKSEK L SANS TEZ

Necati O uz DUMAN

Endüstri Mühendisli i Anabilim Dalı

Tez Danı manı: Yrd. Doç. Dr. Gültekin KUYZU

HAZİRAN 2016

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....
Prof. Dr. Osman EROĞUL
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans/Doktora derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

.....
Prof. Dr. Tahir HANALIOĞLU
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 141311011 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Necati Oğuz DUMAN** 'ın ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**Fabrika İçi Stok Rotalama Problemi İçin Filo Yapısı ve Çevrimsel Taşıma Çizelgelerinin Belirlenmesi**" başlıklı tezi **30 Haziran 2016** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Gültekin KUYZU**
TOBB Ekonomik ve Teknoloji Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. M. Alp ERTEM (Başkan)**
Çankaya Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Salih TEKİN
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Necati Oğuz DUMAN

ÖZET

Yüksek Lisans

FABRİKA İÇİ STOK ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN ÇEVİRİMSEL TAŞIMA ÇİZELGELERİNİN BELİRLENMESİ

Necati Oğuz DUMAN

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Gültekin KUYUZU

Tarih: Haziran 2016

Bu tez çalışmasında, merkezi olmayan hat yanı stok alanından hattaki iş istasyonlarına malzeme taşıma sistemi üzerine çalışılmıştır. Malzemelerin taşınması işlemi bir çekici araca bağlı vagonlardan oluşan, katar adı verilen araçlarla yapılmaktadır. Üretim hattına hizmet verecek araç ve vagon sayılarının belirlenmesi, araçların teslimat rotaları ve turlarının başlangıç ve bitiş zamanları, her turda iş istasyonlarına teslim edilecek malzeme miktarları ve teslimat zamanları üretim alanlarında düzenli olarak verilen kararlardır. Bu kararların verilmesi sırasında, üretim hattının yerleşimi değiştirelemeyeceği için, özellikle dar koridorlarda oluşan katar trafiği kararları etkilemektedir.

Fabrika içi stok rotalama problemi, en düşük maliyetli teslimat rotaları ve çizelgelerinin belirlenmesi üzerinedir. Çalışmada amaç, koridorlardaki katar trafiği göz önünde bulundurularak, iş istasyonlarında malzeme bitişine izin vermeyen en düşük maliyetli araç ve vagon sayılarının, döngüsel teslimat rotalarının ve çizelgelerinin belirlenmesidir. Bunun için, bir karma tamsayılı matematiksel model oluşturulmuştur. Problemin matematiksel model ile çözülmesinin uzun süre gerektirmesi sebebiyle, iyi sonuçların bulunabilmesi için

bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın etkinliği, rasgele oluşturulmuş test örnekleri kullanılarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fabrika içi stok rotalama problemi, Fabrika içi malzeme taşıma, Sezgisel algoritma



ABSTRACT

Master of Science

FLEET SIZING and CYCLIC DELIVERY SCHEDULING for IN-PLANT

INVENTORY ROUTING PROBLEM

Necati Oğuz DUMAN

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Industrial Engineering Science Programme

Supervisor: Asst. Prof. Gültekin KUYZU, Ph.D.

Date: June 2016

We study the in-plant material supply system from a decentralized in-plant warehouse to workstations of a assembly line. The deliveries are done with vehicles called tow trains and wagons attached to them. Determining the number of trains to serve, number of wagons to be attached to each train, amount of materials carried, and delivery schedules are some of the decisions to be made. Especially on narrow aisles, vehicle congestion effects making these decisions. The in-plant inventory routing problem considers finding delivery routes and schedules of trains with minimum cost. Our objective is to determine the minimum cost fleet size, cyclic delivery routes and schedules that do not allow stock outs at workstations while considering congestion. In this study, a mixed integer linear programming model is introduced. Due to the complexity of the problem, we introduce a heuristic to find good quality solutions. The effectiveness of the algorithm is tested on randomly generated test instances.

Keywords: In-plant inventory routing, In-plant material supply, Heuristics.

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Gültekin KUYZU'ya, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve sağladığı imkanlar ve burs için TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'ne teşekkür ederim. Yaşamım boyunca her zaman yanımda olan, en büyük motivasyon kaynağım aileme ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. Siz olmasaydınız bu çalışmayı gerçekleştiremezdim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT | vi |
| TEŞEKKÜR | vii |
| İÇİNDEKİLER | viii |
| ŞEKİL LİSTESİ | ix |
| ÇİZELGE LİSTESİ | ix |
| SEMBOL LİSTESİ | xi |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2.LİTERATÜR TARAMASI | 3 |
| 3. PROBLEM TANIMI | 9 |
| 3.1 Problem Tanımı ve Varsayımları | 9 |
| 3.2 Matematiksel Model..... | 10 |
| 4. ÇÖZÜM YÖNTEMİ | 15 |
| 5. BİLGİSAYAR DENEYLERİ | 21 |
| 5.1 Problem Örneği Üretimi ve Alt Sınırları..... | 21 |
| 5.2 Matematiksel Model Koşum Sonuçları | 23 |
| 5.3 Sezgisel Algoritma Koşum Sonuçları | 24 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER | 27 |
| KAYNAKLAR | 29 |
| EKLER | 31 |
| ÖZGEÇMİŞ | 41 |

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Şekil 4.1 : Başlangıç çözümü kurucu algoritma akış şeması | 16 |
| Şekil 4.2 : İyileştirme algoritması akış şeması..... | 18 |
| Şekil 5.1 : Problem örneği üretiminde kullanılan yerleşim türleri..... | 22 |
| Şekil 5.2 : Alt sınır hesaplama algoritması akış şeması..... | 22 |



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Çizelge 2.1 : Literatür taraması özeti | 7 |
| Çizelge 5.1 : Problem örneği üretiminde kullanılan parametreler | 21 |
| Çizelge Ek.4: Matematiksel model koşum sonuçları | 35 |
| Çizelge Ek.5: Başlangıç kurucu-İyileştirme algoritmaları karşılaştırması | 37 |
| Çizelge Ek.6: Sezgisel algoritma ve matematiksel model koşum sonuçları ile alt sınırların karşılaştırılması | 39 |



SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| Sembol | Açıklama |
|-------------|--|
| L | Üretim hattındaki koridorlar kümesi |
| C | Üretim hattındaki koridor kesişimleri kümesi |
| C_c^{in} | c kesişimine gelen koridorlar kümesi |
| C_c^{out} | c kesişiminden giden koridorlar kümesi |
| S_0 | İş istasyonları kümesi |
| S_l | l koridorundaki iş istasyonları kümesi |
| ln_l | l koridorunun uzunluğu |
| d_i | i iş istasyonunun malzeme tüketim hızı |
| cap | Araca bağlanabilecek en fazla vagon sayısı |
| $wcap$ | Bir vagonun kapasitesi |
| wp | Bir araç ya da vagonun uzunluğu |
| CV | Bir çekici aracın maliyeti |
| CW | Bir vagonun maliyeti |
| lt | Bir kutuyu kataraya yükleme/indirme zamanı |
| M | Büyük bir sayı |

1. GİRİŞ

Fabrika depolarından, üretim hatlarındaki iş istasyonlarına malzeme taşınması üretim süreçlerinin en önemlileri arasında yer almaktadır. Bu süreçte yapılabilecek hatalar, iş istasyonlarında malzemelerin tükenmesine sebep olabilmektedir. Bunun sonucunda, malzemesi biten iş istasyonunda ve iş akışında bu iş istasyonunun ardılı olan iş istasyonlarında üretim durmaktadır. Üretim yapılmayan süreler firmalar için yüksek maliyetler oluşturmaktadır.

Bunun önüne geçebilmek için tam zamanında stok yönetimi yaklaşımları geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlarda, iş istasyonlarının malzeme stoğu belirlenmiş bir seviyenin altına düştüğünde bir tür sinyal verilir. Sinyalin alınmasından sonra iş istasyonunun ihtiyacı olan malzemeler mümkün olan en erken zamanda iş istasyonuna gönderilir. Gönderilecek malzeme miktarları konusunda stok alanını tamamen doldurma ya da her seferinde sabit bir miktar malzeme gönderilmesi gibi yaklaşımlar uygulanmaktadır.

İş istasyonlarına gereken malzemelerin depolanacağı yer konusunda farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlardan biri, malzemelerin üretim hattı yakınlarındaki bir stok alanında depolanmasıdır. Üretim hattı yanındaki bu depolara süpermarket de denilmektedir. Fabrikaya gelen malzemeler, fabrikanın ana stok alanında ayrıldıktan sonra, süpermarketlere aktarılmaktadır. Gerekmesi durumunda gelen malzemeler daha küçük taşıma kutularına yerleştirilmektedir. Taşıma kutularına yerleştirilmiş malzemeler, süpermarkete atanmış üretim hatlarındaki iş istasyonlarına gönderilmektedir. Süpermarketlerin kullanımı ile iş istasyonlarında malzeme elleçleme işlemleri azaltılmakta, iş istasyonlarındaki operatörlerin bu işlemlere daha az zaman harcaması sağlanmaktadır.

Malzemelerin taşınması için forklift, kit arabası vb. araçlar kullanılmaktadır. Araç seçimi, taşınacak malzemelerin ve üretim hattındaki iş istasyonlarının özelliklerine göre belirlenmektedir. Malzeme taşımada kullanılan araçlardan bir diğeri de katarlardır. Katarlar, bir çekici araç ve buna bağlı olan vagonlardan oluşmaktadır. Taşınacak

malzemeler katarın vagonlarına yüklenir ve araç rotası üzerinde ziyaret etmesi gereken iş istasyonlarında durarak malzemeleri iş istasyonu stok alanlarına bırakır.

Taşıyıcı araç olarak katarların kullanımı çevrimsel malzeme taşıma sistemlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Süpermarkette yüklenen malzemeler, rota üzerinde bulunan, katara atanmış olan iş istasyonlarına teslim edilir. Malzemelerin istasyonlara teslimlerinin tamamlanmasının sonrasında katar rotasını başlangıç noktası olan süpermarkette tamamlar. Çizelgede belirlenen zaman geldiğinde, katar bir önceki çevrimde yapılan işlemleri tekrarlar.

Çevrimsel malzeme taşıma sistemlerinde, bir iş istasyonuna sabit çevrim süreleriyle malzemeler teslim edilmektedir. Farklı zamanlarda, farklı araçlarla ya da farklı rotalarla malzeme teslimatı yapılan süreçlerle karşılaştırıldığında çevrimsel malzeme taşıma sistemlerinin yönetimi daha kolaydır. Ayrıca, çevrimsel malzeme taşıma sistemlerinin aynı işlemleri her çevrimde tekrar etmesi sonucu üretim hattındaki malzeme tedarikiyle ilgili belirsizlikleri de azaltmaktadır. Bu durum, üretim hattındaki diğer sorunların belirlenmelerine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada, üretim hattı yanı sıra stok alanından, üretim hattındaki iş istasyonlarına üretim için gerekli malzemelerin taşınması için en düşük maliyetli filo büyüklüğü (katarlardaki araç ve vagon sayıları) ve çevrimsel taşıma çizelgelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Tezin devamındaki bölümlerin içeriği şu şekildedir: Bölüm 2’de literatürde yer alan konuyla ilgili çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 3’te üzerinde çalışılan problem daha detaylı olacak tanımlanmış ve formüle edilmiştir. Bölüm 4’te önerilen çözüm yönteminden bahsedilmiştir. Bölüm 5’te çözüm yönteminin performansına ilişkin bilgiler yer almaktadır. Bölüm 6’da çalışmaya ilişkin sonuçlar ifade edilmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde iş istasyonlarına malzeme tedarikinin sağlanmasıyla ilgili farklı konularda çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Boysen vd. (2015) otomotiv sektöründe tam zamanında malzeme tedarik konusunda detaylı bir literatür araştırması sunmaktadır. Çalışmada, literatürdeki makaleler dış tedarik ve iç tedarik olarak iki ana başlık altında incelenmiştir. Dış tedarik başlığı altında, otomotiv sanayisinde tedarikçiye malzeme siparişlerinin gönderilmesi ve malzemelerin tedarikçilerden fabrikaya taşınmasına ilişkin süreçlerle ilgili çalışmalar hakkında bilgi yer almaktadır. İç tedarik başlığı altında ise gelen malzemelerin fabrikanın ana deposunda teslim alınması, malzemelerin fabrikada stoklanması, iş istasyonlarına teslimatları için sıralanmaları, iş istasyonlarına taşınmaları ve iş istasyonu yanında yerleştirilmesi ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Ayrıca, içindeki malzemeleri tüketilmiş olan boş kutu, konteynır vb.nin geri taşınması süreçleriyle ilgili çalışmalara her iki başlık için de yer verilmiştir.

Battini vd. (2013) çalışmasında süpermarket, üretim hattı yanı stok alanı, konseptini tanımlamaktadır. Süpermarketlerin kullanımı ile diğer yaklaşımlar karşılaştırılmakta ve bu yaklaşımın sağlayacağı avantajlardan bahsedilmektedir. Ayrıca çalışmada, süpermarketlerin kurulumu ve çalışması aşamasında karşılaşılan karar problemlerine yönelik bir literatür taramasına yer verilmektedir.

Fabrika içi stok rotalama problemi ile ilgili olan çalışmalar, iş istasyonlarının malzeme tüketimlerini ele alışları baz alınarak iki ana başlık altında incelenebilir. İlk grup çalışmalarda malzeme tüketimleri, önceden tanımlanmış üretim çevrimleri üzerinden ayrık malzeme talepleri olarak ele alınmaktadır. Emde vd. (2012) katar rota ve turlarına ilişkin bilginin var olduğu durumda, katarlara yüklenecek malzeme miktarlarının belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Çalışmada iş istasyonlarındaki malzemelerden kaynaklanan envanter maliyetlerini en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Problemin en iyi çözümünü polinom zamanda bulan bir algoritma önerilmiştir.

Emde ve Boysen (2012) farklı modellerde ürünler üretilen bir üretim hattındaki iş istasyonlarına malzemelerin taşınması üzerine çalışmıştır. İş istasyonlarının malzeme

gereksinimleri, üretim çevrimlerine göre değişmektedir ve her üretim çevrimi için ayrık talep olarak kabul edilmiştir. Toplam iş istasyonlarındaki envanter maliyetlerini en azlayan, katar rotaları, teslim edilecek malzeme miktarları ve üretim çevrimi cinsinden teslimat çizelgelerini belirleyen polinom zamanlı bir algoritma oluşturmuştur.

İkinci gruptaki çalışmalar, talep noktalarının stok ihtiyaçlarını sürekli olan tüketim hızları olarak almakta ve problemi stok rotalama problemi ya da araç rotalama problemi olarak modellemektedir. Campbell vd. (1998) stok rotalama problemini tanımlayan çalışmalardan biridir. Stok rotalama probleminde, tedarikçi müşterilerinin stok seviyelerini kontrol etmektedir. Malzeme tedariki süreci müşterinin yönetiminde değil tedarikçinin yönetiminde gerçekleştirilmektedir. Gönderim zamanları, teslim edilecek malzeme miktarları gibi kararları tedarikçi firma vermektedir. Çalışmada problem matematiksel olarak incelenmiştir. Müşterilerin talep özellikleri, şebekenin yapısı gibi problemin çözümünü etkileyen unsurlara yer verilmiş ve problemin NP Zor sınıfında yer aldığı matematiksel olarak ispatlanmıştır. Campbell ve Savelsbergh (2004) teslimat rotaları, müşteri stok kapasiteleri ve müşterilerin malzeme tüketim hızları bilindiğinde teslim edilecek malzeme miktarlarını en büyükleyen ve çözümü doğrusal zamanda bulabilen bir algoritma geliştirmiştir. Gaur ve Fisher (2004) bir firmanın bayilerine periyodik olarak malzeme taşınması ile ilgili stok rotalama problemi üzerinde çalışmıştır. Çalışmada bayiler gruplara ayrılmış ve her grup için toplam değişken maliyetleri en azlayacak bir teslimat çizelgesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Problemin çözümü için sezgisel bir algoritma önerilmiştir.

Kılıç vd. (2012) fabrika içi çevrimsel stok rotalama problemini üç ana başlık altında sınıflandırmıştır. Başlıklardan ilki rota ve çizelgelerin belirlenmesi gerektiği durumdur. Bu başlık araçların izleyecekleri tek ya da çok rota olmasına göre ikiye ayrılmıştır. Alt başlıklar da çevrim sürelerinin aynı ve farklı olduğu durumlar olarak ikiye ayrılmıştır. İkinci ana başlık katar rotalarının bilindiği, taşıma çizelgelerinin belirlenmeye çalışıldığı durumu içermektedir. Bu başlıkta katarların farklı ve aynı çevrim süreleri ile teslimat yaptığı iki alt başlık bulunmaktadır. Son ana başlık ise çevrim sürelerinin bilindiği, katar rotalarının belirlendiği durumu ifade etmektedir. Bu başlık katarların bir ya da birden fazla rotaya atanması olarak ikiye ayrılmıştır. Son başlıkta bulunan iki alt başlık için birer matematiksel model oluşturulmuştur.

Kılıç ve Durmuşoğlu (2013) bütün katarların aynı çevrim süresi uzunluğu ile teslimat yaptığı bir sistemde katar rota ve taşıma çizelgelerinin belirlenmesi üzerine bir çalışmadır. Çalışmada toplam iş istasyonu envanter maliyetleri ve katarlarla ilintili sabit ve değişken maliyetlerin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Sistem için karma tamsayılı matematiksel model oluşturulmuştur. Ayrıca bir başlangıç kurucu sezgisel önerilmiştir.

Vaidyanathan vd. (1999) fabrika içi stok rotalama problemi ile ilgili yapılan ilk çalışmalardan birisidir. Farklı çevrim süresi uzunluklarına sahip olan katarlar ile yapılan çevrimsel teslimat sistemi için doğrusal olmayan matematiksel model önerilmiştir. Ayrıca sistem için gerekli katar sayısı için bir üst sınır belirlenmesi amacıyla bir gevşetilmiş matematiksel model oluşturulmuştur. Çözüm yöntemi olarak bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir.

Satoğlu ve Şahin (2013) taşıma kapasiteleri birbirinden farklı olan katarlar kullanılan ve katarların farklı çevrim süreleriyle taşıma yaptığı bir sistem üzerine çalışmıştır. Problemin çözümü için doğrusal olmayan matematiksel model ile bir sezgisel algoritma oluşturulmuştur. Oluşturulan algoritma bir televizyon üretim fabrikasının verileri üzerinden denenmiştir.

Golz vd. (2012) problemi zaman pencereleli araç rotalama probleminin bir türü olarak incelemiştir. Çalışmada iş istasyonlarının tüketim oranları, stok kapasiteleri ve güvenlik stok seviyeleri göz önüne alınarak iş istasyonları için taşıma emirleri oluşturulmaktadır. Taşıma emirleri iş istasyonlarına götürülecek malzeme miktarı ve malzemelerin teslim edilebileceği erken ve geç teslimat zamanlarından oluşan zaman pencerelerinden oluşmaktadır. Çalışmada kullanılacak araç sayısının en azlanması amaçlanmıştır. Bunun için bir sezgisel algoritma oluşturulmuştur.

Larson (1998) kentsel atıkların, okyanustaki bir atık boşaltma bölgesine taşınması için filo büyüklüğü, taşıt seçimi, yerel stok kapasiteleri gibi stratejik kararların alınmasında kullanılmak üzere bir stok rotalama modeli sunmaktadır. Çalışmada bir lojistik sistemini etkileyebilecek yükün aktarılması gibi yöntemlerin uygulanmasının etkileri de incelenmektedir.

Zenker vd. (2015) bir nehir üzerindeki limanlar gibi doğrusal bir hat üzerine yerleşmiş olan müşterilerin taleplerinin karşılanması için çevrimsel stok rotalama problemi üzerinde çalışmıştır. Çalışmada problemin zorluk sınıfı NP-Zor olarak tanımlanmıştır.

Ayrıca, problemin polinom zamanda çözülebilen özel durumlarına ve bu özel durumlar için oluşturulmuş olan algoritmalara yer verilmiştir.

Hoff vd. (2010) rotalama problemlerinde filo büyüklüğü ve filoda yer alacak araçların özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir literatür taraması sunmaktadır. Chitsaz vd. (2016) çevrimsel stok rotalama probleminde taşıma, stok ve araç maliyetlerinin en azlanması üzerinde çalışmaktadır. Çalışmada problemin çözümü için ayrıştırma yöntemi kullanılmaktadır. Problem, rotalama ve çizelgeleme olmak üzere iki alt probleme ayrıştırılmakta, ve alt problemler iteratif olarak sezgisel metodlar kullanılarak çözülmektedir.

Bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan farkı ise teslimat işleminde kullanılacak olan katarların kapasitelerinin sabit olarak alınmaması ve koridorlarda oluşacak katar trafiğinin etkilerinin göz önünde bulundurulmasıdır. Çalışmada her bir katarında bulunacak vagon sayısı verilecek kararlar arasındadır. Bu sayede katarların kapasiteleri belirlenmektedir. Ayrıca, katarların hareketleri esnasında oluşan trafiğin, katarların birbirini engellemesi veya yavaşlatması gibi etkileri de karar sürecinde dikkate alınmaktadır. Çizelge 2.1’de literatür taramasının özeti ve tez ile karşılaştırması yer almaktadır. Çizelgenin en alt satırında teze ait bilgiler yer almaktadır.

Çizelge 2.1 : Literatür taraması özeti çizelgesi

| Makale | Amaç | Çözüm Yöntemi | Çevrimsel Taşıma | Tüketim Hızları | İstasyon Stok Kapasitesi | Trafik Sıkışıklığı | Araç Kapasitesi |
|----------------------------|--|----------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------|
| Emde ve Boysen (2012) | Stok maliyeti | Dinamik Programlama | Yok | Ayrık | Sınırsız | Önleniyor | Sabit, homojen |
| Kılıç vd. (2012) | Stok ve sabit ve değişken araç maliyetleri | Sezgisel | Sabit süreli | Sürekli | Kısıtlı | Yok | Sabit, homojen |
| Kılıç ve Durmusoğlu (2013) | Stok ve sabit ve değişken araç maliyetleri | Sezgisel | Karar | Sürekli | Kısıtlı | Yok | Sabit, homojen |
| Satoğlu ve Şahin (2013) | Stok ve elleçleme maliyeti | Sezgisel | Karar | Sürekli | Kısıtlı | Yok | Sabit, heterojen |
| Vaidyanathan vd. (1998) | Toplam taşıma süresi | Sezgisel | Karar | Sürekli | Sınırsız | Yok | Sabit, homojen |
| Golz vd. (2012) | Sabit filo maliyeti | Sezgisel | Yok | Sürekli | Kısıtlı | Yok | Sabit, homojen |
| <i>Duman ve Kuyzu</i> | <i>Sabit filo maliyeti</i> | <i>Sezgisel</i> | <i>Karar</i> | <i>Sürekli</i> | <i>Kısıtlı</i> | <i>Etkili</i> | <i>Karar</i> |



3. PROBLEM TANIMI

3.1 Problem Tanımı ve Varsayımları

Bu çalışmada malzemelerin iş istasyonlarına tedariki üretim hattı yanındaki süpermarket denilen stok alanından sağlanmaktadır. Malzemeler birim kutulara yüklenmektedir. Birim kutulardaki malzemeler çekici araçlar ve bunlara bağlı vagonlar kullanılarak iş istasyonlarına taşınmaktadır. Vagonların taşıyabileceği malzeme miktarı kısıtlıdır ve birim kutu cinsinden ifade edilmektedir. Bir katarın taşıma kapasitesi katarında bulunan vagon sayısına ve bir vagonun taşıma kapasitesine bağlıdır. Çekici araca bağlanmış vagon sayısının ya da vagonlara yüklenmiş olan malzeme miktarının katarın hızını etkilemediği kabul edilmiştir. Bütün katarlar aynı ve sabit hızla hareket etmektedir. Bu sayede üretim hattındaki koridorların uzunlukları zaman cinsinden ifade edilebilmektedir.

İş istasyonları üretim hattındaki koridorlardan birinin üzerinde bulunmaktadır. Bir katarın bir iş istasyonuna malzeme götürebilmesi için, o iş istasyonunun bulunduğu koridorun katarın rotasında bulunması gerekmektedir. Bir katar bir koridora girdiğinde koridorun sonuna kadar gidip oradan bir başka koridora geçmesi gerekmektedir. Koridorda bir iş istasyonuna teslimat yapıp geri dönemez.

Üretim hattındaki bütün koridorlarda tek yönlü trafiğe izin verildiği varsayılmıştır. Koridorların hareket yönleri önceden belirlidir ve karar aşamasında bu parametreye uyulması gerekir. Ayrıca koridorlarda bir katar önündeki katarı geçememektedir. Yani, bir koridora giren iki araçtan erken gireni daha erken çıkmalıdır.

İş istasyonlarına yapılan teslimatların çizelgelerinin ardışık çevrimlerde korunabilmesi için katarların hareket sıralarının aynı kalması gerekmektedir. Bu yüzden, katarların süpermarkete giriş ve geri dönüş sıraları aynı olmalıdır.

İş istasyonları üretim için malzeme tüketmektedir. Malzeme tüketim hızları, bütün iş istasyonlarına aynı birim kutular kullanılarak malzeme teslimatı yapıldığı için *birim kutu/birim zaman* cinsinde ifade edilebilir. Malzeme tüketim hızları deterministiktir. İş istasyonlarında malzemelerin tükenmesi ve dolayısıyla üretimde

duraksamaların gerçekleşmesi engellenmek istenmektedir. Bu yüzden bir iş istasyonuna teslim edilecek malzeme miktarı iş istasyonunun malzeme tüketim hızına ve çevrim süresi uzunluğuna bağlıdır.

Bütün katarların aynı uzunluktaki çevrim süreleri ile teslimat yaptıkları sistemlerin yönetimi ve takibi, farklı çevrim sürelerinin kullanıldığı sistemlere göre daha kolaydır. Bu yüzden çalışmada, bütün katarların aynı çevrim süresi ile malzeme taşıdıkları kabul edilmiştir. Çevrim süresinin belirlenmesi çalışmanın hedeflediği kararlar arasında yer almaktadır. Ayrıca, iş istasyonlarında malzemelerin stoklandığı alan kısıtlıdır. Bütün katarlar aynı çevrim süresi ile taşıma yaptığı için, stok alanı kısıtı her bir iş istasyonu için ayrı olarak değerlendirilmemiştir. Bunun yerine iş istasyonlarının stok alanı kapasitelerinin malzeme tüketim hızlarına oranları kullanılarak çevrim süresi için bir üst sınır bulunmaktadır. Bunun matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$(\text{çevrim süresi}) \leq \frac{(\text{stok kapasitesi})_i}{(\text{tüketim hızı})_i}, \forall i \in \text{İş istasyonları} \quad (3.1)$$

Her bir çevrimde, çekici araçlara bağlı vagonlara malzeme kutuları süpermarkette yüklenir. Katar süpermarketten çıkıp rotası boyunca ilerler ve atanmış olan iş istasyonlarında durup malzeme teslimatını gerçekleştirir.

Bu varsayım ve kısıtlar göz önünden bulundurulurken, en küçük sabit katar maliyetine sahip, çevrimsel taşıma rota ve çizelgelerinin, iş istasyonu-katar atamalarının ve her çevrimde iş istasyonlarına götürülecek malzeme miktarlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

3.2 Matematiksel Model

Yukarıda kısıtları ve varsayımları ifade edilmiş olan problem için karma tamsayı doğrusal programlama modeli oluşturulmuş. Matematiksel model için tanımlanan karar değişkenleri ve matematiksel model aşağıda verilmiştir.

Karar Değişkenleri:

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & i \in S_0 \text{ iş istasyonuna } k \in K \text{ aracı malzeme götürüyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$y_{lk} = \begin{cases} 1, & k \in K \text{ aracı } l \in L \text{ koridorundan geçiyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

z_{ik} : $i \in S_0$ iş istasyonuna $k \in K$ aracı ile getirilen malzeme miktarı

u_k : $= \begin{cases} 1, & k \in K \text{ aracı kullanılıyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$

w_k : $k \in K$ aracına bağlanan vagon sayısı

per : Çevrim süresi uzunluğu

t_{lk}^{in} : $k \in K$ aracının $l \in L$ koridoruna giriş zamanı

t_{lk}^{out} : $k \in K$ aracının $l \in L$ koridorundan çıkış zamanı

$b_{ljk} = \begin{cases} 1, & l \in L \text{ koridoruna } j \in K \text{ aracı } k \in K \text{ aracından önce girdiyse} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$

$$\text{enküçükle } \sum_{k \in K} (CV \times u_k + CW \times w_k) \quad (3.2)$$

öyle ki:

$$y_{0k} = u_k \quad \forall k \in K \quad (3.3)$$

$$\sum_{i \in S_l} x_{ik} \leq |S_l| \times y_{lk} \quad \forall k \in K, \forall l \in L \quad (3.4)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ik} = 1 \quad \forall i \in S_0 \quad (3.5)$$

$$\sum_{k \in K} z_{ik} \geq d_i \times per \quad \forall i \in S_0 \quad (3.6)$$

$$z_{ik} \leq M \times x_{ik} \quad \forall k \in K, \forall i \in S_0 \quad (3.7)$$

$$w_k \leq cap \times u_k \quad \forall k \in K \quad (3.8)$$

$$\sum_{i \in S_0} z_{ik} \leq wcap \times w_k \quad \forall k \in K \quad (3.9)$$

$$\sum_{l \in C_c^{in}} y_{lk} - \sum_{l \in C_c^{out}} y_{lk} = 0 \quad \forall k \in K, \forall c \in C \quad (3.10)$$

$$t_{lk}^{in} + ln_l + (y_{lk} - 1) \times M + \sum_{i \in S_0} z_{ik} \times lt \leq t_{lk}^{out} \quad \forall k \in K, \forall l \in L \quad (3.11)$$

$$t_{lk}^{in} \leq M * y_{lk} \quad \forall k \in K, \forall l \in L \quad (3.12)$$

$$t_{lk}^{out} \leq M * y_{lk} \quad \forall k \in K, \forall l \in L \quad (3.13)$$

$$\sum_{l \in C_c^{in}} t_{lk}^{out} + M \times (y_{lk} - 1) - \sum_{l \in C_c^{out}} t_{lk}^{in} + wp \times (w_k + u_k) \leq 0 \quad \forall k \in K, \forall c \in C \quad (3.14)$$

$$y_{lk} + y_{lj} \geq 2 \times (b_{ljk} + b_{lkj}) \quad \begin{array}{l} \forall j, k \in K \\ : j \neq k, \\ \forall l \in L \end{array} \quad (3.15)$$

$$b_{ljk} + b_{lkj} + 1 \geq y_{lk} + y_{lj} \quad \begin{array}{l} \forall j, k \in K \\ : j \neq k, \\ \forall l \in L \end{array} \quad (3.16)$$

$$t_{lk}^{in} - t_{jk}^{in} + (y_{lk} + y_{lj} - 2) \times M \leq M \times b_{ljk} \quad \begin{array}{l} \forall j, k \in K \\ : j \neq k, \\ \forall l \in L \end{array} \quad (3.17)$$

$$t_{lk}^{out} - t_{jk}^{out} \geq (u_j + w_j) \times wp + (b_{ljk} - 1) \times M \quad \begin{array}{l} \forall j, k \in K \\ : j \neq k, \\ \forall l \in L \end{array} \quad (3.18)$$

$$t_{lk}^{in} - t_{jk}^{in} \geq (u_k + w_k) \times wp + (b_{ljk} - 1) \times M \quad \begin{array}{l} \forall j, k \in K \\ : j \neq k, \\ \forall l \in L \end{array} \quad (3.19)$$

$$b_{0jk} - b_{mjk} = 0 \quad \begin{array}{l} \forall j, k \in K \\ : j \neq k \end{array} \quad (3.20)$$

$$per \geq t_{mk}^{in} - t_{0k}^{in} \quad \forall k \in K \quad (3.21)$$

$$per \leq mp \quad (3.22)$$

$$u_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in K \quad (3.23)$$

$$y_{lk} \in \{0,1\} \quad \begin{array}{l} \forall k \in K, \\ \forall l \in L \end{array} \quad (3.24)$$

$$x_{ik} \in \{0,1\} \quad \begin{array}{l} \forall k \in K, \\ \forall i \in S_0 \end{array} \quad (3.25)$$

$$b_{ljk} \in \{0,1\} \quad \begin{array}{l} \forall j, k \in K \\ : j \neq k \end{array} \quad (3.26)$$

$$z_{ik} \geq 0, \text{ tamsayı} \quad \begin{array}{l} \forall k \in K, \\ \forall i \in S_0 \end{array} \quad (3.27)$$

$$w_k \geq 0, \text{ tamsayı} \quad \forall k \in K \quad (3.28)$$

$$per \geq 0, \text{ tamsayı} \quad (3.29)$$

$$t_{lk}^{in} \geq 0 \quad \begin{array}{l} \forall k \in K, \\ \forall l \in L \end{array} \quad (3.30)$$

$$t_{lk}^{out} \geq 0 \quad \begin{array}{l} \forall k \in K, \\ \forall l \in L \end{array} \quad (3.31)$$

Verilen modelde amaç katarları oluşturan toplam araç ve vagon maliyetlerinin en küçüklenmesidir. Kısıt (3.3) kullanılmayan bir aracın üretim hattında dolaşıma

katılmasını önlemekte, kullanılan bir aracın ise hareket etmesini sağlamaktadır. Kısıt (3.4) ile bir katarla geçmediği bir koridorun üzerinde bulunan bir iş istasyonunun atanması önlenmektedir. Kısıt (3.5) ile bir iş istasyonunun sadece bir katarla atanması sağlanmaktadır. Kısıt (3.6) bir iş istasyonuna götürülecek malzeme miktarının, iş istasyonunun bir çevrim süresince tükettiği malzeme miktarından az olması önlenmektedir. Bu sayede iş istasyonlarında malzemelerin tükenmesinin önüne geçilmektedir. Kısıt (3.7) ile bir iş istasyonuna sadece atandığı katar tarafından malzeme getirilmesi sağlanmaktadır. Kısıt (3.8) ile kullanılmayan bir araca vagon bağlanması önlenmekte, kullanılan bir araca ise izin verilenden fazla vagon bağlanması önlenmektedir. Kısıt (3.9) ile bir katarla, katardaki vagonların toplam kapasitesinden fazla malzeme yüklenmesi önlenmektedir. Kısıt (3.10) bir koridor kesişimine gelen katarların sayısının bu kesişimden giden katarların sayısına eşit olması sağlanmaktadır. Kısıt (3.11) bir katarın bir koridordan çıkış zamanının bu koridora giriş zamanı, koridor uzunluğu ve koridorda harcanan yükleme/boşaltma zamanlarının toplamından küçük olmasına izin vermemektedir. (3.12) ve (3.13) kısıtları ile bir katarın geçmediği bir koridor için giriş ve çıkış zamanlarının sıfır olması sağlanmaktadır. Kısıt (3.14) ile bir katarın bir koridora giriş zamanının önceki koridordan çıkış zamanı ile katarın uzunluğunun toplamından büyük ya da eşit olması sağlanır. Burada katarlarda kullanılan araç ve vagon uzunlukları eşit olarak alınmıştır. Kısıt (3.15) bir koridora giren iki katar için o koridor ile ilgili hareket sırası değişkenlerinden birinin değer almasına izin vermekte, diğer durumlarda hareket sırası değişkenlerinin değer almasını önlemektedir. Kısıt (3.16) bir koridora giren iki katar için o koridor ile ilgili hareket sırası değişkenlerinin değer almasını sağlamaktadır. Kısıt (3.17) ile bir koridora giren iki katarın koridora giriş zamanlarına göre o koridor için daha erken giren katarı ifade eden hareket sırası değişkeninin değer almasını sağlamaktadır. Kısıt (3.18) bir koridora giren iki katardan geç girenin çıkış zamanı ile erken girenin çıkış zamanı arasında en az erken giren aracın boyu kadar fark olması sağlanmaktadır. Kısıt (3.19) ile bir koridora giren iki katardan geç girenin giriş zamanı ile erken girenin giriş zamanı arasında geç girenin boyu kadar fark olması sağlanır. (3.18) ve (3.19) kısıtları ile koridor geçişleri esnasından bir katarın, önündeki katarın hareketini beklemesi sonucu koridor kesişiminde diğer katarların geçişini engellememesi sağlanmaktadır. Kısıt (3.20) katarların başlangıçta süpermarkete giriş sıraları ile çevrim sonundaki geri dönüş sıralarının aynı olması sağlanmaktadır. Kısıt (3.21) çevrim süresi uzunluğunun katarların her birinin hareket sürelerinden küçük

olmasını önlemektedir. Kısıt (3.22) ile çevrim süresinin belirlenen üst sınırdan büyük olması engellenmektedir. Bahsedilen üst sınır (3.1) eşitsizliği kullanılarak belirlenmektedir. Bu sayede, iş istasyonlarına götürülecek malzeme miktarının iş istasyonlarının stok kapasitelerinden fazla olmasını önlenmektedir. Kısıtlar (3.23) – (3.26) ikili değişkenleri ifade etmektedir. (3.27) – (3.29) kısıtları işaret ve tamsayılık kısıtlarıdır. (3.30) ve (3.31) kısıtları ise sürekli değişkenler için işaret kısıtlarıdır.

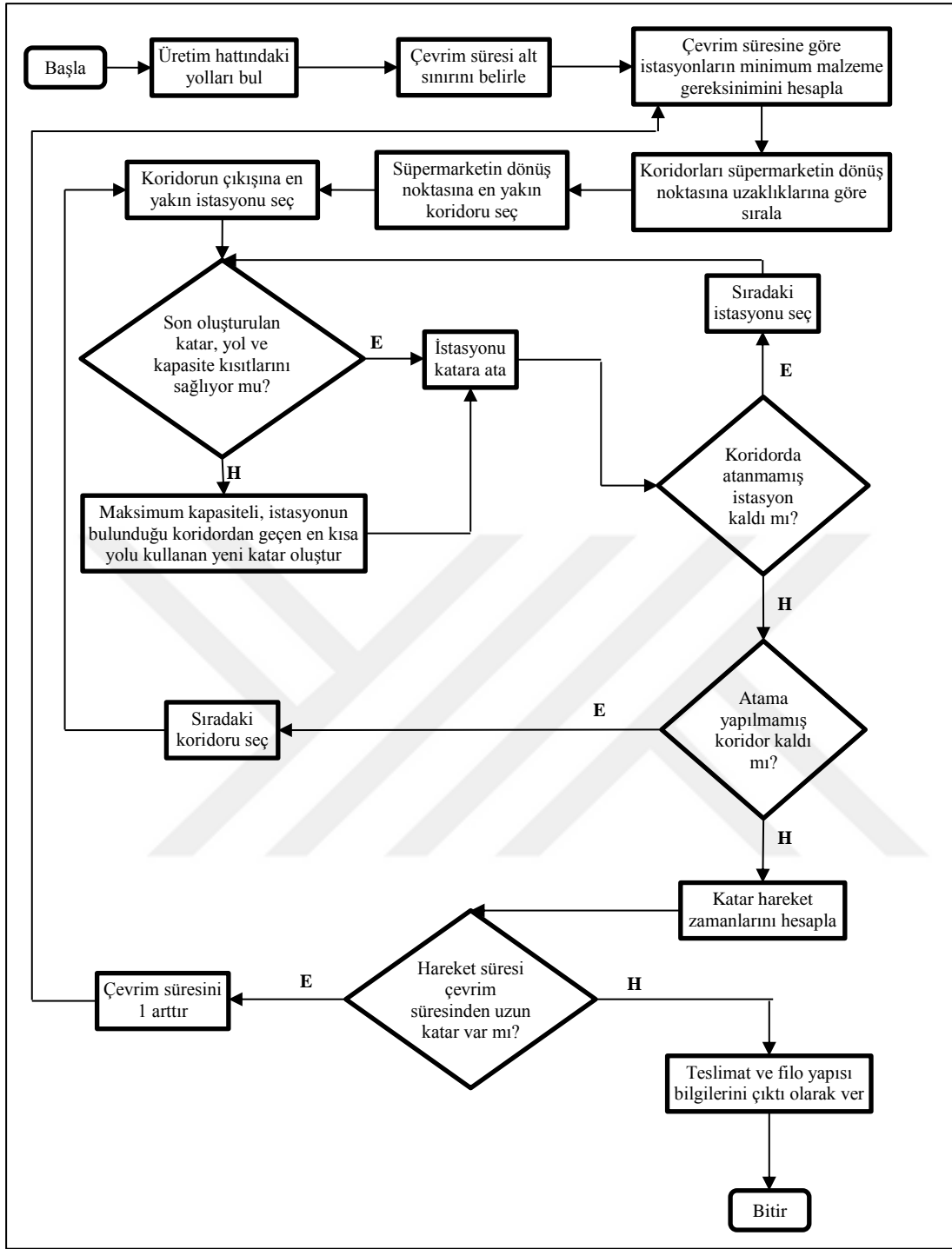


4. ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Matematiksel modelin çözüm süresi çok uzun zaman aldığı için, (Bkz. Bölüm 5.2) problemin çözümü için sezgisel bir algoritma oluşturulmasına karar verilmiştir. Oluşturulan sezgisel algoritma ile makul bir süre içinde iyi sonuçların bulunması hedeflenmiştir.

Sezgisel algoritmada öncelikle bir başlangıç çözümü oluşturulmaktadır. Oluşturulan başlangıç çözümü üzerinde sırasıyla iyileştirme hamleleri uygulanarak daha iyi bir çözüm elde edilmeye çalışılır. İyileştirme hamleleri sonucunda başarılı olunmuş ise bilinen en iyi çözüm güncellenir ve çıktı olarak sunulur.

Başlangıç çözümü üretilmesi için öncelikle tahmini bir çevrim süresi uzunluğu hesaplanır. Bu tahmini sürenin hesaplanması için üretim hattındaki süpermarkete en uzak koridordan geçen yolun uzunluğu esas alınır. Çevrim süresi için üretilen tahmini değer bu yolun uzunluğundan büyük ya da bu uzunluğa eşit en küçük tamsayıdır. Üretilen bu tahmini değere göre iş istasyonlarına götürülecek malzeme miktarları hesaplanır. Süpermarketin dönüş noktasına en yakın koridordan başlanarak koridorlar üzerindeki iş istasyonları katarlara atanmaya başlanır. Eğer iş istasyonunun hesaplanan malzeme talep miktarı, son eklenen katarın kalan kapasitesinden büyük ise ya da katar iş istasyonunun bulunduğu koridordan geçmiyor ise, iş istasyonunun koridorundan geçen en kısa yolu kullanan yeni bir katar, izin verilen en büyük vagon sayısı ile oluşturulur. Bütün iş istasyonlarının atamaları tamamlandıktan sonra, katarların katar listesine eklenme sıralarına göre hareket ettiği kabul edilerek hareket zamanları hesaplanır. Elde edilen hareket zamanları kullanılarak katarların hareket süreleri hesaplanır. Hesaplanan hareket sürelerinden biri başlangıçta tahmin edilen çevrim süresinden büyük ise hareket süresinden büyük ya da eşit en küçük tamsayı yeni çevrim süresi tahmini olarak alınıp işlemler tekrarlanır. Hesaplanan hareket süreleri tahmin edilen çevrim süresinden küçük ise algoritma durur ve oluşturulan başlangıç çözümü çıktı olarak verilir. Bahsedilen başlangıç kurucu algoritmanın akış şeması Şekil 4.1'de verilmiştir. Algoritmanın sözde kodu Ek 1'de yer almaktadır.



Şekil 4.1 : Başlangıç çözümü kurucu algoritma akış şeması

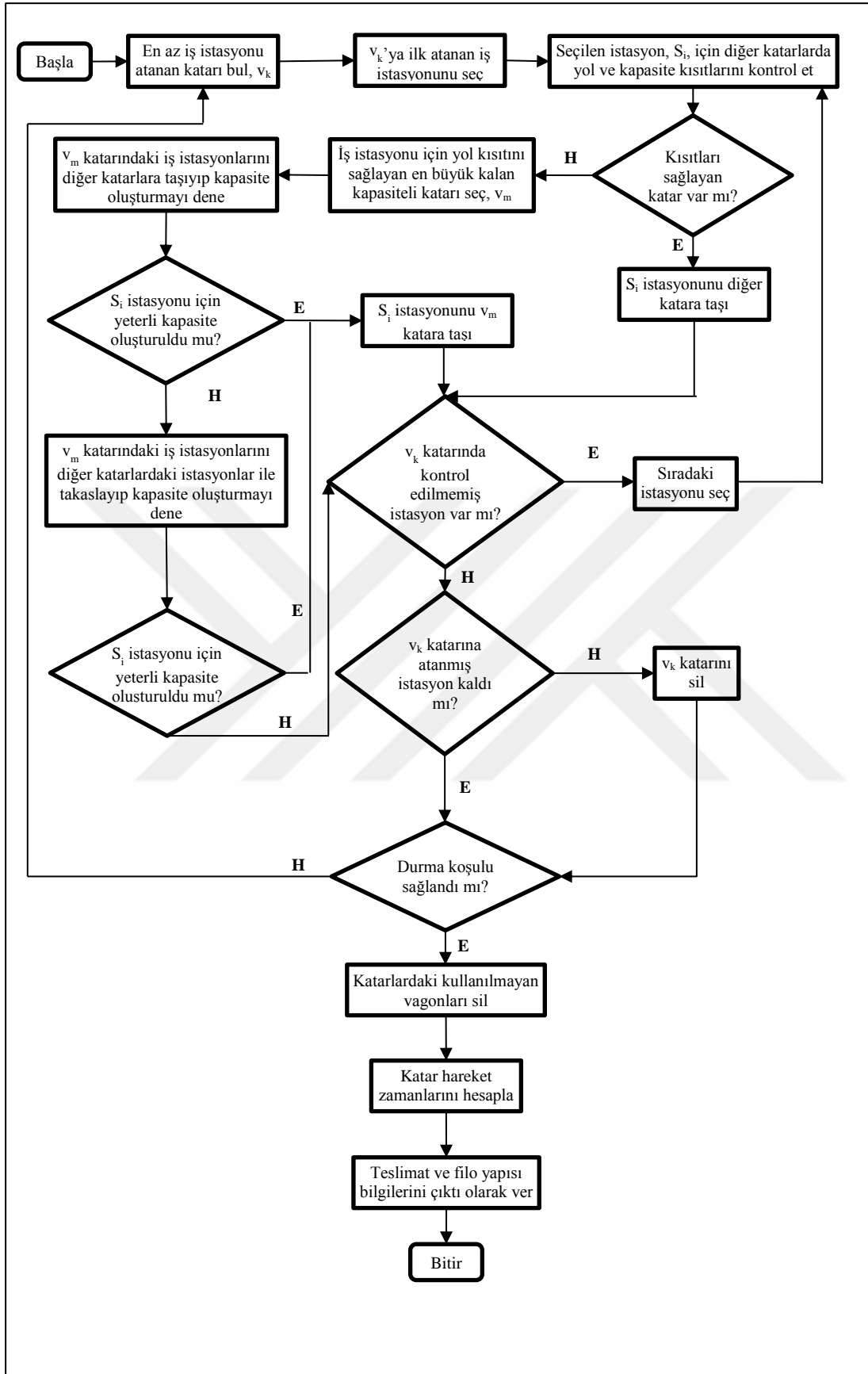
Katarların hareket zamanları hesaplanırken, matematiksel modelde verilen (3.11), (3.14), (3.18) ve (3.19) kısıtları kullanılmıştır. Katarların oluşturulma sırası ile hareket sıraları aynı olarak kabul edilmiştir.

Başlangıç çözümü oluşturulduktan sonra iyileştirme algoritmasına aktarılır. İyileştirme algoritması ile başlangıç çözümünden daha az sayıda vagon ve/veya araç

kullanılarak oluşturulan bir katar filosu ile iş istasyonlarının talepleri karşılanmaya çalışılır. İyileştirme algoritmasında ilk adım olarak en az sayıda iş istasyonu atanmış olan katar belirlenir. Bu katara atanmış iş istasyonlarının talep değerleri ve diğer katarların kalan kapasiteleri incelenerek iyileştirmede kullanılacak aday iş istasyonları belirlenir. Eğer aday iş istasyonları listesi boş ise iyileştirme mümkün değildir demektir. Eğer aday iş istasyonları listesi boş değil ise listeden bir iş istasyonu seçilir. Seçilen iş istasyonunun atanabileceği başka bir katar olup olmadığı katarların oluşturulma sırasına göre kontrol edilir. Eğer atanabileceği başka bir katar varsa o katara atanır. Kalan kapasite değerleri güncellenir. Eğer atanabileceği başka bir katar yoksa, iş istasyonunun bulunduğu koridordan geçen diğer katarlardan en büyük kapasiteli olanı seçilir. Bu katardeki bir iş istasyonunun farklı bir katara aktarılması ile yeterli kapasite oluşturulabiliyorsa hareket gerçekleştirilir ve aday listesinden gelen iş istasyonu uygun kapasite oluşturulan katara aktarılır. Bu hamleyle yeterli kapasite oluşturulamıyorsa en büyük kapasiteli katardeki bir iş istasyonu ile bir diğer katardeki iş istasyonunun yer değiştirilmesi ile yeterli kapasite oluşturulmaya çalışılır. Mümkünse hareket gerçekleştirilir ve aday listesinden gelen iş istasyonu uygun kapasite oluşturulan katara aktarılır. Değilse aday listesindeki bir sonraki iş istasyonu için işlemler tekrarlanır. Aday listesindeki bütün iş istasyonları kontrol edildikten sonra katar seçimi adımına dönülür. Durma koşulu sağlanana kadar algoritma adımları tekrarlanır. Durma koşulu olarak iterasyon sayısı alınmıştır. İyileştirme algoritmasının akış şeması Şekil 4.2’de verilmiştir. Algoritmanın sözde kodu Ek 2’de yer almaktadır.

İyileştirme algoritmasında, istasyon taşıyarak kapasite oluşturma işleminde, en büyük kalan kapasiteli katara, v_m , atanmış istasyonlar farklı katarlara aktarılmaya çalışılır. Bunun için, v_m katarındaki her iş istasyonu için, kapasite ve yol kısıtlarını sağlayan başka bir araç olup olmadığı kontrol edilir. Eğer kısıtları sağlayan bir katar bulduysa, iş istasyonu bulunan ilk katara taşınır.

Taşıma işlemleri sonrasında, s_i iş istasyonu için yeterli kapasite oluşturulamadıysa, katarlar arasında iş istasyonları takas edilerek kapasite oluşturulmaya çalışılır. Bu adımda, v_m katarındaki her bir iş istasyonu (s_j) için yol kısıtını sağlayan katarlar sırayla kontrol edilir. Kontrol edilen katarde, v_m aracının geçtiği yol üzerinde bulunan ve s_j iş istasyonu ile takas edilmesi durumunda kapasite kısıtlarını ihlal etmeyen ve v_m katarının kalan kapasitesinin artmasını sağlayan bir iş istasyonu (s_r) varsa, bu iki



Şekil 4.2 : İyileştirme algoritması akış şeması

iş istasyonunun (s_j ve s_r) yerleri değiştirilir. Bu işlemler, s_i için yeterli yer sağlanana ya da uygun takas hamlesi bulunamayana kadar devam eder.





5. BİLGİSAYAR DENEYLERİ

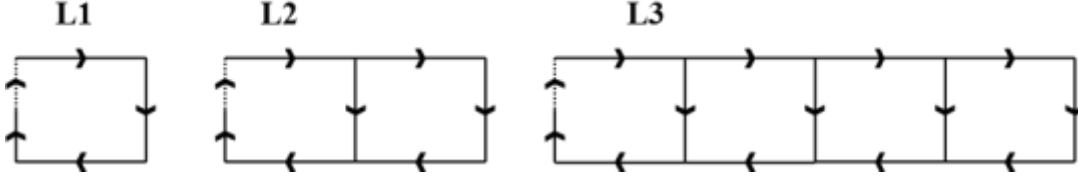
Oluşturulan algoritmanın performansının ölçümü için rasgele olarak problem örnekleri oluşturulmuştur. Önerilen algoritma oluşturulan problem örnekleri için koşturulmuş, algoritmanın etkinliği problem örneklerinin matematiksel model sonuçları ve hesaplanan alt sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bilgisayar deneyleri dört çekirdekli Intel i5-2500 işlemcili, 16 GB Ram bulunan bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Bilgisayarda işletim sistemi olarak Linux Mint 17.3 Rosa kullanılmaktadır.

5.1 Problem Örneği Üretimi ve Alt Sınırları

Önerilen algoritmanın test edilmesi için rasgele problem örnekleri oluşturulmuştur. Üç farklı yerleşim tipi, üç farklı iş istasyonu sayısı, iki farklı tüketim hızı ortalaması, iki farklı tüketim hızı varyansı kullanılarak toplamda yirmi farklı grupta problem örneği üretilmiştir. Sonuçların istatistiksel olarak anlamlı olması için her bir problem örneği grubu için üç adet veri seti oluşturulmuştur. Toplamda oluşturulan altmış problem örneği, bir araca bağlanabilecek iki farklı vagon sayısı için koşum yapılmıştır. Problem örneklerinin üretiminde kullanılan parametreler Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : Problem örneği üretiminde kullanılan parametreler

| Yerleşim Tipi | Koridor Sayısı | İş İstasyonu Sayısı | Tüketim Hızı Ortalaması | Tüketim Varyansı |
|---------------|----------------|---------------------|-------------------------|------------------|
| L1 | 4 | 25 | Yüksek/Düşük | Yüksek/Düşük |
| L2 | 7 | 25/50 | Yüksek/Düşük | Yüksek/Düşük |
| L3 | 13 | 50/75 | Yüksek/Düşük | Yüksek/Düşük |

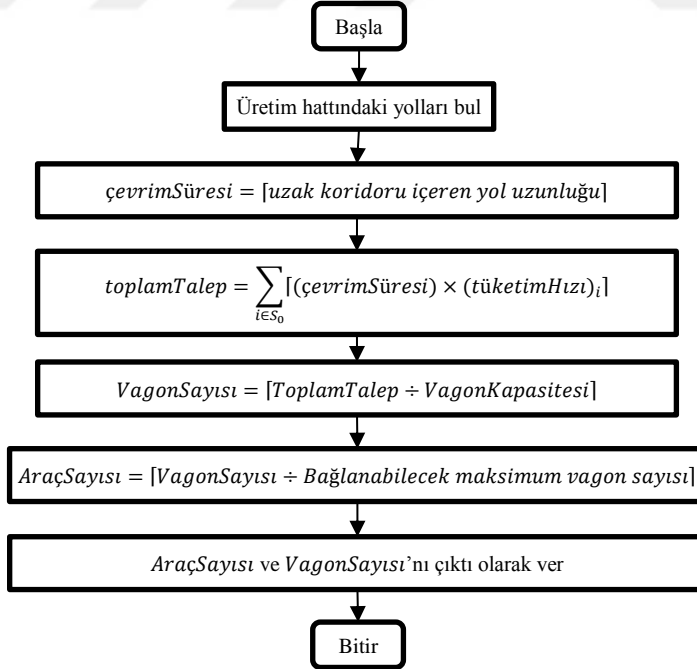


Şekil 5.1 : Problem örneği üretiminde kullanılan yerleşim türleri

Problem örnekleri üretilirken kullanılan yerleşim türleri Şekil 5.1’de verilmiştir. Şekilde noktalı olarak gösterilen kısımlar süpermarket koridorunu, düz çizgi olarak gösterilen kısımlar iş istasyonlarının bulunduğu koridorları ifade etmektedir. Koridorlardaki hareket yönleri oklar ile gösterilmiştir.

Problem örneklerinde, iş istasyonlarının tüketim hızları düzgün dağılıma göre rasgele üretilmiştir. İş istasyonlarının koridorlara dağılımı da düzgün dağılım kullanılarak oluşturulmuştur.

Üretilen problem örnekleri için, algoritmanın sonuçlarıyla karşılaştırılmak üzere, kullanılacak katar filosundaki araç ve vagon sayılarıyla ilgili alt sınırlar elde edilmiştir. Şekil 5.2’de alt sınırların üretiminde kullanılan algoritmanın akış şeması verilmiştir. Algoritmanın sözde kodu Ek 3’te yer almaktadır.



Şekil 5.2 : Alt sınır hesaplama algoritması akış şeması

Algoritmada öncelikle problem örneği için geçerli olabilecek çevrim süresi için alt sınır değeri üretilmektedir. Üretilen çevrim süresi değerine göre iş istasyonlarının bir

çevrimdeki malzeme talepleri hesaplanmaktadır. İş istasyonlarının tek katarata atanmaları gerektiği ve katarın geçtiği koridorda bulunması gerektiği gibi problem kısıtları göz ardı edilerek kullanılacak vagon sayısı için bir alt sınır değeri üretilmektedir. Kullanılacak vagonların sayısı ile bir katarata bağlanabilecek en büyük vagon sayısı oranı kullanılarak araç sayısı alt sınırı elde edilmektedir.

5.2 Matematiksel Model Koşum Sonuçları

Matematiksel model CPLEX 12.6 Concert Technology kullanılarak C++ yazılım dilinde kodlanmıştır. Koşumlar alınırken her bir problem örneği için dört saatlik süre limiti konulmuştur. Diğer koşum parametreleri için varsayılan ayarlar kullanılmıştır. Ortalama koşum sonuçları Ek 4'te yer almaktadır. Çizelge Ek4'te yer alan fark değerleri, araç maliyetinin 10 birim, vagon maliyetinin ise 3 birim alındığı durum için hesaplanmıştır.

Çizelge Ek4'te matematiksel model koşum sonuçlarının ortalamaları görülmektedir. Çizelgedeki her bir satır, ilgili üç problem örneğinin koşum sonuçları ortalamasını göstermektedir. Çizelgede matematiksel model sonuçları arasında araç sayısı ve vagon sayısının sıfır olduğu satırlar, ilgili problem örneklerinden hiçbiri için, dört saatlik süre limiti içinde olurlu bir çözümün bulunamadığı örnekleri göstermektedir. Ayrıca, çizelgenin diğer satırlarında olurlu çözümün bulunamadığı örneklerin sonuçları ortalamaya alınmamıştır. Toplamda 26 problem örneği için olurlu çözüm bulunamamıştır. Çözüm süresinin dört saatten (14400 saniye) kısa olduğu problem örnekleri için optimal çözümler koşum sonucunda bulunabilmiştir. Problem örneklerinin 44 tanesi için optimal çözümler bulunabilmiştir.

Matematiksel model sonuçları incelendiğinde üretim hattının yerleşimindeki koridor sayısı ve yerleşimin karmaşıklığı ile üretim hattındaki iş istasyonlarına bağlı olarak çözüm süresinin hızla arttığı, büyük örneklerde ise olurlu bir çözümün bulunmasının bile çok uzun zaman aldığı görülmektedir. Bu durum problemin çözümünde kullanılmak üzere bir sezgisel algoritma kullanımının gerekliliğini göstermektedir.

Bulunan optimal sonuçlar incelendiğinde, üretim hattındaki malzeme taleplerinin karşılanması için gereken vagon sayısı üzerindeki en önemli etmenlerin ortalama malzeme tüketim hızı ve üretim hattındaki iş istasyonlarının sayısı olduğu

görülmektedir. Ortalama malzeme tüketim hızı ya da iş istasyonlarının sayısı arttığında kullanılması gereken vagon sayısı da artış göstermektedir.

İş istasyonlarının malzeme tüketim hızı varyansının ise vagon sayısı üzerinde büyük bir etkisi görülmemektedir. Ancak Çizelge Ek4'te görülebileceği üzere, bazı durumlarda malzeme tüketim hızı varyansının artması ile ihtiyaç duyulan vagon sayısı azalabilmektedir. Bu durum, her iş istasyonunun sadece bir katarla atanmasından kaynaklanmaktadır. Varyansın büyük olduğu durumlarda, daha düşük tüketim hızına sahip iş istasyonları katarlardaki vagonların doluluk oranını arttıracak şekilde katarlara atanabilmektedir.

Üretim hattına malzeme götürülmesinde kullanılması gereken araç sayısı, bir katarla bulunabilecek maksimum vagon sayısından, üretim hattı yerleşimindeki koridor sayısından, ortalama malzeme tüketim hızı ve iş istasyonlarının sayısından etkilenmektedir. Ortalama malzeme tüketim hızı ve iş istasyonlarının sayısının artışı ile kullanılması gereken vagon sayısı artmakta, dolaylı olarak da kullanılması gereken araç sayısında artış gözlenmektedir. Bir araca bağlanabilecek maksimum vagon sayısı da kullanılması gereken vagon sayısı ile araç sayısı arasındaki bağıntıda bulunduğu için araç sayısı üzerinde etkili parametreler arasındadır.

Üretim hattında bulunan koridor sayısı, üretim hattındaki iş istasyonlarının tamamına malzeme götürülmesi için kullanılması gereken minimum yol sayısını etkilemektedir. Kullanılması gereken yol sayısının artışı ile birlikte, farklı yolların ortak koridorlarında bulunan iş istasyonlarının katarlara atamalarının dengeli olarak gerçekleştirilemediği durumlarda, kullanılması gereken araç sayısının artışına sebep olmaktadır.

Matematiksel model koşum sonuçları ile problem örnekleri için üretilmiş olan alt sınır değerleri incelendiğinde üretilen alt sınır ile farkın %1 ile %46 arasında değiştiği görülmektedir. Alt sınır değerlerinin, malzeme tüketim hızının yüksek olduğu ve bir katarla bulunabilecek vagon sayısının düşük olduğu durumlarda daha etkili sınırlar oluşturduğu görülmüştür.

5.3 Sezgisel Algoritma Koşum Sonuçları

Önerilen sezgisel algoritma C++ yazılım dilinde kodlanmıştır. Başlangıç kurucu algoritma ile iyileştirme algoritmasının sonuçları Ek 5'te karşılaştırmalı olarak

verilmiştir. Çizelge Ek5'te iyileştirme oranları, araç maliyetinin 10 birim, vagon maliyetinin ise 3 birim alındığı durum için hesaplanmıştır.

İyileştirme algoritması sonucunda, başlangıç kurucu algoritma ile üretilen çözümün en fazla %17 kadar iyileştirilebildiği görülmektedir. İyileştirme algoritması, ortalama malzeme tüketim hızının düşük olduğu ve üretim hattı yerleşiminde bulunan koridor sayısının yüksek olduğu durumlarda, başlangıç kurucu algoritmadan elde edilen çözümlerin daha fazla iyileştirilebilmektedir. Malzeme tüketim hızı varyansı ve katarıda bulunabilecek maksimum vagon sayısı ile iyileştirme algoritmasını etkinliği arasında bir bağıntı bulunamamıştır.

Ortalama koşum sonuçları, matematiksel model çözümleri ve üretilen alt sınır değerleriyle karşılaştırmalı olarak Ek 6'da yer almaktadır. Çizelge Ek6'da yer alan karşılaştırma oranları, araç maliyetinin 10 birim, vagon maliyetinin ise 3 birim alındığı durum için hesaplanmıştır.

Önerilen sezgisel algoritmanın çözümleri ile alt sınır değerleri karşılaştırıldığında fark yüzdesinin büyük olduğu problem örneklerinin, alt sınır etkinliğinin zayıf olduğu, düşük tüketim hızı ortalamasına sahip problem örnekleri olduğu görülmektedir. Koşum sonuçları ile alt sınırlar arasındaki en büyük farkın %46 olduğu ve bu problem örnekleri için, sezgisel algoritmanın matematiksel model ile aynı ve optimal çözümü bulduğu görülmektedir. Ayrıca, matematiksel model koşum sonuçları için de olduğu gibi, sezgisel algoritma çözümleri ile alt sınırlar arasındaki fark, bir katara bağlanabilecek vagon sayısının az olduğu örneklerde daha düşüktür.

Oluşturulan sezgisel algoritma ile matematiksel modelin koşum sonuçları karşılaştırıldığında, sezgisel algoritmanın iyi sonuçlar elde ettiği görülmektedir. Matematiksel model ile sezgisel algoritma çözümleri arasındaki en büyük fark %9'dur. Aradaki farkın büyük olduğu problem örneklerinde, sezgisel algoritmanın iyileştirme aşaması yetersiz kalmaktadır. Buna karşın, sezgisel algoritma ile, oluşturulan 120 problem örneğinden 31 tanesi için optimal çözümler, 36 tanesi için ise matematiksel model çözümleri ile aynı ya da daha iyi çözümler bulunmuştur. Çizelgede bulunan negatif fark değerleri matematiksel modelden daha iyi çözümlerin bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca, matematiksel modelin olurlu çözüm bulamadığı 26 problem örneği için ise çözüm üretilebilmiştir.

Oluşturulan sezgisel algoritma ile matematiksel modelin çözüm süreleri karşılaştırıldığında ise sezgisel algoritmanın çok kısa sürelerde iyi çözümleri bulabildiği görölmektedir. Kullanılan problem örnekleri için, en uzun koşum süresi 7 milisaniyeden kısadır.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fabrika içi stok rotalama problemi için filo yapısı ve çevrimsel taşıma çizelgelerinin belirlenmesi amacıyla bir matematiksel model ve yerel arama tabanlı bir sezgisel algoritma önerilmiştir. Farklı parametreler kullanılarak rasgele problem örnekleri üretilmiş, problemin çözümünü etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve sezgisel algoritmanın etkinliğinin ölçülmesi için bu örnekler üzerinde koşumlar yapılmıştır.

Matematiksel model koşum sonuçları incelendiğinde, problemin boyutu (üretim hattındaki koridor sayısı ve iş istasyonu sayısı) büyüdükçe problemin çözüm süresinin büyüdüğü görülmüştür. Üretilen örneklerin bazıları için dört saatlik süre sınırı içinde olurlu çözüm bulunamamıştır.

Malzeme taşıma işlemi için gereken vagon sayısını en fazla etkileyen etmenlerin, malzeme tüketim hızı ortalaması ve iş istasyonu sayısı olduğu görülmüştür. Bu iki parametredeki artış, gerekli vagon sayısını arttırmaktadır. Malzeme tüketim hızı varyansı ile vagon sayısı arasında ise zayıf bir ilişki bulunmaktadır. Varyansın artması ile birlikte gerekli vagon sayısında azalma görülmektedir.

İhtiyaç duyulan araç sayısı, kullanılması gereken vagon sayısı ve koridor sayısının artışı ile artmakta, bir araca bağlanabilecek vagon sayısının artması ile azalmaktadır. Malzeme tüketim hızı ortalaması ve istasyon sayısı parametreleri, kullanılması gereken vagon sayısını etkileyerek kullanılması gereken araç sayısına dolaylı olarak etkide bulunmaktadır.

Sezgisel algoritma ve matematiksel model koşum sonuçları karşılaştırıldığında önerilen sezgisel algoritmanın çok kısa sürede iyi çözümler bulabildiği görülmektedir. Matematiksel model çözümü ile farkın en büyük olduğu problem örnekleri, sezgisel algoritmanın iyileştirme aşamasının yetersiz olduğu örneklerdir. Önerilen sezgisel algoritma, yerel arama tabanlı olduğu için, bir yerel en iyi çözümde takılmış, daha iyi çözümlere ulaşamamıştır. Bunun üstesinden gelinmesi için bir üstsezgisel (metaheuristic) algoritma oluşturulabilir.

Oluşturulan sezgisel algoritma, 120 problem 6rneğinden 31 tanesi için optimal 6z6mleri, 36 tanesi için ise matematiksel model 6z6mleri ile aynı ya da daha iyi 6z6mleri bulabilmiştir. Matematiksel modelin d6rt saatlik koşum s6resi sonunda olurlu 6z6m bulamadığı 26 problem 6rneği için sezgisel algoritma ile 6z6m bulunabilmiştir.

Çalışılan problemde, bir iş istasyonuna sadece bir katarın malzeme g6t6rmesine izin verilmektedir. Bu varsayımın gevşetildiği, bir iş istasyonuna birden fazla katarın malzeme g6t6rmesine izin verilen durumda, katarlardaki vagonların doluluk oranları arttırılarak daha d6ř6k maliyetli 6z6mler bulunabilir.

Ayrıca, 6retim hattı için hat dengelemenin yapıldığı ve buna g6re iş istasyonlarının t6k6tim hızlarının bilindiği varsayılmıştır. Bu varsayım değiştirilerek, hat dengeleme problemi ile fabrika içi stok rotalama probleminin birleştirilip çalışılması ile 6retim hattında daha d6ř6k maliyetler ile 6retim yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Battini, D., Boysen, N., Emde, S.,**(2013). Just-in-Time supermarkets for part supply in the automobile industry, *Journal of Management Control*, 24(2), 209-217.
- Boysen, N., Emde, S., Hoeck, M., Kauderer, M.,** (2014). Part Logistics in the Automobile Industry: Decision Problems, Literature Review and Research Agenda, *European Journal of Operational Research*, 242(1), 107-120.
- Campbell, A., Clarke, L., Kleywegt, A., Savelsbergh, M.,** *The Inventory Routing Problem*, Fleet Management and Logistics (Sf. 95-113), Springer US, (1998)
- Campbell, A. M., Savelsbergh, M. W. P.,** (2004). Delivery Volume Optimization, *Transportation Science*, 38(2), 210-223.
- Chitsaz, M., Divsalar, A., Vansteenwegen, P.,** (2016). A two-phase algorithm for the cyclic inventory routing problem, *European Journal of Operational Research*, 254(2), 410-426.
- Emde, S., & Boysen, N.,** (2012). Optimally routing and scheduling tow trains for JIT-supply of mixed-model assembly lines, *European Journal of Operational Research*, 217(2), 287–299.
- Emde, S., Fliedner, M., Boysen, N.,** (2012). Optimally loading tow trains for just-in-time supply of mixed-model assembly lines. *IIE Transactions*, 44(2), 121–135.
- Gaur, V., & Fisher, M. L.,** (2004). A Periodic Inventory Routing Problem at a Supermarket Chain, *Operations Research*, 52(6), 813–822.
- Golz, J., Gujjula, R., Günther, H. O., Rinderer, S., Ziegler, M.** (2012). Part feeding at high-variant mixed-model assembly lines, *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 24(2), 119-141.
- Hoff, A., Andersson, H., Christiansen, M., Hasle, G., Løkketangen, A.,** (2010). Industrial aspects and literature survey: Fleet composition and routing, *Computers & Operations Research*, 37(12), 2041-2061.
- Kilic, H. S., Durmusoglu, M. B., & Baskak, M.,** (2012). Classification and modeling for in-plant milk-run distribution systems, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 62(9-12), 1135–1146.
- Kilic, H. S., Durmusoglu, M. B.,** (2013). A mathematical model and a heuristic approach for periodic material delivery in lean production environment, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69(5-8), 977–992.

- Larson, R. C.**, (1988). Transporting sludge to the 106-mile site: An inventory/routing model for fleet sizing and logistics system design, *Transportation Science*, 22(3), 186-198.
- Satoglu, S. I., Sahin, I. E.**, (2013). Design of a just-in-time periodic material supply system for the assembly lines and an application in electronics industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 65(1-4), 319–332.
- Vaidyanathan, B. S., Matson, J. O., Miller, D. M., Matson, J. E.**, (1999). A capacitated vehicle routing problem for just-in-time delivery, *IIE Transactions*, 31(11), 1083–1092.
- Zenker, M., Emde, S., Boysen, N.**, (2015). Cyclic inventory routing in a line-shaped network, *European Journal of Operational Research*, 250(1), 164-178.



EKLER

EK 1: Başlangıç Çözümü Kurucu Algoritma Söзде Kodu

EK 2: İyileştirme Algoritması Söзде Kodu

EK 3: Alt Sınır Hesaplama Algoritması Söзде Kodu

EK 4: Matematiksel Model Koşum Sonuçları

EK 5: Başlangıç Kurucu Algoritma-İyileştirme Algoritması Karşılaştırması

EK 6: İyileştirme Algoritması ve Matematiksel Model Sonuçları ile Alt Sınırların Karşılaştırması

EK 1

Algoritma 1. Başlangıç Çözümü Kurucu Algoritma Söзде Kodu

Başla

1. Üretim hattındaki yolları bul
2. Çevrim süresi alt sınırını belirle, $per = [en\ uzun\ yol]$
3. Çevrim süresine göre istasyon taleplerini hesapla, $talep_i = [per \times d_i]$
4. Koridorları süpermarkete dönüş noktasına uzaklarına göre sırala
5. Dönüş noktasına en yakın koridordan başlayarak, her koridor için;
 - 5.1. Koridordaki her iş istasyonu için,
 - 5.1.1. Son eklenen katar iş istasyonu için yol ve kapasite kısıtlarını sağlıyorsa
 - 5.1.1.1. İstasyonu katarata ata
 - 5.1.1.2. $KalanKapasite_k = KalanKapasite_k - talep_i$
 - 5.1.2. Kısıtlar sağlanmıyorsa,
 - 5.1.2.1. Maksimum kapasiteli yeni katar oluştur
 - 5.1.2.2. Katarata, koridordan geçen en kısa yolu ata
 - 5.1.2.3. İş istasyonunu katarata ata
6. Katarların hareket zamanlarını hesapla
7. Bütün katarlar için
 - 7.1. Katarın hareket süresi çevrim süresinden büyük ise,
 - 7.1.1. Çevrim süresini bir arttır
 - 7.1.2. Adım 3'e geri dön
8. Katar filo yapısını, hareket zamanlarını, istasyon-katar atamalarını ve istasyonlara teslim edilecek malzeme miktarlarını çıktı olarak ver

Bitir

EK 2

Algoritma 2. İyileştirme Algoritması Sözde Kodu

Başla

1. Durma koşulu sağlanana kadar
 - 1.1. En az sayıda iş istasyonu atanmış katarı belirle, v_k
 - 1.2. Katara atanmış her iş istasyonu için, s_i , tekrarla
 - 1.2.1. Oluşturulma sırasına göre bütün katarları kontrol et, v_l
 - 1.2.1.1. v_l katarı s_i iş istasyonu için kapasite ve yol kısıtlarını sağlıyorsa
 - 1.2.1.1.1. s_i iş istasyonunu, v_l katarına taşı
 - 1.2.1.1.2. Sonraki iş istasyonuna geç
 - 1.2.1.1.3. Adım 1.2.1'e dön
 - 1.3. Katarda kalan her iş istasyonu için, s_i , tekrarla
 - 1.3.1. Diğer katarlar arasından yol kısıtını sağlayan en büyük kalan kapasiteli olanı seç, v_m
 - 1.3.2. v_m katarındaki iş istasyonlarını diğer katarlara taşıyarak s_i için yeterli kapasite oluşturmayı dene
 - 1.3.2.1. v_m katarında s_i iş istasyonu için yeterli kapasite oluşturulduysa
 - 1.3.2.1.1. s_i iş istasyonunu v_m katarına taşı
 - 1.3.2.1.2. Bir sonraki iş istasyonuna geç
 - 1.3.2.1.3. Adım 1.3.1'e dön
 - 1.3.2.2. v_m katarında s_i iş istasyonu için yeterli kapasite oluşturulamadıysa
 - 1.3.2.2.1. v_m katarına atanmış iş istasyonlarını başka bir katarla atanmış iş istasyonları ile takaslayarak s_i iş istasyonu için yeterli kapasite oluşturmayı dene
 - 1.3.2.2.2. v_m katarında s_i iş istasyonu için yeterli kapasite oluşturulduysa
 - 1.3.2.2.2.1. s_i iş istasyonunu v_m katarına taşı
 - 1.3.2.2.2.2. Bir sonraki iş istasyonuna geç
 - 1.3.2.2.2.3. Adım 1.3.1'e dön
 - 1.4. v_k katarına atanmış iş istasyonu kalmadıysa
 - 1.4.1. v_k katarını sil
 - 1.5. v_k katarına atanmış iş istasyonu kaldıysa
 - 1.5.1. Adım 1 ile başlayan döngüyü kır
 2. Bütün katarlar için
 - 1.6. Katarın kalan kapasitesi, vagon kapasitesinden büyük olduğu sürece
 - 1.6.1. Katarın kalan kapasitesini vagon kapasitesi kadar azalt
 - 1.6.2. Katarın vagon sayısını bir azalt
 - 1.7. Katarların hareket zamanlarını hesapla
 3. Katar filo yapısını, hareket zamanlarını, istasyon-katar atamalarını ve istasyonlara teslim edilecek malzeme miktarlarını çıktı olarak ver

Bitir

EK 3

Algoritma 3. Alt Sınır Hesaplama Algoritması Sözde Kodu

Başla

1. Üretim hattındaki yolları bul
2. Çevrim süresi için tahmini değer hesapla, $çevrimSüresi = [uzak\ koridoru\ içeren\ yol\ uzunluğu]$
3. Bütün iş istasyonları için tekrarla
 - 3.1. İş istasyonu talebini hesapla, $talep_i = [(çevrimSüresi) \times (tüketimHızı)_i]$
 - 3.2. $ToplamTalep = ToplamTalep + talep_i$
4. $VagonSayısı = [ToplamTalep \div VagonKapasitesi]$
5. $AraçSayısı = [VagonSayısı \div BağlanacakMaksVagonSayısı]$
6. $AraçSayısı$ ve $VagonSayısı$ 'nı çıktı olarak ver

Bitir



EK 4

Çizelge Ek.4 : Matematiksel Model Koşum Sonuçları Çizelgesi

| Yerleşim | İstasyon Sayısı | Ortalama Tüketim Hızı | Tüketim Hızı Varyansı | Maksimum Vagon Sayısı | Alt Sınırlar | | Matematiksel Model | | | |
|----------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|-----------------|
| | | | | | Araç Sayısı | Vagon Sayısı | Araç Sayısı | Vagon Sayısı | Çözüm Süresi | Alt Sınır Farkı |
| L1 | 25 | Düşük | Düşük | Düşük | 2.00 | 6.00 | 3.00 | 7.00 | 4.837203 | 34% |
| L1 | 25 | Düşük | Düşük | Yüksek | 1.00 | 6.00 | 2.00 | 7.00 | 9.758773 | 46% |
| L1 | 25 | Düşük | Yüksek | Düşük | 2.00 | 6.00 | 3.00 | 7.00 | 8.403217 | 34% |
| L1 | 25 | Düşük | Yüksek | Yüksek | 1.00 | 6.00 | 2.00 | 7.00 | 8.255793 | 46% |
| L1 | 25 | Yüksek | Düşük | Düşük | 4.00 | 10.67 | 4.00 | 11.00 | 6.132463 | 1% |
| L1 | 25 | Yüksek | Düşük | Yüksek | 2.00 | 10.67 | 2.00 | 11.33 | 13.53267 | 4% |
| L1 | 25 | Yüksek | Yüksek | Düşük | 4.00 | 10.67 | 4.00 | 11.00 | 7.593707 | 1% |
| L1 | 25 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | 2.00 | 10.67 | 2.00 | 11.00 | 14.66 | 3% |
| L2 | 25 | Düşük | Düşük | Düşük | 2.00 | 6.00 | 3.00 | 7.00 | 9.35016 | 34% |
| L2 | 25 | Düşük | Düşük | Yüksek | 1.00 | 6.00 | 2.00 | 7.00 | 6286.48 | 46% |
| L2 | 25 | Düşük | Yüksek | Düşük | 2.00 | 6.00 | 3.00 | 7.00 | 8.149937 | 34% |
| L2 | 25 | Düşük | Yüksek | Yüksek | 1.00 | 6.00 | 2.00 | 7.00 | 10001.94 | 46% |
| L2 | 25 | Yüksek | Düşük | Düşük | 5.00 | 14.33 | 5.33 | 15.33 | 8514.747 | 7% |
| L2 | 25 | Yüksek | Düşük | Yüksek | 3.00 | 14.33 | 3.67 | 16.33 | 14401.63 | 17% |
| L2 | 25 | Yüksek | Yüksek | Düşük | 5.00 | 14.00 | 5.33 | 15.00 | 1897.52 | 7% |
| L2 | 25 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | 3.00 | 14.00 | 3.67 | 15.00 | 14405.6 | 13% |
| L2 | 50 | Düşük | Düşük | Düşük | 4.00 | 12.00 | 5.00 | 13.00 | 4938.975 | 17% |
| L2 | 50 | Düşük | Düşük | Yüksek | 2.00 | 12.00 | 3.00 | 13.00 | 14403.5 | 23% |
| L2 | 50 | Düşük | Yüksek | Düşük | 4.00 | 12.00 | 5.00 | 13.00 | 14404.13 | 17% |
| L2 | 50 | Düşük | Yüksek | Yüksek | 2.00 | 12.00 | 3.00 | 13.00 | 14404.23 | 23% |
| L2 | 50 | Yüksek | Düşük | Düşük | 10.00 | 29.00 | 10.00 | 30.00 | 14406.77 | 2% |
| L2 | 50 | Yüksek | Düşük | Yüksek | 5.00 | 29.00 | 7.00 | 30.00 | 14405.03 | 17% |
| L2 | 50 | Yüksek | Yüksek | Düşük | 10.00 | 28.33 | 10.00 | 29.00 | 14425.5 | 1% |
| L2 | 50 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | 5.00 | 28.33 | 6.50 | 28.50 | 14434.93 | 11% |

Çizelge Ek.4 : Matematiksel Model Koşum Sonuçları Çizelgesi (devamı)

| Yerleşim | İstasyon Sayısı | Ortalama Tüketim Hızı | Tüketim Hızı Varyansı | Maksimum Vagon Sayısı | Alt Sınırlar | | Matematiksel Model | | | |
|----------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|-----------------|
| | | | | | Araç Sayısı | Vagon Sayısı | Araç Sayısı | Vagon Sayısı | Çözüm Süresi | Alt Sınır Farkı |
| L3 | 50 | Düşük | Düşük | Düşük | 4.00 | 12.00 | 5.00 | 13.00 | 14404.43 | 17% |
| L3 | 50 | Düşük | Düşük | Yüksek | 2.00 | 12.00 | 4.33 | 13.00 | 14405.07 | 47% |
| L3 | 50 | Düşük | Yüksek | Düşük | 4.00 | 12.00 | 5.33 | 13.00 | 14407.33 | 21% |
| L3 | 50 | Düşük | Yüksek | Yüksek | 2.00 | 12.00 | 4.00 | 13.00 | 14405.2 | 41% |
| L3 | 50 | Yüksek | Düşük | Düşük | 12.33 | 35.67 | 0.00 | 0.00 | 14404.1 | 0% |
| L3 | 50 | Yüksek | Düşük | Yüksek | 6.33 | 35.67 | 0.00 | 0.00 | 14403.5 | 0% |
| L3 | 50 | Yüksek | Yüksek | Düşük | 12.33 | 36.00 | 0.00 | 0.00 | 14404.53 | 0% |
| L3 | 50 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | 6.33 | 36.00 | 9.00 | 39.00 | 14404.8 | 21% |
| L3 | 75 | Düşük | Düşük | Düşük | 6.00 | 18.00 | 8.67 | 19.00 | 14406.57 | 26% |
| L3 | 75 | Düşük | Düşük | Yüksek | 3.00 | 18.00 | 4.67 | 19.00 | 14406.77 | 23% |
| L3 | 75 | Düşük | Yüksek | Düşük | 6.00 | 18.00 | 7.00 | 19.00 | 14405.97 | 11% |
| L3 | 75 | Düşük | Yüksek | Yüksek | 3.00 | 18.00 | 5.33 | 19.00 | 14402.43 | 31% |
| L3 | 75 | Yüksek | Düşük | Düşük | 18.33 | 53.33 | 0.00 | 0.00 | 14402.5 | 0% |
| L3 | 75 | Yüksek | Düşük | Yüksek | 9.33 | 53.33 | 0.00 | 0.00 | 14401.87 | 0% |
| L3 | 75 | Yüksek | Yüksek | Düşük | 18.00 | 54.00 | 0.00 | 0.00 | 14403.1 | 0% |
| L3 | 75 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | 9.00 | 54.00 | 0.00 | 0.00 | 14401.07 | 0% |

EK 5

Çizelge Ek.5 : Başlangıç Kurucu Algoritma-İyileştirme Algoritması Karşılaştırma Çizelgesi

| Yerleşim | İstasyon Sayısı | Ortalama Tüketim Hızı | Tüketim Hızı Varyansı | Maksimum Vagon Sayısı | Başlangıç Kurucu Algoritma | | | İyileştirme Algoritması | | | |
|----------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|--------------|--------------|-------------------------|--------------|--------------|----------|
| | | | | | Araç Sayısı | Vagon Sayısı | Çözüm Süresi | Araç Sayısı | Vagon Sayısı | Çözüm Süresi | İyileşme |
| L1 | 25 | Düşük | Düşük | Düşük | 3.00 | 7.00 | 2.83E-05 | 3.00 | 7.00 | 7.53E-05 | 0% |
| L1 | 25 | Düşük | Düşük | Yüksek | 2.00 | 7.00 | 1.83E-05 | 2.00 | 7.00 | 5.83E-05 | 0% |
| L1 | 25 | Düşük | Yüksek | Düşük | 3.00 | 7.00 | 2.13E-05 | 3.00 | 7.00 | 7.03E-05 | 0% |
| L1 | 25 | Düşük | Yüksek | Yüksek | 2.00 | 7.00 | 0.000018 | 2.00 | 7.00 | 5.67E-05 | 0% |
| L1 | 25 | Yüksek | Düşük | Düşük | 4.00 | 11.67 | 2.27E-05 | 4.00 | 11.67 | 0.000093 | 0% |
| L1 | 25 | Yüksek | Düşük | Yüksek | 2.00 | 11.67 | 0.000018 | 2.00 | 11.67 | 0.00008 | 0% |
| L1 | 25 | Yüksek | Yüksek | Düşük | 4.00 | 11.67 | 2.43E-05 | 4.00 | 11.67 | 0.000105 | 0% |
| L1 | 25 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | 2.00 | 11.67 | 1.67E-05 | 2.00 | 11.67 | 8.03E-05 | 0% |
| L2 | 25 | Düşük | Düşük | Düşük | 3.00 | 8.00 | 2.87E-05 | 3.00 | 7.00 | 9.23E-05 | 6% |
| L2 | 25 | Düşük | Düşük | Yüksek | 2.00 | 8.00 | 2.43E-05 | 2.00 | 7.00 | 7.37E-05 | 7% |
| L2 | 25 | Düşük | Yüksek | Düşük | 3.00 | 8.00 | 0.000026 | 3.00 | 7.00 | 0.000088 | 6% |
| L2 | 25 | Düşük | Yüksek | Yüksek | 2.00 | 8.00 | 2.53E-05 | 2.00 | 7.00 | 6.87E-05 | 7% |
| L2 | 25 | Yüksek | Düşük | Düşük | 6.00 | 16.67 | 3.27E-05 | 5.33 | 15.33 | 0.000239 | 10% |
| L2 | 25 | Yüksek | Düşük | Yüksek | 3.00 | 16.33 | 1.67E-05 | 3.00 | 15.67 | 0.000201 | 3% |
| L2 | 25 | Yüksek | Yüksek | Düşük | 5.67 | 16.00 | 0.000032 | 5.33 | 15.33 | 0.000293 | 5% |
| L2 | 25 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | 3.00 | 16.33 | 2.23E-05 | 3.00 | 15.33 | 0.000079 | 4% |
| L2 | 50 | Düşük | Düşük | Düşük | 5.00 | 14.00 | 4.67E-05 | 5.00 | 14.00 | 0.000949 | 0% |
| L2 | 50 | Düşük | Düşük | Yüksek | 3.00 | 14.00 | 3.77E-05 | 3.00 | 13.00 | 0.000113 | 4% |
| L2 | 50 | Düşük | Yüksek | Düşük | 5.00 | 14.00 | 4.43E-05 | 5.00 | 14.00 | 0.000908 | 0% |
| L2 | 50 | Düşük | Yüksek | Yüksek | 3.00 | 14.00 | 3.87E-05 | 3.00 | 13.00 | 0.000103 | 4% |
| L2 | 50 | Yüksek | Düşük | Düşük | 11.00 | 32.00 | 5.27E-05 | 11.00 | 31.67 | 0.000318 | 0% |
| L2 | 50 | Yüksek | Düşük | Yüksek | 6.00 | 32.00 | 4.17E-05 | 6.00 | 31.00 | 0.000193 | 2% |
| L2 | 50 | Yüksek | Yüksek | Düşük | 11.33 | 32.33 | 0.00005 | 10.33 | 30.33 | 0.000651 | 8% |
| L2 | 50 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | 5.67 | 30.67 | 4.03E-05 | 5.67 | 29.67 | 0.00055 | 2% |

Çizelge Ek.5 : Başlangıç Kurucu Algoritma-İyileştirme Algoritması Karşılaştırma Çizelgesi(devamı)

| Yerleşim | İstasyon Sayısı | Ortalama Tüketim Hızı | Tüketim Hızı Varyansı | Maksimum Vagon Sayısı | Başlangıç Kurucu Algoritma | | | İyileştirme Algoritması | | | |
|----------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|--------------|--------------|-------------------------|--------------|--------------|----------|
| | | | | | Araç Sayısı | Vagon Sayısı | Çözüm Süresi | Araç Sayısı | Vagon Sayısı | Çözüm Süresi | İyileşme |
| L3 | 50 | Düşük | Düşük | Düşük | 6.00 | 15.00 | 5.97E-05 | 5.00 | 13.00 | 0.000553 | 15% |
| L3 | 50 | Düşük | Düşük | Yüksek | 5.00 | 15.00 | 0.000056 | 4.00 | 13.00 | 0.000451 | 17% |
| L3 | 50 | Düşük | Yüksek | Düşük | 6.00 | 15.00 | 0.000062 | 5.00 | 13.00 | 0.000556 | 15% |
| L3 | 50 | Düşük | Yüksek | Yüksek | 5.00 | 15.00 | 0.000055 | 4.00 | 13.00 | 0.000453 | 17% |
| L3 | 50 | Yüksek | Düşük | Düşük | 14.00 | 40.67 | 0.000087 | 13.33 | 39.33 | 0.000635 | 4% |
| L3 | 50 | Yüksek | Düşük | Yüksek | 7.67 | 39.00 | 0.000067 | 7.33 | 38.33 | 0.000267 | 3% |
| L3 | 50 | Yüksek | Yüksek | Düşük | 15.67 | 43.33 | 9.17E-05 | 15.33 | 43.00 | 0.000283 | 2% |
| L3 | 50 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | 8.33 | 40.33 | 0.000066 | 8.00 | 39.33 | 0.000182 | 3% |
| L3 | 75 | Düşük | Düşük | Düşük | 8.00 | 21.00 | 9.03E-05 | 7.00 | 20.00 | 0.001625 | 9% |
| L3 | 75 | Düşük | Düşük | Yüksek | 5.00 | 21.00 | 0.00007 | 5.00 | 21.00 | 0.004417 | 0% |
| L3 | 75 | Düşük | Yüksek | Düşük | 8.00 | 21.00 | 8.43E-05 | 7.00 | 20.00 | 0.001458 | 9% |
| L3 | 75 | Düşük | Yüksek | Yüksek | 5.00 | 21.00 | 0.000068 | 5.00 | 21.00 | 0.004217 | 0% |
| L3 | 75 | Yüksek | Düşük | Düşük | 21.00 | 60.67 | 0.000128 | 21.00 | 60.67 | 0.000411 | 0% |
| L3 | 75 | Yüksek | Düşük | Yüksek | 11.67 | 58.67 | 8.83E-05 | 11.67 | 58.67 | 0.000269 | 0% |
| L3 | 75 | Yüksek | Yüksek | Düşük | 22.00 | 63.00 | 0.000128 | 21.33 | 62.00 | 0.000479 | 2% |
| L3 | 75 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | 11.67 | 59.33 | 0.000089 | 11.67 | 59.33 | 0.000388 | 0% |

EK 6

Çizelge Ek.6 : Sezgisel Algoritma Sonuçlarının, Matematiksel Model Koşum Sonuçları ile Alt Sınırlar ile Karşılaştırması

| Yerleşim | İstasyon Sayısı | Ortalama Tüketim Hızı | Tüketim Hızı Varyansı | Maksimum Vagon Sayısı | Alt Sınırlar | | Matematiksel Model | | | | Sezgisel Algoritma | | | | |
|----------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------------|--------------|--------------|-------------|-----------------|
| | | | | | Araç Sayısı | Vagon Sayısı | Araç Sayısı | Vagon Sayısı | Çözüm Süresi | Alt Sınır Farkı | Araç Sayısı | Vagon Sayısı | Çözüm Süresi | Model Farkı | Alt Sınır Farkı |
| L1 | 25 | Düşük | Düşük | Düşük | 2.00 | 6.00 | 3.00 | 7.00 | 4.837203 | 34% | 3.00 | 7.00 | 0.000104 | 0% | 34% |
| L1 | 25 | Düşük | Düşük | Yüksek | 1.00 | 6.00 | 2.00 | 7.00 | 9.758773 | 46% | 2.00 | 7.00 | 7.67E-05 | 0% | 46% |
| L1 | 25 | Düşük | Yüksek | Düşük | 2.00 | 6.00 | 3.00 | 7.00 | 8.403217 | 34% | 3.00 | 7.00 | 9.17E-05 | 0% | 34% |
| L1 | 25 | Düşük | Yüksek | Yüksek | 1.00 | 6.00 | 2.00 | 7.00 | 8.255793 | 46% | 2.00 | 7.00 | 7.47E-05 | 0% | 46% |
| L1 | 25 | Yüksek | Düşük | Düşük | 4.00 | 10.67 | 4.00 | 11.00 | 6.132463 | 1% | 4.00 | 11.67 | 0.000116 | 3% | 4% |
| L1 | 25 | Yüksek | Düşük | Yüksek | 2.00 | 10.67 | 2.00 | 11.33 | 13.53267 | 4% | 2.00 | 11.67 | 0.000098 | 2% | 6% |
| L1 | 25 | Yüksek | Yüksek | Düşük | 4.00 | 10.67 | 4.00 | 11.00 | 7.593707 | 1% | 4.00 | 11.67 | 0.000129 | 3% | 4% |
| L1 | 25 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | 2.00 | 10.67 | 2.00 | 11.00 | 14.66 | 3% | 2.00 | 11.67 | 0.000097 | 4% | 6% |
| L2 | 25 | Düşük | Düşük | Düşük | 2.00 | 6.00 | 3.00 | 7.00 | 9.35016 | 34% | 3.00 | 7.00 | 0.000121 | 0% | 34% |
| L2 | 25 | Düşük | Düşük | Yüksek | 1.00 | 6.00 | 2.00 | 7.00 | 6286.48 | 46% | 2.00 | 7.00 | 0.000098 | 0% | 46% |
| L2 | 25 | Düşük | Yüksek | Düşük | 2.00 | 6.00 | 3.00 | 7.00 | 8.149937 | 34% | 3.00 | 7.00 | 0.000114 | 0% | 34% |
| L2 | 25 | Düşük | Yüksek | Yüksek | 1.00 | 6.00 | 2.00 | 7.00 | 10001.94 | 46% | 2.00 | 7.00 | 0.000094 | 0% | 46% |
| L2 | 25 | Yüksek | Düşük | Düşük | 5.00 | 14.33 | 5.33 | 15.33 | 8514.747 | 7% | 5.33 | 15.33 | 0.000272 | 0% | 7% |
| L2 | 25 | Yüksek | Düşük | Yüksek | 3.00 | 14.33 | 3.67 | 16.33 | 14401.63 | 17% | 3.00 | 15.67 | 0.000218 | -10% | 5% |
| L2 | 25 | Yüksek | Yüksek | Düşük | 5.00 | 14.00 | 5.33 | 15.00 | 1897.52 | 7% | 5.33 | 15.33 | 0.000325 | 1% | 8% |
| L2 | 25 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | 3.00 | 14.00 | 3.67 | 15.00 | 14405.6 | 13% | 3.00 | 15.33 | 0.000101 | -7% | 6% |
| L2 | 50 | Düşük | Düşük | Düşük | 4.00 | 12.00 | 5.00 | 13.00 | 4938.975 | 17% | 5.00 | 14.00 | 0.000995 | 3% | 21% |
| L2 | 50 | Düşük | Düşük | Yüksek | 2.00 | 12.00 | 3.00 | 13.00 | 14403.5 | 23% | 3.00 | 13.00 | 0.000151 | 0% | 23% |
| L2 | 50 | Düşük | Yüksek | Düşük | 4.00 | 12.00 | 5.00 | 13.00 | 14404.13 | 17% | 5.00 | 14.00 | 0.000953 | 3% | 21% |
| L2 | 50 | Düşük | Yüksek | Yüksek | 2.00 | 12.00 | 3.00 | 13.00 | 14404.23 | 23% | 3.00 | 13.00 | 0.000141 | 0% | 23% |
| L2 | 50 | Yüksek | Düşük | Düşük | 10.00 | 29.00 | 10.00 | 30.00 | 14406.77 | 2% | 11.00 | 31.67 | 0.000371 | 8% | 10% |
| L2 | 50 | Yüksek | Düşük | Yüksek | 5.00 | 29.00 | 7.00 | 30.00 | 14405.03 | 17% | 6.00 | 31.00 | 0.000235 | -4% | 12% |
| L2 | 50 | Yüksek | Yüksek | Düşük | 10.00 | 28.33 | 10.00 | 29.00 | 14425.5 | 1% | 10.33 | 30.33 | 0.000701 | 4% | 5% |
| L2 | 50 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | 5.00 | 28.33 | 6.50 | 28.50 | 14434.93 | 11% | 5.67 | 29.67 | 0.00059 | -3% | 8% |

Çizelge Ek.6 : Sezgisel Algoritma Sonuçlarının, Matematiksel Model Koşum Sonuçları ile Alt Sınırlar ile Karşılaştırması (devamı)

| Yerleşim | İstasyon Sayısı | Ortalama Tüketim Hızı | Tüketim Hızı Varyansı | Maksimum Vagon Sayısı | Alt Sınırlar | | Matematiksel Model | | | | Sezgisel Algoritma | | | | |
|----------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------------|--------------|--------------|-------------|-----------------|
| | | | | | Araç Sayısı | Vagon Sayısı | Araç Sayısı | Vagon Sayısı | Çözüm Süresi | Alt Sınır Farkı | Araç Sayısı | Vagon Sayısı | Çözüm Süresi | Model Farkı | Alt Sınır Farkı |
| L3 | 50 | Düşük | Düşük | Düşük | 4.00 | 12.00 | 5.00 | 13.00 | 14404.43 | 17% | 5.00 | 13.00 | 0.000613 | 0% | 17% |
| L3 | 50 | Düşük | Düşük | Yüksek | 2.00 | 12.00 | 4.33 | 13.00 | 14405.07 | 47% | 4.00 | 13.00 | 0.000507 | -4% | 41% |
| L3 | 50 | Düşük | Yüksek | Düşük | 4.00 | 12.00 | 5.33 | 13.00 | 14407.33 | 21% | 5.00 | 13.00 | 0.000618 | -4% | 17% |
| L3 | 50 | Düşük | Yüksek | Yüksek | 2.00 | 12.00 | 4.00 | 13.00 | 14405.2 | 41% | 4.00 | 13.00 | 0.000508 | 0% | 41% |
| L3 | 50 | Yüksek | Düşük | Düşük | 12.33 | 35.67 | 0.00 | 0.00 | 14404.1 | 0% | 13.33 | 39.33 | 0.000722 | 0% | 9% |
| L3 | 50 | Yüksek | Düşük | Yüksek | 6.33 | 35.67 | 0.00 | 0.00 | 14403.5 | 0% | 7.33 | 38.33 | 0.000334 | 0% | 11% |
| L3 | 50 | Yüksek | Yüksek | Düşük | 12.33 | 36.00 | 0.00 | 0.00 | 14404.53 | 0% | 15.33 | 43.00 | 0.000375 | 0% | 22% |
| L3 | 50 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | 6.33 | 36.00 | 9.00 | 39.00 | 14404.8 | 21% | 8.00 | 39.33 | 0.000248 | -4% | 16% |
| L3 | 75 | Düşük | Düşük | Düşük | 6.00 | 18.00 | 8.67 | 19.00 | 14406.57 | 26% | 7.00 | 20.00 | 0.001715 | -10% | 14% |
| L3 | 75 | Düşük | Düşük | Yüksek | 3.00 | 18.00 | 4.67 | 19.00 | 14406.77 | 23% | 5.00 | 21.00 | 0.004487 | 9% | 35% |
| L3 | 75 | Düşük | Yüksek | Düşük | 6.00 | 18.00 | 7.00 | 19.00 | 14405.97 | 11% | 7.00 | 20.00 | 0.001543 | 2% | 14% |
| L3 | 75 | Düşük | Yüksek | Yüksek | 3.00 | 18.00 | 5.33 | 19.00 | 14402.43 | 31% | 5.00 | 21.00 | 0.004285 | 2% | 35% |
| L3 | 75 | Yüksek | Düşük | Düşük | 18.33 | 53.33 | 0.00 | 0.00 | 14402.5 | 0% | 21.00 | 60.67 | 0.000539 | 0% | 14% |
| L3 | 75 | Yüksek | Düşük | Yüksek | 9.33 | 53.33 | 0.00 | 0.00 | 14401.87 | 0% | 11.67 | 58.67 | 0.000357 | 0% | 16% |
| L3 | 75 | Yüksek | Yüksek | Düşük | 18.00 | 54.00 | 0.00 | 0.00 | 14403.1 | 0% | 21.33 | 62.00 | 0.000607 | 0% | 17% |
| L3 | 75 | Yüksek | Yüksek | Yüksek | 9.00 | 54.00 | 0.00 | 0.00 | 14401.07 | 0% | 11.67 | 59.33 | 0.000477 | 0% | 17% |

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Necati Oğuz DUMAN
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Tarihi ve Yeri : 1990 – Balıkesir/Türkiye
E-posta : necatioguzduman@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2016, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

| Yıl | Yer | Görev |
|-----------|------------------------------------|---|
| 2009-2014 | TOBB ETÜ End. Müh. Bölümü | Üstün Başarı Burslu Lisans Öğrencisi |
| 2014-2015 | TOBB ETÜ End. Müh. A.D. Başkanlığı | Tam Burslu YL Öğrencisi |
| 2015-2016 | TOBB ETÜ End. Müh. A.D. Başkanlığı | Özel Başarı Burslu YL Öğrencisi |

YABANCI DİL: İngilizce

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Duman, N. O.**, Kuyzu, G., 2016. Fleet sizing and cyclic delivery scheduling for in-plant inventory routing, *Vehicle routing and logistics optimization conference (VeRoLog 2016)*, June 6-9, Nantes, France