



ÇOK ÜRÜNLÜ YER SEÇİMİ VE ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ

Ömer ARSLAN

DOKTORA TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ömer ARSLAN

08/02/2021

ÇOK ÜRÜNLÜ YER SEÇİMİ VE ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ

(Doktora Tezi)

Ömer ARSLAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2021

ÖZET

Heterojen araç filolu Çok Ürünlü, Yer Seçimi ve Envanter Rotalama Problemi birden fazla üretici, farklı kapasite seviyelerinde açılacak aday dağıtım merkezleri (ADM) ve bir planlama ufku içerisinde deterministik talepleri olan ve coğrafi olarak dağılmış perakendecileri içeren bir tedarik zincirini göz önünde bulundurur. Amaç perakendecilerin taleplerini karşılamak için en düşük maliyetle kapasite seviyeleri ile birlikte açılması gereken ADM'leri, açılan her bir dağıtım merkezine (DM) atanacak perakendecileri, her bir dönem için üreticilerden açılan DM'lere ve DM'lerden perakendecilere dağıtılacak ürün miktarlarını ve perakendecilere yapılan dağıtımlarda kullanılması gereken rotaları belirlemektir. Problemi tanımlamak için karışık tamsayılı bir model önerilmiş ve önerilen model iki geçerli eşitsizlikle güçlendirilmiştir. Ticari çözücü sadece çok küçük boyutlu örnek problemleri makul sürelerde çözülebildiğinden, problemin çözümü için sıralı ve hibrit olmak üzere iki sezgisel çözüm metodu geliştirilmiştir. Sıralı sezgisel çözüm metodu sırayla yer seçimi ve atama kararları için açgözlü algoritmayı, envanter yönetimi kararları için kesin çözüm metodunu ve araç rotalama kararları için tabu arama meta-sezgiselini kullanmaktadır. Hibrit sezgisel çözüm metodu ise öncelikle başlangıç çözümünü oluşturmakta, ardından belirlenen sayı kadar art arda yoğunlaşma ve farklılaştırma metodlarını çağırarak en iyi çözümü bulmaktadır. Elde edilen sonuçlar; iki geçerli eşitsizliğin de etkili olduğunu, her iki sezgisel metodun da makul çözüm sürelerinde ticari çözücüyle elde edilen çözümlere nazaran amaç fonksiyonunda büyük kazançlar sağladığını göstermektedir.

Bilim Kodu : 90615

Anahtar Kelimeler : Yer seçimi ve envanter rotalama problemi, Yer seçimi ve araç rotalama problemi, Envanter rotalama problemi, Sabit ve değişken maliyetli filo büyüklüğü ve karma araç rotalama problemi.

Sayfa Adedi : 97

Danışman : Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN

MULTI PRODUCT INVENTORY LOCATION ROUTING PROBLEM

(Ph. D. Thesis)

Ömer ARSLAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2021

ABSTRACT

The Multi-Product Inventory-Location-Routing Problem (MILRP) with heterogeneous fleet considers a supply chain, which consists of multiple producers, potential distribution centers (DCs) with opening capacity levels and geographically scattered retailers each of which has deterministic demand over a discrete planning horizon. The goal is determining a set of DCs with their capacity levels to open, assigning retailers to the opened DCs and for all periods finding product quantities to be ordered by and distributed from opened DCs and determining the routes to satisfy the demands of retailers with minimum cost. A mixed-integer linear programming model is proposed to describe the problem, which is strengthened by two valid inequalities. Since the commercial solver can solve only the very small-sized instances within a reasonable time, two heuristic methods (sequential and hybrid) are developed. The sequential heuristic comprises a greedy algorithm for location-allocation, an exact approach for inventory management and tabu search for vehicle routing decisions. The hybrid heuristic creates the initial solution and calls intensification and diversification steps for a pre-determined times to find the best solution. Results show that the proposed valid inequalities are effective and both methods provide important savings in acceptable run times compared to the commercial solver.

Science Code : 90615

Key Words : Inventory-location-routing problem, Location-routing problem, Inventory-routing problem, Fleet size and mix vehicle routing problem.

Page Number : 97

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN

TEŞEKKÜR

Araştırmam süresince ilgi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, değerli danışmanım Doç.Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN ve tez izleme kurulu üyelerim Prof.Dr. Cevriye GENCER ve Doç.Dr. İsmail KARAOĞLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemi sağlayan, yaşama sebebim olan annem Esma ARSLAN ve babam Fahri ARSLAN'a, bana her daim güç veren ve hayallerimin gerçekleşmesinde en önemli destekçilerim olan tüm kardeşlerime sonsuz teşekkürler.

Akademik çalışmalarına verdiği destekle beni güçlendiren, duygu ve düşünceleri ile hayatımı anlamlandıran ve her zaman yanımda olan, varlığı şükür sebebi eşim Şeyma Taşlıçay ARSLAN'a ve yuvamıza yeni katılan oğlumuz Göktürk ARSLAN'a varlığından dolayı çok teşekkür ediyorum.

Son olarak, bu güzel vatanımızda huzur ve birlik içinde yaşamamızda çok büyük emekleri olan başta Mustafa Kemal Atatürk ve silah arkadaşları olmak üzere vatanımız için kanını, canını, sevdiklerini hiçe sayarak mücadele etmiş ve etmekte olan tüm şehitlerimize ve gazilerimize sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. YER SEÇİMİ VE ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ (YS_ERP)’NE İLİŞKİN PROBLEM TİPLERİ VE YS_ERP	5
2.1. Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi	5
2.2. Envanter Rotalama Problemi	8
2.3. Envanter Yer Seçimi Problemi	9
2.4. Yer Seçimi ve Envanter Rotalama Problemi (YS_ERP)	9
2.4.1. YS_ERP literatür taraması	9
2.4.2. YS_ERP çözüm metotları	19
3. ÇOK ÜRÜNLÜ, YER SEÇİMİ VE ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ (ÇÜ_YS_ERP).....	21
3.1. Varsayımlar	22
3.2. Matematiksel Model	23
3.3. Geçerli Eşitsizlikler.....	31
4. ÇÜ_YS_ERP’İN ÇÖZÜLMESİ.....	33
4.1. Örnek Problemlerin Oluşturulması	33
4.2. Matematiksel Modelin Analizi.....	36
4.2.1. Matematiksel modelin doğrulaması	36

	Sayfa
4.2.2. Geçerli eşitsizliklere ilişkin analiz	41
4.2.3. Önemli parametrelere ait değer artışlarına ilişkin analiz	44
4.2.4. Modellerin karşılaştırılmasına ilişkin analiz	46
4.3. Sıralı Sezgisel Çözüm Metodu.....	46
4.3.1. Yer seçimi ve atama kararlarının bulunması.....	47
4.3.2. Envanter yönetimi kararlarının belirlenmesi.....	49
4.3.3. Araç rotalarının belirlenmesi	57
4.4. Hibrit Sezgisel Çözüm Yöntemi	65
4.4.1. Başlangıç çözümünün oluşturulması	66
4.4.2. Yoğunlaşma	67
4.4.3. Farklılaştırma	76
4.4.4. Kullanılan parametreler.....	77
4.5. Sezgisel Çözüm Yöntemleri'nin Analizi	79
4.6. Modeldeki Maliyet Katsayılarına İlişkin Analiz.....	85
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	97

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. YS_ERP literatür araştırması özeti	16
Çizelge 4.1. Örnek problem tipleri	33
Çizelge 4.2. Çok küçük boyutlu örnek probleme ait veriler	37
Çizelge 4.3. Çok küçük boyutlu örnek problemin çözümü	39
Çizelge 4.4. M1 modeli için çözüm süreleri	42
Çizelge 4.5. M1 modeli için yüzde sapma değerleri.....	43
Çizelge 4.6. Önemli parametrelere ait değer artışlarının çözüm kalitesine etkisi	45
Çizelge 4.7. ÇÜ_YS_ERP modellerinin karşılaştırılması	46
Çizelge 4.8. Geçerli eşitsizliklerin envanter yönetimi modelinin çözüm süresine etkisi.....	56
Çizelge 4.9. Araç rotaları kapsamında kullanılan sabitlere atanan değerler.....	65
Çizelge 4.10. Yoğunlaşmada kullanılan parametrelere atanan değerler.....	78
Çizelge 4.11. Olasılıksal uygulanan yoğunlaşma hareketlerinin uygulanma oranları....	79
Çizelge 4.12. Farklılaştırma sürecinde kullanılan parametrelere atanan değerler	79
Çizelge 4.13. Çok küçük boyutlu örnek problemlerin çözüm analizi.....	82
Çizelge 4.14. Küçük, orta ve büyük boyutlu örnek problemlerin çözüm analizi	83
Çizelge 4.15. Tedarik maliyeti katsayısı analizi	85
Çizelge 4.16. Dağıtım maliyeti katsayısı analizi	86
Çizelge 4.17. Perakendecilere ait stok tutma ve eskime maliyeti katsayısı analizi	86
Çizelge 4.18. ADM'lere ait stok tutma ve eskime maliyeti katsayısı analizi	87

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. İlgili lojistik problem tipleri.....	5
Şekil 3.1. ÇÜ_YS_ERP gösterimi	21
Şekil 4.1. Birinci dönem ürün tedarikleri ve araç rotaları.....	40
Şekil 4.2. İkinci dönem ürün tedarikleri ve araç rotaları	40
Şekil 4.3. Üçüncü dönem ürün tedarikleri ve araç rotaları	41
Şekil 4.4. Sıralı sezgisel çözüm metodu	47
Şekil 4.5. Rotalar hariç sıralı sezgisel çözümü oluşturan prosedür	47
Şekil 4.6. Yer seçimi ve atama kararlarını bulan prosedür	48
Şekil 4.7. Açık DM'lerin gerekiyorsa kapasite seviyelerini güncelleyen prosedür.....	57
Şekil 4.8. Tüm dönemler kapsamında araç rotalarını bulan prosedür	58
Şekil 4.9. Açık bir DM'nin tek bir dönem için araç rotalarını bulan prosedür.....	61
Şekil 4.10. Araç rotaları başlangıç çözümünü oluşturan prosedür	63
Şekil 4.11. ÇÜ_YS_ERP için önerilen hibrit sezgisel çözüm yöntemi	66
Şekil 4.12. Hibrit sezgisel çözüm yöntemine ait yoğunlaşma prosedürü	68
Şekil 4.13. İkinci dağıtım sürükleme hareketinin gösterimi	70

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

dak.

Dakika

sn

Saniye

Kısaltmalar

Açıklamalar

ADM

Aday Dağıtım Merkezi

ARP

Araç Rotalama Problemi

ÇÜ_YS_ERP

Çok Ürünlü, Yer Seçimi ve Envanter Rotalama Problemi

DM

Dağıtım Merkezi

ERP

Envanter Rotalama Problemi

EYP

Envanter Yönetimi Problemi

EYSP

Envanter Yer Seçimi Problemi

HSÇM

Hibrit Sezgisel Çözüm Metodu

KK_YS_ARP

Kapasite Kısıtlı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi

SSÇM

Sıralı Sezgisel Çözüm Metodu

TYSP

Tesis Yer Seçimi Problemi

YS_ARP

Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi

YS_ERP

Yer Seçimi ve Envanter Rotalama Problem

1. GİRİŞ

Blanchard (2007) tarafından yapılan bir çalışmaya göre, lojistik maliyetlerin düşürülmesi ve iyi hizmet vermek maksadıyla tedarik zinciri ağlarının iyileştirilmesi kapsamında ABD’de her yıl bir trilyon dolardan fazla para harcanmaktadır. Bu kapsamda yapılan iyileştirmelerde iki önemli alan olan üretim ve lojistik başlıkları ile karşılaşmaktayız. Üretim ana başlığı; üretim planlaması, malzeme tedariki, tesis düzenlemesi gibi konuları içerirken, lojistik ana başlığı tesis yer seçimi, hammadde alımı, tamamlanan ürünlerin perakendecilere/müşterilere dağıtımı ve envanter yönetimi gibi konuları içermektedir. Lojistik ana başlığı altında yer alan maliyetler, ülkelerin ve şirket bütçelerinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. MacroSy Araştırma ve Teknoloji kuruluştan 2005 yılında yapılan bir araştırmada, 2002 yılında ABD genelinde lojistik maliyetler toplamının yaklaşık 910 milyar dolar olduğu ve bu miktarın ülkenin gayrisafi milli hasılasının %8,7’sini oluşturduğu belirtilmiştir. Araştırmada ayrıca lojistik maliyetlerin 577 milyar dolar olan kısmını dağıtım maliyetlerinin, 298 milyar dolar olan kısmını ise stok tutma ve depo işletme maliyetlerinin oluşturduğu vurgulanmıştır.

Belirtilen lojistik maliyetler, şirketlere ait tedarik zinciri ağlarının etkin bir şekilde tasarlanması ile büyük oranda azaltılabilmektedir. Bu kapsamda; stratejik seviyede tesis yer seçimi, taktik seviyede envanter yönetimi ve operasyonel seviyede araç rotalama problemleri ile karşılaşmaktayız. Tesis Yer Seçimi Problemi (TYSP)’nde, tesis açma maliyetini en aza indirmek maksadıyla birden fazla aday tesis (Dağıtım merkezi, depo vb.) arasından bir tesis kümesinin seçilmesi ve seçilen tesislere perakendecilerin/müşterilerin atanması ele alınmaktadır. Envanter Yönetimi Problemi ile (EYP), stok tutma veya yok satma maliyetlerini en aza indirmek maksadıyla her bir dönem için tesisler tarafından tedarik edilecek ve perakendecilere dağıtılacak ürün miktarları belirlenmektedir. Son olarak Araç Rotalama Problemi’nde (ARP) ise, filo ve dağıtım maliyetini en aza indirmek maksadıyla tesis veya tesislerden perakendecilere yapılacak ürün dağıtımına ilişkin araç rotaları ve bu rotalar kapsamında ihtiyaç duyulan araç filosu bulunmaktadır. Günümüze kadar birçok araştırmacı, özellikle maliyetlerin en aza indirilmesi amacı doğrultusunda bu problemleri genellikle tek başına veya ikisini bir arada ele alarak incelemiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda maliyetlerin azaltılabileceğı, diğertaraftan maliyetleri büyük oranda azaltmak ve en iyi çözümleri bulmak maksadıyla bu üç problemin birlikte ele alınmasının gerekliliğı ortaya konulmuştur. Bu kapsamda; bu üç problemin birlikte ele alındığı NP-zor

olduğu Javid ve Azad (2010) tarafından belirtilen Yer Seçimi ve Envanter Rotalama Problemi (YS_ERP) ile karşılaşmaktayız.

YS_ERP kapsamında ele alınan problemlere ilişkin Shen ve Qi (2007) tarafından şu hususlar vurgulanmıştır. Etkin bir rotalama için depoların uygun bir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Perakendecilerin açılan depolara atanma şekli, bu depolarca hangi sıklıkta ve ne miktarda sipariş verileceğini ve araç rotalarını büyük ölçüde etkilemektedir. Bu sebeplerden dolayı bu üç karar birbiriyle yakından ilişkilidir ve birlikte ele alınmalıdır. Öte yandan bu üç kararın birlikte ele alındığı bir karar destek sistemini geliştirmek zordur. Ancak böyle bir karar destek sisteminin geliştirilmesi şirketlere büyük bir rekabet gücü sağlayacaktır.

YS_ERP; özellikle yer seçimi kararlarının uzun süre geçerli olacak şekilde verilmediğı (dağıtım merkezlerinin kiralanabildiğı), müşterilere ürün dağıtımının farklı sıklıklarla yapıldığı, bir aracın birden fazla müşteriyi aynı rotada ziyaret edebildiğı, rotalama kararlarının dönemsel olarak değişebildiğı eczacılık, insani yardım, yiyecek dağıtımı ve askeri uygulamalar olmak üzere birçok alanda uygulama alanı bulmaktadır. YS_ERP üzerinde çalışılmasının bir diğer nedeni de günümüzde özellikle ön plana çıkan tükettiğimiz her bir ürün kapsamında doğaya verdiğimiz zararı ve doğada kısıtlı halde bulunan enerjiden yaptığımız tüketimi azaltma ihtiyacımızdır. Doğaya verdiğimiz zararı ve enerji tüketimini, uygun yer ve kapasitede tesis açarak, açılan tesislerdeki stok seviyelerini ve tesislerden müşterilere yapılan dağıtımlarda kat edilen yolu en aza indirerek azaltabiliriz. Stok seviyelerinin azaltılması, özellikle soğuk ortamda muhafaza edilmesi gereken ürünler kapsamında daha az enerjinin tüketilmesine, rotaların kısaltılması ise hem daha az enerji tüketimine hem de daha az karbondioksit salınımına imkân sağlayacaktır.

YS_ERP kapsamında bugüne kadar yapılan çalışmalar dikkate alındığında; problemin farklı farklı varsayımlar altında modellendiğı, modellerde bütüncül bir bakış açısının olmadığı, problemin gerçekçi varsayımlar altında modellenerek makul sürelerde en iyi veya en iyiye yakın çözümler bulunacak şekilde çözülmesine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Bu kapsamda yapılan bu çalışmanın literatüre olan katkıları üç ana başlık altında toplanmaktadır. İlk olarak Çok Ürünlü, Yer Seçimi ve Envanter Rotalama Problemi (ÇÜ_YS_ERP) gerçek hayattaki uygulamalara yakın bir şekilde modellenerek problem için karışık tamsayı bir model önerilmiştir. İkinci olarak YS_ERP için önerilen iki geçerli

eşitsizlik ÇÜ_YS_ERP 'e uyarlanmıştır. Son olarak tüm boyutlardaki problemlerin çözümü için sıralı ve hibrit olmak üzere iki adet sezgisel çözüm metodu geliştirilmiştir.

Tezin diğer bölümleri şu şekilde organize edilmiştir.

İkinci bölümde, YS_ERP 'e ilişkin problem tipleri ve YS_ERP incelenmiş, ardından YS_ERP 'e ilişkin literatür taraması ve çözüm metotları özetlenmiştir.

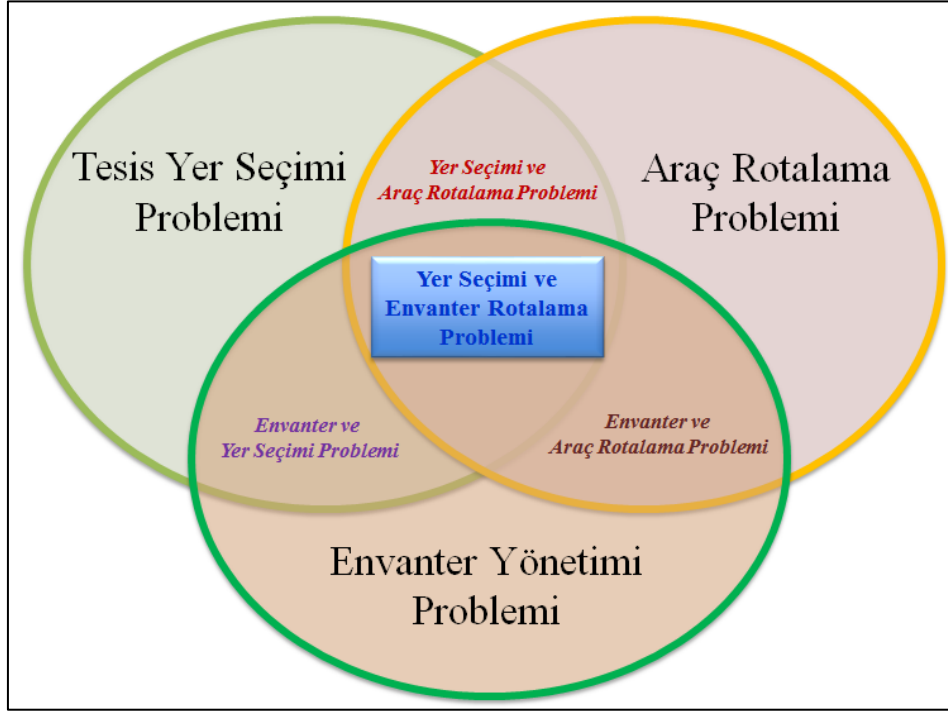
Üçüncü bölümde, heterojen araç filolu ÇÜ_YS_ERP için bir matematiksel model önerilmiş ve ardından model daha önce YS_ERP için önerilen iki geçerli eşitsizliğin ÇÜ_YS_ERP 'e uyarlanması ile güçlendirilmiştir.

Dördüncü bölümde ÇÜ_YS_ERP 'in çözümü için örnek problemlerin nasıl oluşturulduğu gösterilmiş, ardından üçüncü bölümde ÇÜ_YS_ERP için önerilen matematiksel model analiz edilmiştir. Bu bölümün sonraki kısımlarında sırayla ÇÜ_YS_ERP 'in çözümü için geliştirilen sıralı sezgisel çözüm metodu (SSÇM) ile hibrit sezgisel çözüm metodu (HSÇM) detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu bölüme ait son kısımda ise geliştirilen sezgisel çözüm metotları ile ÇÜ_YS_ERP için önerilen matematiksel model'de kullanılan maliyet katsayılarına ilişkin analizler yapılmıştır.

Son bölümde ise, çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ve gelecekte yapılması önerilen çalışmalar ifade edilmiştir.

2. YER SEÇİMİ VE ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ (YS_ERP)'NE İLİŞKİN PROBLEM TİPLERİ VE YS_ERP

Guerrero, W. (2014)'nin çalışılmasında da belirtildiği gibi Yer Seçimi ve Envanter Rotalama Problemi kapsamında üzerinde durulması gereken problem tipleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. İlgili lojistik problem tipleri

Tesis Yer Seçimi, Araç Rotalama ve Envanter Yönetimi problemlerine ilişkin tanımlar giriş bölümünde yapılmıştır. Bu problemlerden herhangi ikisinin bir arada veya her üç problemin birlikte ele alındığı problem tipleri ise müteakip bölümlerde incelenmiştir.

2.1. Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi

Tesis yer seçimi ve araç rotalama kararlarının birlikte ele alındığı Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi (YS_ARP), tedarik zincirinin lojistik kısmının iyileştirilmesi kapsamında en sık karşılaşılan problem tipidir. Bu problem tipinde; birden fazla aday tesis (Depo/dağıtım merkezi vb.) arasından bir tesis kümesinin seçilerek açılması, açılan tesislere perakendecilerin atanması ve açılan tesislerden perakendecilere yapılacak ürün dağıtımında kullanılacak araç rotalarının bulunması söz konusudur. 1975'lerden itibaren

çalışılmaya başlanan bu problem tipi kapsamında yapılan çalışmalar, Min ve diğerleri (1998) ile Nagy ve Salhi (2007)'nin çalışmalarında kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır.

Diğer taraftan Yer Seçimi Problemi ve Araç Rotalama Problemi'nin genellikle farklı planlama dönemleri kapsamında düşünülmesinden bu iki problemin birlikte ele alınmasının uygun olmadığı bazı araştırmacılar tarafından dile getirilmiştir. Buna rağmen; Salhi ve Rand (1989) ile Salhi ve Nagy (1999) çalışmalarında, bu iki problemin ayrı ayrı ele alınmasının en iyi olmayan çözümlerin bulunmasına yol açacağı dile getirilmiş ve bu iki problemin birlikte ele alınmasının doğru bir yaklaşım olduğu gösterilmiştir.

YS_ARP'ın uygulama alanları arasında; posta hizmeti, gazete dağıtımı, kan dağıtımı, gıda dağıtımı, okul servisi, mobil sağlık hizmeti gibi alanlar ön plana çıkmaktadır. Bu kapsamda üzerinde çalışılan modellerin büyük kısmı karışık tamsayılı modellerdir.

YS_ARP'ın temel hali Standart YS_ARP olarak adlandırılmaktadır. Bu problem, Drexl ve Schneider (2015) tarafından şu şekilde tanımlanmıştır: *“Tek bir ürünün dağıtımı için her perakendecinin yalnız bir defa ziyaret edildiği, stok kararlarının düşünülmediği, statik, deterministik, tek seviyeli, tek amaç fonksiyonuna sahip YS_ARP”*.

Nagy ve Salhi (2007) tarafından yapılan çalışma sonrasında ise, dağıtım merkezleri ve araçlara ait kapasite kısıtlarının olduğu YS_ARP türü, Kapasite Kısıtlı YS_ARP (KK_YS_ARP) olarak adlandırılmıştır. İki NP-zor problemi (Tek dağıtım merkezli Kapasitelendirilmiş Rotalama Problemi ve birden fazla dağıtım merkezli Rotalama Problemi) içeren KK_YS_ARP'ın da YS_ARP gibi NP-zor olduğu Prodhon ve Prins (2014) tarafından belirtilmiştir.

YS_ARP NP-zor olduğundan kesin çözüm bulan algoritmaların büyük bir kısmı ancak 50 müşteri ve 5-10 dağıtım merkezini içeren boyuttaki problemleri çözebilmektedir. 200 müşteri ve 10-14 dağıtım merkezini içeren boyuttaki bazı örnek problemlerin yalnızca Baldacci ve diğerleri (2011) ile Contardo ve diğerleri (2013a) tarafından önerilen yöntemlerle çözülebildiği belirtilmiştir. Bu nedenle bu problemin çözümünde özellikle meta-sezgisel yaklaşımlar kullanılmıştır. Meta-sezgisel yaklaşımlar arasında en iyi çözüme en yakın çözüm bulma açısından Contardo ve diğerleri (2013b), Ting ve Chen (2013), Hemmelmayr ve diğerleri (2012) ile Yu ve diğerleri (2010) çalışmaları; en kısa sürede

makul çözüm bulma açısından ise Prins ve diğerleri (2007) ile Pirkwieser ve diğerleri (2010) çalışmaları ön plana çıkmaktadır.

Drexl ve Schneider (2015) tarafından listelenen ve yeni YS_ARP çeşitleri oluşturan parametrelerden önemli olanları ise şunlardır:

1. Deterministik/Stokastik/Bulanık (Fuzzy) Veri: Deterministik durumda, probleme ait tüm veriler önceden bilinmektedir. Stokastik durumda ise probleme ait bazı veriler (genelde perakendeci talebi veya rota süreleri) belli bir dağılım (genellikle normal dağılım) şeklinde bilinmektedir. Bulanık durumda ise probleme ait bazı veriler (genellikle perakendeci talebi) bulanık sayı şeklinde bilinmektedir.
2. Statik/Dinamik/Periyodik Planlama Dönemi: Statik YS_ARP'ta tek bir planlama dönemi söz konusudur. Dinamik YS_ARP'ta ise birden fazla planlama dönemi söz konusu olup problem hakkındaki bazı veriler (genelde perakendeci talebi) bilinmemekte ve zamanla bilinir hale gelmektedir. Periyodik YS_ARP'ta ise birden fazla planlama dönemi söz konusu olup bu planlama dönemleri kapsamında her bir perakendecinin ziyaret edilebileceği dönem kombinasyonlarını içeren kümeler mevcuttur. Problem hakkındaki tüm veriler önceden bilinmektedir. Problemin çözülmesi sonucunda; her bir perakendecinin hangi dönemlerde hangi rotalar aracılığıyla ziyaret edileceği ve dönemsel araç rotaların nasıl olacağı sorularının cevapları bulunur.
3. Aday Tesislerin (Dağıtım Merkezlerinin vb.) Yerleştirileceği Ayrık/Sürekli/Ağ Yapısındaki Konumlar: Aday tesislere ait konumların ayrık olduğu durumda konumlar, bir serime ait konumlar (vertices) şeklindedir. Sürekli veya diğer bir deyişle düzlemsel durumda konumlar, düzlemsel bir alan içinde yer alacak şekilde verilmektedir. Ağ durumunda ise; aday tesisler, serimde yer alan konumlarda veya yönlü/yönsüz ayrıtlar üzerinde açılabilir.
4. Tek/Birden Fazla Seviye: Ana tesisten (genellikle üretici) perakendeciye yapılacak ürün dağıtımının kaç seviye aracılığıyla olacağı gösterilmektedir. Tek seviyede yalnızca perakendeciye yapılan dağıtımdaki araç rotaları bulunmakta, birden fazla seviyede ise perakendeciye yapılan dağıtım ile üst seviyelerde yapılan dağıtımlardaki araç rotaları bulunmaktadır. Birden fazla seviyenin olduğu problemlerde özellikle iki seviyeli problemler (Two-Echelon Location Routing Problem) üzerinde çalışılmaktadır.
5. Tek/Birden Fazla Amaç: YS_ARP'ta bir veya birden fazla amaç fonksiyonu olabilmektedir. Tek amacın olduğu çalışmalarda genellikle sabit tesis açma ve

sabit/değişken araç rotalama maliyeti toplamı en aza indirgenmeye çalışılmaktadır. Birden fazla amacın yer aldığı çalışmalarda ise genellikle hizmet seviyeleri ile maliyet toplamı aynı anda ele alınmaktadır.

6. Parçalı Dağıtımın Olduğu YS_ ARP: Perakendecinin aynı veya farklı araç (lar) tarafından birden fazla ziyaret edilebildiği problemler, Parçalı Dağıtım (Split Delivery) YS_ ARP olarak adlandırılmaktadır.
7. Yer Seçimi ve Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi: Dağıtım merkezinden perakendeciye, aynı zamanda perakendeciden perakendeciye veya dağıtım merkezine ürün taşımanın söz konusu olduğu YS_ ARP çeşididir. Bu problem tipinde ayrıca, perakendeciye ürün dağıtımının ve perakendeciden ürün alımının eş zamanlı veya eş zamansız yapıldığı iki ayrı durum vardır.
8. Yer Seçimi ve Envanter Rotalama Problemi: Dağıtım merkezleri ve/veya perakendecilerde stoğun tutulabildiği YS_ ARP, Yer Seçimi ve Envanter Rotalama Problemi (YS_ ERP) olarak adlandırılmaktadır. Bu problem tipinde ayrıca üreticiden ne zaman ve ne miktarda ürün tedarik edileceği sorusunun cevabına da ulaşılmaktadır.

Drexl ve Schneider (2015) tarafından yeni bir YS_ ARP çeşidi oluşturmadığı belirtilen parametreler ise şunlardır: Yönlendirilmiş/yönlendirilmemiş şebeke, Kapasitelendirilmiş/kapasitelendirilmemiş tesisler, Sabit açılma maliyeti olan/olmayan tesisler, Sınırlı/sınırsız ile Kapasitelendirilmiş/kapasitelendirilmemiş araç filosu ve Homojen/heterojen araç filosu.

2.2. Envanter Rotalama Problemi

Bir depo/dağıtım merkezi ve birden fazla perakendeci/müşterinin ele alındığı Envanter Rotalama Problemi (ERP), 1980'lerin başından itibaren çalışılmaya başlanmıştır. Bu problem tipinde; belirli bir dönem boyunca yok satma ve/veya stok ve dağıtım maliyetlerini en aza indirmek maksadıyla en iyi dağıtım miktarları/sıklığı ve araç rotaları belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu problem kapsamında yapılan çalışmalar hakkında detaylı bilgi; Moin ve Salhi (2006), Yu ve diğerleri (2008), Raa ve Aghezzaf (2009) ile Andersson ve diğerleri (2010)'nin çalışmalarında mevcuttur.

2.3. Envanter Yer Seçimi Problemi

Envanter Yer Seçimi Problemi (EYSP), 1995'lerden itibaren çalışılmaya başlanmıştır. Bu problem tipinde; tesis açma, işletme ve stok tutma maliyetlerini en aza indirmek maksadıyla açılacak depo/dağıtım merkezleri vb.nin belirlenmesi, perakendecilerin bu tesislere atanması ve en iyi dağıtım miktarları/sıklığının belirlenmesi sorularına cevap aranmaktadır. Bu problem kapsamında yapılan çalışmalar, Farahani ve Hekmatfar (2009)'ın kitabında kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.

2.4. Yer Seçimi ve Envanter Rotalama Problemi (YS_ERP)

YS_ERP, Granada ve Silva (2012) tarafından şu şekilde tanımlanmıştır: “YS_ERP perakendecilerin, aday dağıtım merkezlerinin ve dönemlerin bilindiği varsayımı altında; dağıtım merkezi açma, stok tutma ve dağıtım maliyetleri toplamının en aza indirilmesi maksadıyla; açılacak dağıtım merkezleri seçiminin, perakendecilerin açılan dağıtım merkezlerine atamasının, açılan dağıtım merkezleri ve/veya perakendeciler kapsamında envanter yönetimi politikasının ve araç rotalarının aynı anda belirlendiği problemidir.”

2.4.1. YS_ERP literatür taraması

Bu bölümde YS_ERP üzerine yapılan çalışmalardan sıklıkla atıf alan ve konu kapsamında değinilmesinin gerekli olduğu düşünülen çalışmalar özetlenmiştir. Bulanık talepli çalışmalara yer verilmemiştir.

Liu ve Lee (2003) ile Liu ve Lin (2005) tarafından doğrudan envanter kararlarını içermeyen fakat amaç fonksiyonlarına envanter maliyetleri eklenmiş, stokastik talepli, tek ürünlü, tek dönemli YS_ERP üzerinde çalışılmıştır. Problemin çözümü için Liu ve Lee (2003) tarafından önce rotalama daha sonra yer seçimi ve atama yapan ve son olarak bulunan çözümü sezgisel bir yöntemle iyileştiren iki aşamalı sıralı bir algoritma önerilmiştir. Liu ve Lin (2005) ise aynı problemi yer seçimi ve atama işlemlerinin ele alındığı birinci problem ile, rotalama ve envanter kararlarının alındığı ikinci bir problem olacak şekilde iki probleme ayırmış ve çözüm metodu olarak her iki problemin başlangıç çözümlerinin tabu arama ve tavlama benzetiminin birlikte kullanıldığı sıralı bir algoritma ile iyileştirildiği bir algoritma önermişlerdir. Liu ve Lin (2005) tarafından önerilen

algoritmaya ait sonuçların, Liu ve Lee (2003) tarafından önerilen algoritmaya ait sonuçlara nazaran daha iyi olduğu görülmüştür.

Ambrosino ve Scutella (2005) tarafından dağıtım ağları tasarımında; tedarikçiler, merkezi depolar, bölgesel depolar, aktarma noktaları, büyük müşteriler ve normal müşteriler olmak üzere farklı durumların ele alındığı modeller sunulmuştur. Çalışmada ayrıca rotalamanın göz ardı edildiği deterministik talepli, tek bir ürün ve tek bir dönem kapsamındaki YS_ERP'e ait 13 dağıtım merkezi, 95 perakendeci ve 17 araç içeren örnek bir problem; CPLEX 7.0 kullanılarak çözülmeye çalışılmış, 25 saat içerisinde alt sınıra ancak %23,71 yaklaşmıştır. Bu nedenle, dağıtım ağları tasarımı kapsamında sundukları örnek problem tiplerinin en iyi çözümü verecek şekilde çözülmesinin çok zor olduğu belirtilmiştir.

Ma ve Davidrajuh (2005) stokastik talepli, tek bir ürün ve tek bir dönem kapsamında YS_ERP'i ele almıştır. Problemin çözümü için; birinci aşamada karışık tamsayılı programlama kullanılarak yer seçimi ve atama, ikinci aşamada olasılık teorisi kullanılarak envanter yönetimi ardından genetik algoritma kullanılarak rotalama probleminin çözüldüğü, ikinci aşamadaki sonuçların birinci aşamaya aktarıldığı ve problem çözümünün belirli bir oranın üzerinde iyileşmeyene kadar bu aşamaların artarda tekrarlandığı sıralı algoritma önermişlerdir.

Shen ve Qi (2007); Daskin ve diğerleri (2002) tarafından önerilen EYSP'ye ilişkin modeli temel alarak stokastik talepli, tek bir ürün ve tek bir dönem kapsamındaki YS_ERP için doğrusal olmayan bir model üzerinde çalışmıştır. Önerilen modelle; kaç adet dağıtım merkezinin açılacağı, her bir dağıtım merkezine hangi müşterilerin atanacağı ve (Q_i , R_j) stok politikasının uygulandığı varsayılan dağıtım merkezlerinin belirlenen bir hizmet düzeyinde hizmet verebilmeleri için ne kadar miktarda sipariş vermeleri gerektiği sorularının cevapları bulunmaktadır. Modelde rotalama kararları göz ardı edilmiş, dağıtım maliyetleri belirli bir alana düzgün şekilde dağılmış müşteriler varsayımı altında sürekli yaklaşım modeli aracılığıyla tahmini olarak modele yansıtılmıştır. Örnek problemler, Lagrange gevşetmesinin dâhil edildiği Dal-Sınır algoritması ile çözülmüştür. Yapılan analiz sonucunda; stok tutma maliyeti katsayısının artırıldığı zaman açılan dağıtım merkezi sayısının düştüğü, dağıtım maliyeti katsayısının artırıldığı zaman ise açılan dağıtım merkezi sayısının arttığı görülmüştür. Çalışmada ayrıca dört farklı boyuttaki örnek problemler üzerinde bu iki katsayıya ilişkin analizler yapılmış; tesis açma, dağıtım, stok

tutma ve sipariş verme maliyetlerinin toplam maliyet içindeki oranları ortaya konmuş ve son olarak; tedarik zinciri tasarımında yer seçimi, envanter ve rotalama kararları üç farklı yaklaşımla (Tam entegre, kısmen entegre ve sıralı yaklaşım) ele alınarak bu yaklaşımlara ilişkin duyarlılık analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda; stratejik seviyedeki tesis yer seçimi kararları alınırken taktik ve operasyonel maliyetlerin fazla olduğu durumlarda, envanter ve rotalama kararlarının göz önünde bulundurulmasının önemli olduğu vurgulanmıştır.

Zhang ve diğerleri (2008) tarafından stokastik talepli, tek bir ürün fakat birden fazla dönemin söz konusu olduğu YS_ERP ele alınmıştır. Problemin çözümü için genetik algoritmanın kullanıldığı tekrarlayan bir metot önerilmiş, 10 ADM ve 30 müşteriyi içeren örnek bir problem çözülmüş, çözüm süresi hakkında ise bilgi verilmemiştir.

Xuefeng (2010) tarafından stokastik talepli, tek bir ürün ve tek bir dönem kapsamında YS_ERP ele alınmış ve problem için doğrusal olmayan bir model önerilmiştir. Problemin çözümü için Lagrange gevşetmesi tabanlı bir algoritma kullanılmıştır. Algoritma 20 adet küçük boyutlu problem üzerinde denenmiş, elde edilen sonuçlar Lingo ile kodlanan modelin 3 saat çalıştırılması sonucu elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış, çözüm kalitesi ve çözüm süresi açısından önerilen algoritmanın iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Javid ve Azad (2010) tarafından Shen ve Qi (2007)'nin çalışmasında önerilen model genişletilerek modelle araç rotalarının oluşturulması da sağlanmıştır. Javid ve Azad (2010)'ın yaptığı çalışma kapasite kısıtlarının da eklenerek yer seçimi, atama, envanter yönetimi ve rotalama kararlarının aynı anda optimize edildiği ilk çalışma olması açısından önemlidir. Üzerinde çalışılan problem karışık tam sayılı dışbükey model olarak modellenmiş, küçük boyutlu problemlerin Dal-Sınır çözüm metodu kullanılarak en iyi çözümü verecek şekilde çözülebildiği gösterilmiştir. Amaç fonksiyonunun doğrusal olmamasından dolayı orta ve büyük boyutlu problemlerin çözülebilmesi için tabu arama ve tavlama benzetiminin birlikte kullanıldığı iki aşamalı tekrarlayan bir metot önerilmiştir. İlk aşamada rassal olarak başlangıç çözümü oluşturulmakta, dört defa tekrarlanan ikinci aşamada ise hibrit sezgisel çözüm yöntemi kullanılarak öncelikle başlangıç çözümündeki yer seçimi ve atama kararları, ardından elde edilen yeni çözümdeki rotalama kararları iyileştirilmektedir. Önerilen yöntemle ait sonuçların problemin gevşetilmiş haline ait sonuçlarla karşılaştırılması sonucunda; önerilen yöntemin kısa sürede (20 ADM, 100

müşteri ve 22 araç içeren problem için 85 sn) iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Shen ve Qi (2007) tarafından yapılan çalışmanın sonuçları ile bu çalışmanın sonuçları karşılaştırıldığında; toplam maliyetin, 40 perakendecinin olduğu problemlerde yaklaşık %16-28, 100 perakendecinin olduğu problemlerde yaklaşık %13-23, 400 perakendecinin olduğu problemlerde ise yaklaşık %10-18 azaldığı gösterilmiştir.

Hiassat ve Diabat (2011) tarafından yapılan çalışmada deterministik talepli, raf ömrü olan tek bir ürün fakat birden fazla dönemin söz konusu olduğu YS_ERP ele alınmıştır. Önerilen modelde depolara ait birim stok tutma maliyetinin depolar arasında eşit olduğu düşünülerek bu maliyet amaç fonksiyonundan çıkarılmış, ürüne ait raf ömrünün perakendecilere ait kapasiteden daha önemli olduğu varsayımıyla perakendecilere ait kapasite kısıtı göz ardı edilmiş, perakendecilerin her bir dönem için farklı bir depodan hizmet alabilmeleri varsayımı kabul edilmiştir. 4 perakendeci, 2 depo ve 5 dönemi içeren örnek problemler GAMS ile çözülmüş, çözüm süreleri hakkında ise bilgi verilmemiştir.

Sajjadi ve Cheraghi (2011) çalışmasında; stokastik talepli, yok satmaya izin veren, birden fazla ürün ve birden fazla aday tedarikçinin bulunduğu, ilave olarak dağıtım merkezlerinin tedarikçilere atandığı, tek bir dönemin söz konusu olduğu YS_ERP ele alınmıştır. Problem dört aşamadan oluşan tekrarlayan bir yöntemle çözülmüştür. İlk aşamada Liu ve Lee (2003) tarafından önerilen metot kullanılarak başlangıç çözümü oluşturulmuş, ikinci aşamada tavlama benzetimi ile yer seçimi ve atama çözümü iyileştirilmiş, üçüncü aşamada tavlama benzetimi ile rotalar iyileştirilmiş, son aşamada ise uygun rotalara Clark-Wright Kazanç (Savings) algoritması uygulanarak rotalar ikinci kez iyileştirilmiştir. Önerilen çözüm metodu ile 350 müşteri ve 40 ürünlü örnek problemlerin 200 sn içerisinde çözülebildiği belirtilmiştir.

Javid ve Seddighi (2012), Javid ve Azad (2010)'ın üzerinde çalıştığı probleme her bir dağıtım merkezinin tek bir tedarikçiye atanması durumunu eklemiş, perakendeci talebini deterministik duruma dönüştürmüştür. Problemin çözümü için yer seçimi ve iki adet rotalama safhasının içerildiği üç safhalı tekrarlayan bir metot önerilmiştir. Metodun ilk iki safhasında tavlama benzetimi ile başlangıç çözümü oluşturulmakta, son safhasında ise hibrit bir sezgiselle başlangıç çözümü iyileştirilmektedir. Javid ve Azad (2010) tarafından yapılan çalışmanın sonuçları ile bu çalışmanın sonuçları karşılaştırıldığında toplam maliyetin %5-7 oranında azaltıldığı gösterilmiştir.

Granada ve Silva (2012) tarafından yapılan çalışmada deterministik talepli, yok satmaya izin veren, tek bir ürün fakat birden fazla dönemin söz konusu olduğu YS_ERP ele alınmıştır. Çalışmada çözüm metodu olarak Sütun Üretme tekniğine dayanan hiyerarşik bir algoritma önerilmiştir. Metot, YS_ERP’i Yer Seçimi ana problemi ve Envanter Rotalama ikincil problemi olarak iki probleme ayırmıştır. Çözüm süresince ana problemdeki kısıtlar ikincil probleme ikincil (dual) değişken olarak girilmekte, ikincil problemde de ana probleme negatif indirgenmiş maliyete sahip olan sütunlar eklenmektedir. Küçük boyutlu problemlerin önerilen çözüm metoduyla iyi bir şekilde çözüldüğü belirtilmiş, büyük boyutlu problemlerin ise bilgisayardaki rastgele erişimli hafızanın (RAM) yeterli olmamasından dolayı çözülemediği belirtilmiştir.

Tavakkoli-Moghaddam ve diğerleri (2013); stokastik talepli, heterojen araç filolu, birden fazla tedarikçinin olduğu, tek bir ürün ve tek bir dönem kapsamında; dağıtım seviyeleri arasında birden fazla dağıtım yolu alternatifini içeren YS_ERP’i ele almıştır. Probleme ait model amaç fonksiyonu, toplam maliyet ve toplam dağıtım süresi olmak üzere iki hedefi içermektedir. Çalışmada yalnızca çok küçük boyutlu örnek problemler Lingo aracılığıyla çözülmüş, çözüm süreleri hakkında ise hiçbir bilgi verilmemiştir.

Sajjadi ve diğerleri (2013) tarafından deterministik talepli, birden fazla ürün ve tek bir dönemin söz konusu olduğu YS_ERP ele alınmıştır. Problem için önerilen iki aşamalı algoritmanın ilk aşamasında yer seçimi, atama ve rotalama, ikinci aşamasında ise envanter yönetimi kararları ele alınmıştır. Önerilen çözüm metodu ile 10 depo, 200 müşteri ve 2 ürünlü örnek problemlerin 10 sn içerisinde çözülebildiği gösterilmiştir.

Guerrero ve diğerleri (2013); deterministik talepli, birden fazla dönemin söz konusu olduğu YS_ERP’i ele almıştır. Problemin çözümü için birbiriyle veri alışverişinde bulunan, çözümde iyileşme olduğu sürece veya belirlenen döngü sayısı tamamlanana kadar art arda çalıştırılan iki aşamalı hibrit metot ve bu metoda ilaveten sıralı bir metot önerilmiştir. Hibrit metodun birinci aşamasında dağıtım ve sipariş verme maliyetlerinin yaklaşık olarak yansıtıldığı model kesin bir şekilde çözülerek yer seçimi, atama ve envanter yönetimi kararları, ikinci aşamada ise Geliştirilmiş Rassal Clark-Wright Kazanç algoritmasına dayanan rotalama metodu uygulanarak rotalama kararları bulunmaktadır. Yapılan analiz sonucunda; hibrit metodun sıralı metoda göre daha iyi sonuçlar verdiği, ticari çözücü ile 2,5 saat içerisinde en iyi çözümü verecek şekilde çözülemeyen 5 dağıtım

merkezi, 5 perakendeci ve 5 dönemi içeren örnek problemlerin hibrit metot ile ortalama 28 sn içerisinde üst sınıra oldukça yakın bir şekilde çözüldüğü gösterilmiştir. Diğer taraftan 5 dağıtım merkezi, 15 perakendeci ve 5 dönemi içeren örnek problemler hibrit metot ile ortalama 141 dak. içerisinde çözülebilmektedir.

Zhang ve diğerleri (2014) tarafından YS_ERP için önerilen modelde ADM'lerin aktarma düğümü (cross-dock) olduğu varsayımı kabul edilmiştir. Problemin çözüm süresini büyük oranda azaltmak için perakendecilerde tutulan stoğa ait maliyet farklı bir şekilde hesaplanmış, büyük boyutlu problemlerin çözümü için de hibrit bir algoritma önerilmiştir. Önerilen algoritma başlangıç çözümünün üretilmesi, yoğunlaşma ve en son iyileştirme aşamalarından oluşmaktadır. Başlangıç çözümü; Yer Seçimi ve Atama modelinin en iyi çözümü verecek şekilde çözülmesinin ardından Envanter Rotalama Problemi'nin sezgisel bir şekilde çözülmesi ile oluşturulmaktadır. Yoğunlaşma aşamasında tavlama benzetimi ile başlangıç çözümü iyileştirilmekte, en son iyileştirme aşamasında ise çözüm uzayının farklı bölgelerinde arama yapılarak o ana kadar bulunan en iyi çözüm iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Önerilen algoritma ile standart YS_ARP ve ERP örnek problemlerinin makul süreler içerisinde iyi sonuçlar elde edilecek şekilde, 25 dağıtım merkezi, 300 perakendeci ve 7 dönemi içeren örnek problemlerin ise yaklaşık 40 dak. içerisinde çözüldüğü belirtilmiştir.

Nekooghadirli ve diğerleri (2014); YS_ERP için Javid ve Azad (2010) tarafından önerilen modeli temel alarak stokastik talepli, birden fazla dönem, birden fazla ürün ve birden fazla amaç fonksiyonun söz konusu olduğu YS_ERP üzerinde çalışmıştır. Amaç fonksiyonuyla, toplam maliyet ve en büyük rota süresi en aza indirmeye çalışılmıştır. Problemin çözümü için önerilen dört adet meta-sezgiselden MOICA (Multi Objective Imperialist Competitive Algorithm)'nın diğer algoritmalara nazaran daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Guerrero ve diğerleri (2015) tarafından, Guerrero ve diğerleri (2013) çalışmasında önerilen problem aynı şekliyle sütun üretimi (Araç Rotalama kısıtları kapsamında), Lagrange gevşetmesi ve yerel aramanın birlikte kullanıldığı Gevşet ve Fiyatlandır (Relax and Price) hiyerarşik metodu ile çözülmüştür. Önerilen çözüm metodunun Guerrero ve diğerleri (2013) çalışmasında önerilen çözüm metoduna göre daha kısa sürede çözüm bulduğu fakat bulunan çözümlerin kalitesinin düştüğü ifade edilmiştir.

Ghorbani ve Jokar (2016) tarafından tedarikçilerin tüm ürünleri tedarik edebildiği, dağıtım merkezlerinin birden fazla tedarikçiden aynı veya farklı ürünleri alabildiği, her bir müşteri talebine ilişkin önceden belirlenen bir oranı geçmeyecek şekilde yok satmaya izin verilen YS_ERP üzerinde çalışılmıştır. Problemin çözümü için sömürgeci rekabetçi (imperialist competitive) - tavlama benzetimi algoritması meta-sezgisellerini kullanan tekrarlayan bir metot önerilmiştir. Önerilen metotla büyük boyutlu örnek problemler yaklaşık bir buçuk saat içerisinde çözülmüştür. İki meta-sezgiseli birlikte kullanan metot ile yalnızca tavlama benzetimi meta-sezgiselini kullanan metot karşılaştırılmış, çözüm kalitesi ve çözüm süresi açısından iki meta-sezgiseli birlikte kullanan metodun üstün olduğu belirtilmiştir.

Hiassat ve diğerleri (2017) tarafından Hiassat ve Diabat (2011) çalışmasında ele alınan deterministik talepli, raf ömrü olan tek bir ürün fakat birden fazla dönemin söz konusu olduğu YS_ERP aynı varsayımlar altında ele alınmıştır. Çalışma ile küçük boyutlu problemlerin CPLEX çözücüsü ile makul sürede (8 perakendeci için 2 dak.) çözülebildiği gösterilmiş, orta ve büyük boyutlu problemlerin çözümü için ise genetik algoritma kullanan tekrarlı bir algoritma önerilmiştir. Önerilen algoritma ile elde edilen çözümlerin problem boyutu arttıkça en iyi çözüme yaklaştığı belirtilmiştir.

Son olarak Saragih ve diğerleri (2019) tarafından tek ürünlü, olasılıksal talepli, birden çok dönemi içeren YS_ERP üzerinde çalışılmıştır. Problemin çözümü için iki aşamalı bir metot geliştirilmiştir. Birinci aşamada başlangıç çözümü oluşturmakta, ikinci aşamada ise başlangıç çözümü tavlama benzetimi ile iyileştirilmektedir.

YS_ERP'e ilişkin detayları yukarıda verilen çalışmalar Cizelge 2.1'de özetlenmiştir. Cizelge 2.1'de geçen kısaltmaların açıklamaları şu şekildedir.

ADM Stok Du. : ADM'lerde stok tutulma durumu.

Pera. Stok Du. : Perakendecilerde (müşterilerde) stok tutulma durumu.

ADM Kap.Du. : ADM'lerin kapasitelendirilmiş olma durumu.

Yok. Du. : Yok satmaya izin verilme durumu

Çizelge 2.1. YS_ERP literatür araştırması özeti

Çalışma	Dönem Sayısı	Ürün Sayısı	Talep Tipi	ADM Stok Du.	Pera. Stok Du.	Yok. Du.	ADM Kap. Du.	Filo Tipi	Çözüm Metodu
Liu ve Lee (2003)	Tek	Tek	Stokastik (Düz. Dağ.)		✓	✓		Homo.	Sıralı Sezgisel Metot
Liu ve Lin (2005)	Tek	Tek	Stokastik (Düz. Dağ.)		✓	✓		Homo.	Hibrit Sezgisel Metot
Ambrosino ve Scutellà (2005)	Tek	Tek	Deterministik	✓	✓		✓	Homo.	Rotalamanın göz ardı edildiği model, CPLEX aracılığıyla çözülmeye çalışılmıştır.
Ma ve Davidrajuh (2005)	Tek	Tek	Stokastik (Nor. Dağ.)	✓		✓		Homo.	Sıralı Metot
Shen ve Qi (2007)	Tek	Tek	Stokastik (Nor. Dağ.)	✓			✓	Homo.	Lagrange gevşetmesinin dâhil edildiği Dal-Sınır Kesin Metodu
Zhang ve diğerleri (2008)	Birden Fazla	Tek	Stokastik (Poi. Dağ.)	✓		✓		Homo.	Genetik meta-sezgiselini kullanan Tekrarlayan Metot
Xuefeng (2010)	Tek	Tek	Stokastik (Nor. Dağ.)	✓				Homo.	Lagrange gevşetmesi tabanlı Kesin Metot
Javid ve Azad (2010)	Tek	Tek	Stokastik (Nor. Dağ.)	✓			✓	Homo.	Tavlama benzetimi ve tabu arama meta-sezgisellerini kullanan Tekrarlayan Metot
Hiassat ve Diabat (2011)	Birden Fazla	Tek	Deterministik		✓		✓	Homo.	Yalnızca küçük boyutlu örnek problemler GAMS ile çözülmüştür.
Sajjadi ve Cheraghi (2011)	Tek	Birden Fazla	Stokastik	✓		✓	✓	Homo.	Tavlama benzetimi meta-sezgiselini kullanan Tekrarlayan Metot
Javid ve Seddighi (2012)	Tek	Tek	Deterministik	✓			✓	Homo.	Tavlama benzetimi ve Karınca koloni sistemi meta-sezgisellerini kullanan Tekrarlayan Metot
Granada ve Silva (2012)	Birden Fazla	Tek	Deterministik	✓		✓		Homo.	Sütun Üretim tekniğine dayanan Hiyerarşik Metot
Tavakkoli-Moghaddam ve diğerleri (2013)	Tek	Tek	Stokastik (Nor. Dağ.)	✓			✓	Hete.	Yalnızca küçük boyutlu örnek problemler Lingo ile çözülmüştür.
Sajjadi ve diğerleri (2013)	Tek	Birden Fazla	Deterministik	✓			✓	Homo.	Sıralı Sezgisel Metot

Çizelge 2.1. (devam) YS_ERP literatür araştırması özeti

Guerrero ve diğerleri (2013)	Birden Fazla	Tek	Deterministik	✓	✓		✓	Homo.	Hibrit Sezgisel Metot
Zhang ve diğerleri (2014)	Birden Fazla	Tek	Deterministik		✓		✓	Homo.	Hibrit Sezgisel Metot
Nekooghadirli ve diğerleri (2014)	Birden Fazla	Birden Fazla	Stokastik (Nor. Dağ.)	✓			✓	Hete.	Her biri farklı meta-sezgisel kullanan dört adet Tekrarlayan Metot
Guerrero ve diğerleri (2015)	Birden Fazla	Tek	Deterministik	✓	✓		✓	Homo.	Gevşet ve Fiyatlandır (Relax and Price) sezgiselini kullanan Hiyerarşik Metot
Ghorbani ve Jokar (2016)	Birden Fazla	Birden Fazla	Deterministik	✓		✓	✓	Homo.	Sömürgeci Rekabetçi ve Tavlama Benzetimi meta-sezgisellerini kullanan Tekrarlayan Metot
Hiassat ve diğerleri (2017)	Birden Fazla	Tek	Deterministik		✓		✓	Homo.	Genetik meta-sezgiselini kullanan Tekrarlayan Metot
Saragih ve diğerleri (2019)	Tek	Tek	Stokastik (Nor. Dağ.)	✓	✓	✓	✓	Homo.	Tavlama Benzetimi meta-sezgiselini kullanan Tekrarlayan Metot
Bu Çalışma	Birden Fazla	Birden Fazla	Deterministik	✓	✓		✓	Hete.	Sıralı Sezgisel Metot Hibrit Sezgisel Metot

YS_ERP kapsamında yapılan çalışmalarda ileride çalışılması tavsiye edilen başlıca konular aşağıda özetlenmiştir. Tekrar niteliğindeki tavsiyelerden sadece güncel çalışmalarda bahsedilmiştir.

Ahmadi-Javid ve Azad (2010) tarafından gelecekte çalışılması gereken konulara ilişkin iki tavsiyede bulunulmuştur. Birinci tavsiye, problemin çözümü için daha etkin sezgisel metotların geliştirilmesi, ikincisi ise üzerinde çalışılan modelin gerçekçi varsayımlar altında genişletilmesidir.

Guerrero ve diğerleri (2013) ise, gelecekte çalışılması gereken iki konudan bahsetmiştir. Birinci konu, YS_ERP’te üreticilerden dağıtım merkezlerine olan ürün dağıtımının da araç rotalama şeklinde yapılması, ikincisi ise denizcilikle ilgili kısıtların probleme dâhil edilmesidir.

Guerrero, W. (2014)’nin çalışılması gereken konulara ilişkin verdiği tavsiyelerden dikkat çekenleri ise şunlardır: Probleme birden fazla ürün durumunun eklenmesi, parçalı dağıtımın eklenmesi, araç rotalamaya zaman pencerelerinin eklenmesi, araç filosunun heterojen olması, araç rota uzunluklarının kısıtlanması, ürün dağıtımında eş zamanlı topla dağıtım durumunun eklenmesi ve amaç fonksiyonunun birden fazla hedefi içerecek şekilde değiştirilmesi.

Guerrero ve diğerleri (2015) tarafından iki konunun çalışılması tavsiye edilmiştir. Birincisi, birden fazla hedefi içeren YS_ERP’in çalışılması, ikincisi ise ürün taleplerinin stokastik olduğu YS_ERP’e stokastik programlama tekniklerinin uygulanmasıdır.

Zhang ve diğerleri (2014)’nin gelecekte çalışılması gereken konulara ilişkin verdikleri tavsiyelerden dikkat çekenleri ise şunlardır: Araçların tek bir dönemde birden fazla sefer yapmasına imkân tanınarak araç sayısının azaltılması, ürün taleplerinin stokastik olduğu varsayımının düşünülmesi ve açılan depoların sonraki dönemlerde kapatılabilmesi durumu.

Nekooghadirli ve diğerleri (2014), gelecekte çalışılması gereken konulara ilişkin şu tavsiyelerde bulunmuşlardır: Problemin çözümüne ilişkin farklı meta-sezgisellerin geliştirilmesi, araç rotalamaya zaman pencerelerinin eklenmesi, kapalı veya tersine tedarik zinciri durumunun göz önünde bulundurulması.

2.4.2. YS_ERP çözüm metotları

Nagy ve Salhi (2007) tarafından Yer Seçimi ve Rotalama problemlerinin çözümü kapsamında kullanılan metotlar; en iyi çözümü bulan kesin metotlar ve en iyi çözüme yakın çözüm bulan sezgisel metotlar olarak ikiye ayrılmıştır. Bu ayrımı Yer Seçimi ve Envanter Rotalama Problemleri için de yapmak mümkündür. Bu nedenle bu bölümde Nagy ve Salhi (2007)'nin çalışması temel alınarak YS_ERP'in çözümü için geliştirilen metotlar özetlenmiştir.

Kesin metotlar; Kesme Düzlemleri, Dal-Sınır, Dal-Kesme, Sütun Üretimi, Lagrange Gevşetmesi gibi algoritmaları kullanarak küçük boyutlu örnek problemleri makul sürelerde çözmektedir. Sezgisel çözüm metotları ise, Sıralı metotlar (Sequential methods), Kümeleme tabanlı metotlar (Clustering-based methods), Tekrarlayan metotlar (Iterative methods), Hiyerarşik metotlar (Hierarchical methods) olarak sınıflara ayrılmakta ve küçük/orta/büyük boyutlu örnek problemleri genellikle makul sürelerde problemin zorluğuna ve uygulanan metoda bağlı olarak belirli çözüm kalitelerinde çözmektedir.

Sıralı metotlar, YS_ERP'e ait alt problemleri (Yer Seçimi, Atama, Envanter Yönetimi ve Araç Rotalama) sırayla yalnızca bir defa çözerler ve çözüm aşamaları arasında etkileşimli veri alışverişi yapmazlar. Bu nedenle; Salhi ve Nagy (1999)'nin de belirttiği gibi genellikle iyi çözümler üretmezler, ancak diğer metotların karşılaştırılması ve kısa zamanda çözüm bulunması maksadıyla kullanılırlar. YS_ERP'in sıralı metotlarla çözülmesi sonucunda çözüm kalitesi düşük sonuçlarla karşılaşılmasının altında yatan sebep Daskin ve diğerleri (2005) tarafından, alt problemlerin sıralı çözümü esnasındaki işlem basamakları arasında veri alışverişinin olmaması ve bu nedenle arama uzayının daralması olarak ifade edilmiştir. Alt problemleri sırayla çözen metotlara örnek olarak Manzini (2012)'nin çalışması gösterilebilir. Bu çalışmada ilk önce yer seçimi ve atama kararları, ardından envanter yönetimi kararları ve son olarak da “Önce Grupla Sonra Rotala” algoritmasıyla rotalama kararları bulunmaktadır.

Kümeleme tabanlı metotlar; her bir ADM veya oluşturulan geçici rotalara bir küme denk gelecek şekilde kümeler oluşturup, oluşturulan bu kümelere perakendecileri atarlar ve ardından iki farklı yolla çözüme giderler. İlkinde, her bir küme için bir dağıtım merkezi atandığından her bir küme için Araç Rotalama Problemi'ni çözerler. İkincisinde ise, her bir

küme için Gezgin Satıcı Problemi'ni çözüp kümelere dağıtım merkezi ataması yaparlar. Kümeleme tabanlı metotlar çözüm aşamaları arasında veri alışverişi yapmadığı için sıralı metotlara benzerler ancak kümeleme yapmalarından dolayı sıralı metotlardan ayrılırlar ve sıralı metotlara nispeten daha iyi sonuç verirler. Barreto ve diğerleri (2007) tarafından yapılan çalışmada kümeleme tabanlı metot kullanılmıştır.

Tekrarlayan metotlar, problemi alt problemlere ayırdıktan sonra alt problemleri sırasıyla çözdükten sonra bu işlemi tekrar tekrar yaparlar. Alt problemler çözülürken bir alt problemin çözümü, ardından çözülecek alt probleme veri sağlar. Bu veri alışverişinin uygun şekilde yapılması çok önemlidir. Tekrarlayan metotlar, sıralı metotlara nispeten daha iyi sonuç verirler fakat alt problemleri hiyerarşik metotların aksine aynı seviyede ele alıp sonuna kadar çözdüklerinden hiyerarşik metotlara nazaran daha kötü sonuç verirler. Wu ve diğerleri (2002) tarafından yapılan çalışmada birden fazla depolu YS_ ARP için tabu arama ve tavlama benzetimi meta-sezgisellerinin birlikte kullanıldığı tekrarlayan bir metot önerilmiştir.

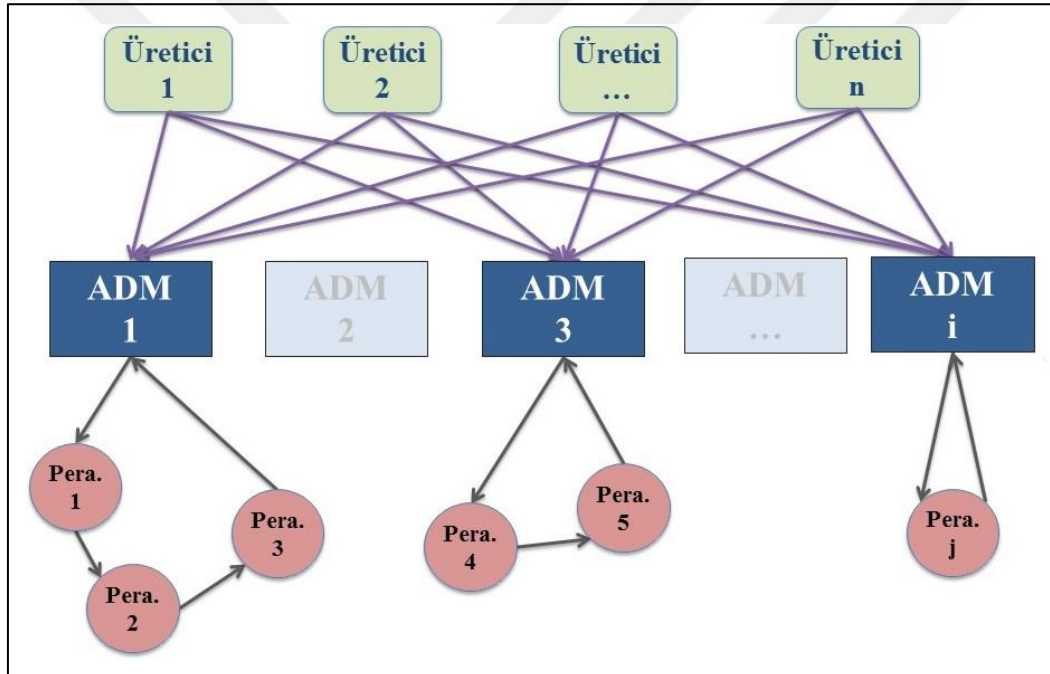
Hiyerarşik metotlar ise, YS_ ERP'i ana ve alt problem(ler)e ayırdıktan sonra ana problemi çözüp ardından alt problem(ler)i çözen ve bu işlemi tekrar tekrar yapan metotlardır. Hiyerarşik metotlarda problemler arasında iyi bir veri alışverişini sağlamak için çok iyi bir tasarım gerekir. Bu nedenle hiyerarşik metotları geliştirmek zordur, fakat diğer metotlara nazaran genellikle daha iyi sonuç verirler. Guerrero ve diğerleri (2013) tarafından yapılan çalışmada hiyerarşik metot kullanılmıştır.

YS_ ERP'in çözümü kapsamında belirtilmesi gereken önemli bir husus da araçların birden fazla perakendeciyi ziyaret edebildiği YS_ ERP'i çözerken dağıtım merkezi seçimini, dağıtım merkezi ile perakendeciler arasındaki uzaklığı en aza indirecek şekilde yapmanın en iyi sonuçları vermeyeceğinin Salhi ve Rand (1989) tarafından ispat edilmiş olmasıdır.

Yukarıda özetlenen metotlara ait aşamalarda alt problemlere ait modeller kesin bir şekilde veya meta-sezgisel algoritmalar aracılığıyla en iyi çözüme yakın bir çözüm bulunacak şekilde çözülmektedir. Kesin çözüm metotları çözüm süresi ve çözülebilen problem boyutu açısından genellikle uygun olmadığından daha çok meta-sezgisel algoritmalar tercih edilmekte, çözüm kalitesinin artırılması maksadıyla da meta-sezgisel algoritmalar genellikle hibrit şekilde kullanılmaktadır.

3. ÇOK ÜRÜNLÜ, YER SEÇİMİ VE ENVANTER ROTALAMA PROBLEMİ (ÇÜ_YS_ERP)

Bu doktora tezinde “Çok Ürünlü, Yer Seçimi ve Envanter Rotalama Problemi” çalışılmıştır. ÇÜ_YS_ERP’teki amaç; perakendecilerin taleplerini karşılamak için en düşük maliyetle kapasite seviyeleri ile birlikte açılması gereken ADM’leri, açılan her bir dağıtım merkezine (DM) atanacak perakendecileri, her bir dönem için üreticilerden açılan DM’lere ve DM’lerden perakendecilere dağıtılacak ürün miktarlarını ve perakendecilere yapılan dağıtımlarda kullanılması gereken araç filosu ile rotaları belirlemektir. Probleme ait şematik gösterim aşağıdaki gibidir:



Şekil 3.1. ÇÜ_YS_ERP gösterimi

Problemin çözülmesiyle;

- ADM’lerden hangilerinin hangi kapasite seviyelerinde açılacağı,
- ADM’lere perakendecilerin ne şekilde atanacağı,
- ADM’lerce dönemsel rotalar kapsamında hangi tip araçlardan kaçar adet ihtiyaç duyulacağı,
- Her bir dönem ve ürün tipi için;
 - ADM’lerin ne miktarda ürün tedarik edeceği,

- ADM'lerden perakendecilere ne miktarda ürün dağıtımı yapılacağı,
- ADM'ler ile perakendeciler arasındaki araç rotalarının nasıl olacağı sorularının cevapları bulunmaktadır.

3.1. Varsayımlar

Probleme ait varsayımlar şu şekildedir.

- Perakendecilere ait talepler ürün bazında, dönemsel ve deterministiktir.
- Her bir ürün yalnız bir üretici tarafından üretilmektedir. Yani ürün çeşidi kadar üretici bulunmaktadır.
- Ürün taleplerinin ortak bir birim (Örn.: palet) üzerinden yapıldığı düşünülmektedir.
- ADM'ler, perakendeciler ve araçlar ürün talep miktarı birimi cinsinden kapasitelere sahiptir.
- Her bir ADM kapasite kullanımını yüksek seviyede tutmak maksadıyla 3 farklı kapasite seviyesinden (küçük, orta, büyük) birinde açılabilir. Kapasite seviyelerine karşılık gelen kapasiteler dağıtım merkezleri arasında farklılık gösterebilmektedir.
- ADM'lerin kurulum maliyetleri kapasite seviyelerine göre belirlenmektedir.
- ADM'lerin dönemlik işletme maliyetleri, kurulum maliyetlerinin dönemlik işletme maliyeti çarpanı ile çarpılması sonucu bulunmaktadır.
- Yer seçimi ve atama kararları bir defa yapılmakta olup tüm dönemler kapsamında geçerlidir.
- Her bir perakendeci yalnız bir dağıtım merkezinden hizmet alabilmektedir.
- Dağıtım merkezleri ve perakendecilerde stok tutulabilmektedir. Her iki birimde ayrıca dönem başı stoğu bulunabilmektedir.
- ADM'ler ve perakendeciler kapsamında her bir ürün için dönemlik birim stok tutma ve eskime maliyetini içeren birim stok tutma ve eskime maliyeti söz konusudur. Bu maliyet, ADM'ler ve perakendeciler kapsamında farklılık gösterebilmektedir.
- Ürün dağıtımı üreticilerden dağıtım merkezlerine doğrudan, dağıtım merkezlerinden perakendecilere ise doğrudan veya dolaylı (diğer perakendeciler üzerinden) yapılmaktadır.
- Araç filosu kamyon, kırkayak ve tır araç çeşitlerini içermekte olup heterojendir. Her bir araç çeşidi için sabit araç kullanım ve birim yol kat etme maliyeti bulunmaktadır. Bu

varsayımlar altında Araç Rotalama alt problemi, Sabit ve Değişken Maliyetli Filo Büyüklüğü ve Karma Araç Rotalama probleminde olduğu gibidir.

- Araç rotaları kapsamında her bir tur, bir dağıtım merkezinden başlayıp aynı dağıtım merkezinde sonlanmaktadır.
- Aynı turda bir veya birden fazla perakendecinin bir veya birden fazla ürüne ait olan talebi karşılanabilmektedir.
- Parçalı ürün dağıtımı söz konusu değildir. Diğer bir deyişle, perakendeciler aynı veya farklı araç (lar) tarafından aynı dönemde en fazla bir defa ziyaret edilmektedir.
- Araçlar her bir dönem için en fazla bir tur yapabilmektedir.
- Dağıtım merkezleri arasında ürün aktarımı söz konusu değildir.
- Tedarik maliyeti, ilgili ürüne ait sabit sipariş verme maliyeti ile ürünün üreticisi ile dağıtım merkezi arasındaki uzaklığın toplamına eşittir.
- Yok satmaya izin verilmemektedir.

3.2. Matematiksel Model

Bu çalışma kapsamında ÇÜ_YS_ERP için önerilen model, Guerrero ve diğerleri (2013) tarafından önerilen modeli temel almakla beraber bu modelden şu özellikleriyle farklılık göstermektedir. Önerilen modelde ilave olarak öncelikle birden fazla ürün, ADM'ler için birden fazla kapasite seviyesi, heterojen araç filosu ve farklı maliyetler için farklı ağırlık katsayıları mevcuttur. Guerrero et al. (2013) tarafından önerilen modelde iki dönem indisli kullanan w değişkenleri bu modelde kaldırılmış, yerine tek dönem indisli s , w , q değişkenleri ve modelin geçerli olması için stok denge denklemleri eklenmiştir. Yapılan bu değişikliklerle modelin kolay bir şekilde anlaşılır olması sağlanmış ve makul sürelerde kesin şekilde çözülen örnek problemlerin çözüm süreleri kısaltılmıştır. Çözüm sürelerine ilişkin yapılan karşılaştırmalı analiz dördüncü bölümde sunulmuştur.

Dizin Kümeleri

N : ürünler (üreticiler) kümesi,

I : ADM'ler kümesi,

J :perakendeciler kümesi,

$K = \bigcup J : \text{ADM}'\text{ler ve perakendeciler kümelerinin birleşimi,}$

$A = \{(i, j); i, j \in K, i \neq j\} : \text{ayrıntlar kümesi,}$

$G = (K, A) : \text{ağırlıklandırılmış yönlü serim,}$

$V : \text{her bir araç tipi için tanımlı araçlar kümesi,}$

$B = \{1, 2, 3\} : \text{araç tipleri kümesi,}$

Araç tipleri; kamyon, kırkayak ve tır tiplerine karşılık gelmektedir.

$E = \{1, 2, 3\} : \text{ADM'lerin açılabilceği kapasite seviyeleri kümesi,}$

Kapasiteler; küçük, orta ve büyük seviyelerine karşılık gelmektedir.

$H = \{1, 2, \dots, p\} : \text{dönemler kümesi,}$

$H^0 = \{0\} \cup H = \{0, 1, 2, \dots, p\} : \text{dönem başını da içeren dönemler kümesi.}$

Parametreler

$dist_{ij} : i - j \text{ ayrıntının uzunluğu } (\forall (i, j) \in A),$

$c^b : b \text{ tipindeki aracın birim yol kat etme maliyeti } (\forall b \in B),$

$c_{ij}^b : i - j \text{ ayrıntının } b \text{ tipindeki araç tarafından kat edilme maliyeti } (\forall b \in B ; \forall (i, j) \in A),$

$c_{ij}^b = c^b \cdot dist_{ij},$

$d_{jtn} : j. \text{ perakendecinin } t \text{ döneminde } n. \text{ ürüne olan talep miktarı } (\forall j \in J, \forall t \in H, \forall n \in N),$

$RC_{in} : i. \text{ ADM tarafından } n. \text{ ürünün tedarik edilme maliyeti } (\forall i \in I, \forall n \in N),$

h_{ktn} : k . düğümde, t dönemi için n . ürüne ait birim stok tutma ve eskime maliyeti toplamı

$$(\forall k \in K, \forall t \in H, \forall n \in N)$$

OC_i^e : e kapasite seviyesinde açılan i . ADM'nin kurulum maliyeti ($\forall i \in I, \forall e \in E$),

MCQ_i : i . ADM'ye ait dönemlik işletme maliyeti çarpanı,

W_i^e : e kapasite seviyesinde açılan i . ADM'nin kapasitesi ($\forall i \in I, \forall e \in E$),

W_j : j . perakendecinin kapasitesi ($\forall j \in J$),

Q^b : b tipindeki aracın kapasitesi ($\forall b \in B$),

FC^b : b tipindeki aracın sabit kullanım/tedarik maliyeti ($\forall b \in B$),

IS_{kn} : k . düğümdeki n . ürüne ait dönem başı stok miktarı ($\forall k \in K, \forall n \in N$),

α : tedarik maliyetine ilişkin ağırlık katsayısı,

β : dağıtım maliyetine ilişkin ağırlık katsayısı,

θ : ADM'lere ait stok tutma ve eskime maliyetine ilişkin ağırlık katsayısı,

γ : Perakendecilere ait stok tutma ve eskime maliyetine ilişkin ağırlık katsayısı.

İkili karar değişkenleri

$$y_i^e : \begin{cases} 1 & i. \text{ADM } e \text{ kapasite seviyesinde açılırsa } (\forall i \in I, \forall e \in E) \\ 0 & \text{dd} \end{cases}$$

$$f_{ij} : \begin{cases} 1 & i. \text{ADM'ye } j. \text{perakendeci atanırsa } (\forall i \in I, \forall j \in J) \\ 0 & \text{dd} \end{cases}$$

$$z_{itn} : \begin{cases} 1 & i. \text{ADM tarafından } t \text{ döneminde } n. \text{üründen tedarik edilirse} \\ 0 & \text{dd} \end{cases} \quad (\forall i \in I, \forall t \in H, \forall n \in N)$$

x_{ijtv}^b

$$: \begin{cases} 1 & b \text{ tipindeki } v \text{ aracı } t \text{ döneminde } i \text{ düğ.ünün hemen ardından } j \text{ düğümüne geçerse} \\ 0 & \text{dd} \end{cases} \quad (\forall i, j \in K, \forall t \in H, \forall b \in B, \forall v \in V)$$

Ek karar değişkenleri

s_{itn} : i . ADM tarafından t döneminde tedarik edilen n . ürün miktarı ($\forall i \in I, \forall t \in H, \forall n \in N$)

w_{ijtnv}^b : n .ürün kapsamında i . ADM tarafından j . perakendeciye t döneminde b tipindeki

v aracıyla yapılan dağıtım miktarı ($\forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in H, \forall n \in N, \forall b \in B, \forall v \in V$)

q_{ktn} : t döneminde k . düğümün envanterinde bulunan n . ürün miktarı

($\forall k \in K, \forall t \in H^0, \forall n \in N$)

nv_i^b : i . ADM tarafından tüm dönemler kapsamında kullanılan b tipindeki araç sayısı

($\forall i \in I, \forall b \in B$)

$u_{jtv}^b \in \{0, 1, \dots, |J| - 1\}$: araç rotalarında alt turları engellemek için kullanılan değişken

($\forall j \in J, \forall t \in H, \forall b \in B, \forall v \in V$)

Model (M1)

$$\text{Enküçük} \sum_{i \in I} \sum_{e \in E} (OC_i^e + OC_i^e \cdot MCQ_i \cdot |H|) \cdot y_i^e + \quad (3.1)$$

$$\alpha \sum_{i \in I} \sum_{t \in H} \sum_{n \in N} RC_{in} \cdot z_{itn} + \quad (3.2)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{b \in B} FC^b \cdot nv_i^b + \quad (3.3)$$

$$\beta \sum_{i \in K} \sum_{j \in K \mid j \neq i} \sum_{t \in H} \sum_{b \in B} \sum_{v \in V} c_{ij}^b \cdot x_{ijtv}^b \quad + \quad (3.4)$$

$$\theta \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \sum_{t \in H} h_{itn} \cdot q_{itn} \quad + \quad (3.5)$$

$$\gamma \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} \sum_{t \in H} h_{jtn} \cdot q_{jtn} \quad (3.6)$$

Kısıtlar

$$q_{i(t-1)n} + s_{itn} - \sum_{j \in J} \sum_{b \in B} \sum_{v \in V} w_{ijtnv}^b = q_{itn} \quad \forall i \in I, \forall t \in H, \forall n \in N \quad (3.7)$$

$$q_{j(t-1)n} + \sum_{i \in I} \sum_{b \in B} \sum_{v \in V} w_{ijtnv}^b - d_{jtn} = q_{jtn} \quad \forall j \in J, \forall t \in H, \forall n \in N \quad (3.8)$$

$$q_{i0n} = IS_{in} \cdot \sum_{e \in E} y_i^e \quad \forall i \in I, \forall n \in N \quad (3.9)$$

$$q_{j0n} = IS_{jn} \quad \forall j \in J, \forall n \in N \quad (3.10)$$

$$\sum_{n \in N} (q_{i(t-1)n} + s_{itn}) \leq \sum_{e \in E} W_i^e \cdot y_i^e \quad \forall i \in I, \forall t \in H \quad (3.11)$$

$$\sum_{n \in N} \left(q_{j(t-1)n} + \sum_{b \in B} \sum_{v \in V} w_{ijtnv}^b \right) \leq W_j \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in H \quad (3.12)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} w_{ijtnv}^b \leq Q^b \quad \forall t \in H, \forall b \in B, \forall v \in V \quad (3.13)$$

$$s_{itn} \leq \max_{e \in E} (W_i^e) \cdot z_{itn} \quad \forall i \in I, \forall t \in H, \forall n \in N \quad (3.14)$$

$$\sum_{b \in B} \sum_{v \in V} w_{ijtnv}^b \leq f_{ij} \cdot \sum_{l=t}^p d_{jln} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in H, \forall n \in N \quad (3.15)$$

$$\sum_{n \in N} w_{ijtnv}^b \leq \text{enküçük}(Q^b, W_j) \cdot \sum_{k \in J} x_{iktv}^b \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in H, \forall b \in B, \forall v \in V \quad (3.16)$$

$$\sum_{n \in N} w_{ijtnv}^b \leq \text{enküçük}(Q^b, W_j) \cdot \sum_{k \in \frac{J}{\{j\}} \cup \{i\}} x_{k j t v}^b \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in H, \forall b \in B, \\ \forall v \in V \quad (3.17)$$

$$\sum_{i \in I} f_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (3.18)$$

$$f_{ij} \leq \sum_{e \in E} y_i^e \quad \forall j \in J, \forall i \in I \quad (3.19)$$

$$\sum_{e \in E} y_i^e \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (3.20)$$

$$\sum_{j \in K \mid j \neq i} x_{j i t v}^b - \sum_{j \in K \mid j \neq i} x_{i j t v}^b = 0 \quad \forall i \in K, \forall t \in H, \forall b \in B, \forall v \in V \quad (3.21)$$

$$\sum_{i \in K \mid i \neq j} \sum_{b \in B} \sum_{v \in V} x_{j i t v}^b \leq 1 \quad \forall j \in J, \forall t \in H \quad (3.22)$$

$$\sum_{i \in K \mid i \neq j} \sum_{b \in B} \sum_{v \in V} x_{i j t v}^b \leq 1 \quad \forall j \in J, \forall t \in H \quad (3.23)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{i j t v}^b \leq 1 \quad \forall t \in H, \forall b \in B, \forall v \in V \quad (3.24)$$

$$x_{i j t v}^b = 0 \quad \forall i, j \in I, \forall t \in H, \forall b \in B, \forall v \in V, i \neq j \quad (3.25)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{v \in V} x_{i j t v}^b \leq n v_i^b \quad \forall i \in I, \forall t \in H, \forall b \in B \quad (3.26)$$

$$\sum_{k \in J} x_{i k t v}^b + \sum_{k \in K / \{j\}} x_{k j t v}^b - f_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in H, \forall b \in B, \forall v \in V \quad (3.27)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ijtv}^b \leq \sum_{e \in E} y_i^e \quad \forall i \in I, \forall t \in H, \forall b \in B, \forall v \in V \quad (3.28)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in H} \sum_{b \in B} \sum_{v \in V} x_{ijtv}^b \geq \sum_{e \in E} y_i^e \quad \forall i \in I \quad (3.29)$$

$$u_{itv}^b - u_{jtv}^b + |J| \cdot x_{ijtv}^b \leq |J| - 1 \quad \forall i, j \in J, \forall t \in H, \forall b \in B, \forall v \in V, i \neq j \quad (3.30)$$

$$y_i^e \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall e \in E \quad (3.31)$$

$$f_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3.32)$$

$$z_{itn} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall t \in H, \forall n \in N \quad (3.33)$$

$$x_{ijtv}^b \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in K, \forall t \in H, \forall b \in B, \forall v \in V, i \neq j \quad (3.34)$$

$$s_{itn} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall t \in H, \forall n \in N \quad (3.35)$$

$$w_{ijtnv}^b \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in H, \forall n \in N, \forall b \in B, \forall v \in V \quad (3.36)$$

$$q_{ktn} \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall t \in H, \forall n \in N \quad (3.37)$$

$$nv_i^b \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall b \in B \quad (3.38)$$

$$u_{jtv}^b \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall t \in H, \forall b \in B, \forall v \in V \quad (3.39)$$

$$\sum_{k \in K \mid k \neq j} x_{kjt看}^b \leq \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} w_{ijtnv}^b \quad \forall j \in J, \forall t \in H, \forall b \in B, \forall v \in V \quad (3.40)$$

Amaç fonksiyonuna ilişkin; Eş. 3.1 ile dağıtım merkezleri kurulum ve işletme maliyeti, Eş. 3.2 ile dağıtım merkezlerindeki ürün tedarik maliyeti, Eş. 3.3 ile araç sabit kullanım/tedarik maliyeti, Eş. 3.4 ile ürün dağıtım maliyeti, Eş. 3.5 ile dağıtım merkezlerine ve Eş. 3.6 ile de perakendecilere ait stok tutma ve eskime maliyeti ifade edilmiştir.

Eş. 3.7 numaralı kısıt ile dağıtım merkezleri, Eş. 3.8 numaralı kısıt ile de perakendeciler için stok denge denklemleri ifade edilmektedir. Eş. 3.9 ve Eş. 3.10 numaralı kısıtlar dağıtım merkezleri ve perakendecilerin dönem başı stoklarını atamaktadır. Eş. 3.11 numaralı kısıt ile dağıtım merkezlerine ait, Eş. 3.12 numaralı kısıt ile perakendecilere ait ve Eş. 3.13 numaralı kısıt ile de araçlara ait kapasitelerin aşılamayacağı ifade edilmiştir. Eş. 3.14 numaralı kısıt dağıtım merkezlerinin üreticilerden ürün tedariki yapmasını sağlamaktadır. Eş. 3.15 numaralı kısıt ise perakendecilerin yalnızca atandıkları dağıtım merkezinden ürün almalarını sağlamaktadır. Eş. 3.16 ve Eş. 3.17 numaralı kısıtlarla ürün dağıtımı yapılan perakendecilerin araçlar tarafından ziyaret edilmesi sağlanmaktadır.

Eş. 3.18 numaralı kısıt her bir perakendecinin tüm dönemler boyunca yalnız bir dağıtım merkezine atanabileceğini ifade etmektedir. Eş. 3.19 numaralı kısıt, perakendecilerin sadece açılan dağıtım merkezlerine atanmasını sağlamaktadır. Eş. 3.20 numaralı kısıt, her dağıtım merkezinin yalnızca bir kapasite seviyesinde açılması koşulunu belirtmektedir.

Eş. 3.21 numaralı kısıt her ziyaret edilen düğümden aynı zamanda çıkılması gerektiğini ifade etmektedir. Eş. 3.22 ve Eş. 3.23 numaralı kısıtlar; her bir dönemde, her bir perakendeciye yalnız bir aracın uğrayabileceği koşulunu sağlamaktadır. Eş. 3.24 numaralı kısıt her bir aracın her bir dönemde en fazla bir tur yapabileceği koşulunu ifade etmektedir. Eş. 3.25 numaralı kısıt ile dağıtım merkezleri arasında rotalamanın söz konusu olmadığı koşulu sağlanmaktadır. Eş. 3.26 numaralı kısıt ile her bir dağıtım merkezi tarafından tüm dönemler kapsamında kullanılan araç sayıları bulunmaktadır. Eş. 3.27 numaralı kısıt, herhangi bir perakendecinin herhangi bir dağıtım merkezine rotasal olarak ilişkilendirilebilmesinin ancak ve ancak o perakendecinin ilişkilendirileceği dağıtım merkezine atanması şartıyla mümkün olabileceğini ifade etmektedir. Eş. 3.28 ve Eş. 3.29 numaralı kısıtlarla sadece açık olan dağıtım merkezlerinden rotalama yapılabileceği koşulu sağlanmaktadır. Eş. 3.30 numaralı kısıt alt tur engelleme kısıtıdır. Bu kısıt ile her bir rotada bir dağıtım merkezinin olması zorunluluğu ifade edilmiştir. Eş. 3.31 - Eş. 3.39 numaralı kısıtlar ise değişkenlerin alabilecekleri değerleri gösteren kısıtlardır.

Eş. 3.40 numaralı kısıt ile ürün dağıtımı yapılmayan perakendecilerin araçlar tarafından ziyaret edilmesi engellenmektedir. Bu kısıt düğümler arasındaki maliyetlere ilişkin üçgensel eşitsizliğin $(dist_{ij} \leq dist_{ik} + dist_{kj})$ sağlanmadığı durumlar söz konusu olduğu zaman kullanılmalıdır. Örnek problemlerin oluşturulmasında kullanılan

parametreler böyle bir duruma imkân sağlamadığından bu kısıt modele eklenmemiş, yalnızca bilgilendirme maksadıyla verilmiştir.

3.3. Geçerli Eşitsizlikler

Matematiksel modellerin çözüm sürelerini kısaltmak, elde edilen üst/alt sınırları iyileştirmek için geçerli eşitsizlikler tanımlanmaktadır. Gezgin Satıcı Problemi ve Araç Rotalama Problemi için geçerli olan eşitsizlikler Guerrero ve diğerleri (2013) tarafından yapılan çalışmada da belirtildiği gibi, perakendecilere dağıtım yapılacak ürün miktarları ve dönemsel ziyaret edilen perakendeciler karar değişkenlerinden dolayı YS_ERP 'e ve bu problemin çok ürünlü hali olan $\dot{C}\ddot{U}_YS_ERP$ 'e uygulanamaz. Envanter Rotalama Problemi için geçerli olan eşitsizlikler de benzer şekilde; $\dot{C}\ddot{U}_YS_ERP$ 'e ait modelde birim stok tutma ve eskime maliyetinin zamana bağımlı olması, birden fazla dağıtım merkezi olması ve dağıtım merkezlerinin aday dağıtım merkezi olması sebeplerinden dolayı $\dot{C}\ddot{U}_YS_ERP$ 'e uygulanamaz. Bu kısıtlamalara rağmen Guerrero ve diğerleri (2013) tarafından YS_ERP için önerilen iki geçerli eşitsizlik $\dot{C}\ddot{U}_YS_ERP$ 'e uyarlanmıştır.

Teorem 1. Eş. 3.41 ile ifade edilen eşitsizlik deterministik talepli $\dot{C}\ddot{U}_YS_ERP$ için geçerlidir.

$$\text{enküçük}_{b \in B} \left(\text{enbüyük}(Q^b), \text{enbüyük}(W_i^e) \right) \cdot \sum_{b \in B} \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} x_{ijtv}^b \geq \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} \sum_{b \in B} \sum_{v \in V} w_{ijtnv}^b$$

$$\forall i \in I, \forall t \in H \quad (3.41)$$

İspat. *i.* ADM tarafından ürün taleplerini karşılamak için t döneminde perakendecilere ürün dağıtım yapılacaksa, yani $\sum_{n \in N} \sum_{j \in J} \sum_{b \in B} \sum_{v \in V} w_{ijtnv}^b > 0$ ise:

- t döneminde $i.$ ADM'den en az $\sum_{n \in N} \sum_{j \in J} \sum_{b \in B} \sum_{v \in V} w_{ijtnv}^b / \text{enbüyük}_{b \in B}(Q^b)$ araç çıkmalıdır. Yani $\sum_{b \in B} \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} x_{ijtv}^b \geq \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} \sum_{b \in B} \sum_{v \in V} w_{ijtnv}^b / \text{enbüyük}_{b \in B}(Q^b).$

Bu durum araç kapasitesinin sıkı olduğu durumdur.

$$\left(\text{enküçük}_{b \in B} \left(\text{enbüyük}(Q^b), \text{enbüyük}(W_i^e) \right) \right) = \text{enbüyük}_{b \in B}(Q^b)$$

- t döneminde i . ADM'den en az bir araç çıkmalıdır. Yani $\sum_{b \in B} \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} x_{ijtv}^b \geq \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} \sum_{b \in B} \sum_{v \in V} w_{ijtnv}^b / \text{enbüyük}(W_i^e)_{e \in E}$. Bu durum araç kapasitesinin gevşek olduğu durumdur.

$$(\text{enküçük} \left(\text{enbüyük}(Q^b)_{b \in B}, \text{enbüyük}(W_i^e)_{e \in E} \right)) = \text{enbüyük}(W_i^e)_{e \in E}$$

Teorem 2. Aşağıdaki eşitsizlik deterministik talepli ÇÜ_YS_ERP için geçerlidir.

$$\sum_{i \in K | i \neq j} \sum_{b \in B} \sum_{v \in V} \sum_{l=1}^t x_{ijlv}^b \geq \left\lceil \frac{\sum_{n \in N} \sum_{l=1}^t d_{jln} - \sum_{n \in N} IS_{jn}}{\text{enbüyük}(Q^b)_{b \in B}} \right\rceil \quad \forall j \in J, \forall t \in H \quad (3.42)$$

İspat. Her bir perakendeci her bir t dönemine kadar en az kendi dönem başı stok miktarlarından karşılanamayan ürün taleplerine ait toplamın en büyük araç kapasitesine bölünmesiyle elde edilen sayı kadar ziyaret edilmelidir.

4. ÇÜ_YS_ERP'İN ÇÖZÜLMESİ

4.1. Örnek Problemlerin Oluşturulması

Literatürde ÇÜ_YS_ERP kapsamında kullanılan örnek problemler bulunmadığından bu çalışmada örnek problemler küçük, orta ve büyük boyutlu problemler olmak üzere 3 ana kategoride rassal olarak oluşturulmuştur. Problem boyutuna göre farklılık gösteren parametrelerin aldıkları değerler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Örnek problem tipleri

		ADM Sayısı	Perakendeci Sayısı	Dönem Sayısı	Ürün Sayısı
Problem Tipi	Küçük	5	50	3	3
	Orta	15	100	5	5
	Büyük	20	150	7	7

Örnek problemler oluşturulurken kullanılan parametreler ve bu parametrelere değer atamasında kullanılan aralıklara ilişkin bilgiler aşağıda sunulmuştur. Kullanılan sabit değerler, güncel hayattaki uygulamalara ve Guerrero et al. (2013) çalışmasında kullanılan değerlere dayanmaktadır. Örnek problemler *I-J-H-N-ID* şeklinde isimlendirilmiştir. *I* örnek problemdeki ADM sayısını, *J* perakendeci sayısını, *H* dönem sayısını, *N* ürün sayısını ve son olarak *ID* ise o gruptaki örnek problem numarasını göstermektedir. “,” dizi elemanların ayırımında kullanıldığı için küsurlü değerlerin gösteriminde “,” yerine “.” kullanılmıştır.

d_{jtn} : *j*. perakendecinin *t* döneminde *n*. ürüne olan talep miktarı $\sim \text{Norm}(\mu_{jn}, \sigma_{jn})$

μ_{jn} : *j*. perakendecinin *n*. ürüne ait dönemsel talep miktarının ortalaması $\sim \text{Uniform}(5, 15)$

σ_{jn} : *j*. perakendecinin *n*. ürüne ait dönemsel talep miktarının standart sapması

$\sigma_{jn} \sim \text{Uniform}(0, 5)$

$(X_n, Y_n), (X_k, Y_k)$: *n*. üreticinin veya *k*. düğümün konumu $\sim \text{Uniform}(0, 99)$

$$dist_{ij} : i - j \text{ ayrıtının uzunluğu} = \text{NINT} \left(10 \cdot \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \right)$$

NINT fonksiyonu aldığı sayıyı en yakın tamsayıya yuvarlar.

$$h_{it(t+1)n} : i. \text{ADM}'de t \text{ dönemi için birim stok tutma maliyeti} \sim \text{Uniform} (0.1, 0.4)$$

$$h_{jt(t+1)n} : j. \text{perakendecide } t \text{ dönemi için birim stok tutma maliyeti} \sim \text{Uniform} (0.5, 0.9)$$

$$\varepsilon : \text{Düğümlerdeki dönemlik birim eskime maliyeti} \sim \text{Uniform} (0.01, 0.02)$$

$$h_{ktn} : k. \text{düğümde } t \text{ dönemi için } n. \text{ürüne ait birim stok tutma ve eskime maliyeti toplamı}$$

$$(\forall k \in K, \forall t \in H, \forall n \in N)$$

$$h_{ktn} = h_{kt(t+1)n} + \varepsilon$$

$$W_i^e : e \text{ kapasite seviyesinde açılan } i. \text{ADM'nin kapasitesi}$$

$$W_i^e = \text{NINT}(DCFQ^e \cdot DCVWQ \cdot topD / |I|)$$

$$DCFQ^e : e \text{ kapasite seviyesi için sabit kapasite çarpanı, } DCFQ = \{1, 1.5, 2\}$$

$$DCVWQ : \text{ADM değişken kapasite çarpanı} \sim \text{Uniform} (0.6, 1.2)$$

$$topD : \text{Toplam talep miktarı, } topD = \sum_{j \in J} \sum_{t \in H} \sum_{n \in N} d_{jtn}$$

$$OC_i^e : e \text{ kapasite seviyesinde açılan } i. \text{ADM'nin kurulum maliyeti}$$

$$OC_i^e = \text{NINT}(DDCVOC \cdot OCFQ^e)$$

$$DCVOC : \text{ADM değişken kurulum maliyeti} \sim \text{Uniform} (10000, 16000)$$

$$OCFQ^e : e \text{ kapasite seviyesi için sabit kurulum maliyeti çarpanı}$$

$$OCFQ = \{1, 1.35, 1.65\}$$

MCQ_i : i . ADM'nin dönemlik işletme maliyeti çarpanı $\sim$ Uniform (0.01, 0.02)

$$W_j : j. \text{ perakendecinin kapasitesi} = \text{NINT} \left(RVQ_j \cdot \text{enbüyük}_{t \in H} \left(\sum_{n \in N} d_{jtn} \right) \right)$$

RVQ_j : j . perakendecinin değişken kapasite çarpanı $\sim$ Uniform (1.5, 3)

IS_{in} : i . ADM'deki n . ürüne ait dönem başı stok miktarı

$$IS_{in} \left\{ 0, \text{NINT} \left(\left(\sum_{j \in J} \sum_{t \in H} d_{jtn} \right) / |J| \right) \right\} \text{ kümesinden rassal olarak seçilmektedir.}$$

IS_{jn} : j . perakendecideki n . ürüne ait dönem başı stok miktarı

$IS_{jn} \{0, d_{j1n}\}$ kümesinden rassal olarak seçilmektedir.

$|V|$: her bir araç tipi için araç sayısı, $|V| = |J|$

$$\text{Enküçük}(Q^b) : \text{en küçük aracın kapasitesi} = \text{NINT} \left(\text{ODP}(\mu_{jn}) \cdot |n| \cdot VFQQ^0 \cdot VVQQ \right)$$

ODP fonksiyonu aldığı dağılım parametresinin alt ve üst değerlerinin ortalamasını verir.

$VFQQ$: araç tipleri sabit kapasite çarpanları $= \{1.2, 1.8, 2.4\}$

$VVQQ$: araç tipleri için değişken kapasite çarpanı $\sim$ Uniform (1, 2)

Araç tiplerinden kapasitesi en düşük olan araç kapasitesinin, dönemlik perakendeci toplam ürün talebinin maksimum değerinden küçük olmaması sağlanır.

Q^b : b tipindeki aracın (en küçük araç hariç) kapasitesi

$$Q^b = \text{NINT}(\text{Enküçük}(Q^b) / VFQQ^0 \cdot VFQQ^b)$$

c : araç tipleri birim yol kat etme maliyetleri = $\{1, 1.2, 1.4\}$

c_{ij}^b : $i - j$ ayrıtının b tipindeki araç tarafından kat edilme maliyeti = $NINT(c^b \cdot dist_{ij})$

FC^b : b tipindeki aracın sabit kullanım/tedarik maliyeti, $FC^b = NINT(VFCQ^b \cdot VFBUC)$

$VFCQ$: araç tipleri sabit maliyet çarpanları kümesi = $\{1.5, 2, 2.5\}$

$VFBUC$: sabit temel araç kullanım/tedarik maliyeti $\sim$ Uniform (2000, 4000)

RC_{in} : i . ADM tarafından n . ürünün tedarik maliyeti = $NINT(\text{Uniform}(50, 100)) + dist_{in}$

4.2. Matematiksel Modelin Analizi

Bu çalışma kapsamında önerilen algoritmalar Eclipse Neon.3 geliştirme ortamında Java programlama dilinde kodlanmış, matematiksel modeller IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Ver. 12.8.0 paketinin PRESOLVE ve HEURISTIC seçenekleri açık tutularak çözülmüştür. Tüm analizler Intel Xeon E5-2640 v4 (32 2.40 GHz çekirdek) işlemci, 64 GB RAM'e sahip 64 bit Windows 10 Professional işletim sistemi kurulu bilgisayar üzerinde yapılmıştır. Örnek problemleri daha kısa sürede çözmek maksadıyla karar değişkenlerine farklı kombinasyonlarda dallanma öncelikleri verilerek birçok ön deneme yapılmıştır. Öncelik değerinin büyük olması ilgili karar değişkeninden dallanmanın diğerlerine nazaran daha erken gerçekleşeceği anlamına gelmektedir. Yapılan ön denemeler sonucunda M1 modeline ait karar değişkenlerinin öncelik (ön) sıralamasının:

$$\text{ön}_{y_i^e} > \text{ön}_{f_{ij}} > \text{ön}_{z_{itn}} > \text{ön}_{s_{itn}} > \text{ön}_{w_{ijtnv}^b} > \text{ön}_{x_{ijtv}^b} > \text{ön}_{u_{jtv}^b} > \text{ön}_{q_{ktn}} > \text{ön}_{nv_i^b}$$

şeklinde düzenlenmesinin çözüm sürelerini kısalttığı tespit edilmiştir. Bu nedenle bu düzenleme M1 modelinin matematiksel çözüm prosedürüne dâhil edilmiştir.

4.2.1. Matematiksel modelin doğrulaması

M1 modelinin doğrulanması ve model hakkında bilgi edinilmesi maksadıyla çözülen çok küçük boyutlu örnek probleme ait veriler Çizelge 4.2'de yer almaktadır.

Şekil 4.1 - Şekil 4.3'te de tüm dönemler kapsamında tedarik edilen ürün miktarları, dağıtımı yapılan ürün miktarları ve bu dağıtımların yapılmasında kullanılan araç rotaları gösterilmiştir.



Çizelge 4.3. Çok küçük boyutlu örnek problemin çözümü

		ADM 1			ADM 2			ADM 3			Kapalı Açık							
		1. SEV.	2. SEV.	3. SEV.	1. SEV.	2. SEV.	3. SEV.	1. SEV.	2. SEV.	3. SEV.								
		KAPASİTESİ	81	121	162	114	171	228	113	169								226
		AÇ.DÜR.																TOPLAM
DÖN.B.ST.MİK.	1. ÜRÜN	31			31			0			62							
	2. ÜRÜN	30			0			0			30							
DÖNEMLER		1. DÖN.	2. DÖN.	3. DÖN.	1. DÖN.	2. DÖN.	3. DÖN.	1. DÖN.	2. DÖN.	3. DÖN.	TOPLAM							
DÖN.B.ST. KUL.ÜR.MİK.	1. ÜRÜN				27	4					31							
	2. ÜRÜN										0							
TED.ED.ÜR.MİK.	1. ÜRÜN				64		56				120							
	2. ÜRÜN				19	88					107							
DAĞ.ÜR.MİK.	1. ÜRÜN				91	4	56				151							
	2. ÜRÜN				19	56	32				107							
		PERA. 1			PERA. 2			PERA. 3			PERA. 4			PERA. 5			TOPLAM	
		ADM 2			ADM 2			ADM 2			ADM 2			ADM 2				
		KAPASİTE			85			38			40			30				
DÖN.B.ST.MİK.	1. ÜRÜN	0			0			0			0			5			5	
	2. ÜRÜN	6			16			6			19			0			47	
DÖNEMLER		1. DÖN.	2. DÖN.	3. DÖN.	1. DÖN.	2. DÖN.	3. DÖN.	1. DÖN.	2. DÖN.	3. DÖN.	1. DÖN.	2. DÖN.	3. DÖN.	1. DÖN.	2. DÖN.	3. DÖN.	TOPLAM	
ÜRÜN TALEP MİK.	1. ÜRÜN	10	9	14	15	14	12	14	8	11	6	5	3	5	14	16	156	
	2. ÜRÜN	6	5	3	16	16	16	6	12	10	19	9	2	14	11	9	154	
DÖN.B.ST. KUL.ÜR.MİK.	1. ÜRÜN													5			5	
	2. ÜRÜN	6			16			6			19						47	
TES.ALİ.ÜR.MİK.	1. ÜRÜN	19		14	29		12	21	1	11	11		3	11	3	16	151	
	2. ÜRÜN	5		3		16	16		18	4		11		14	11	9	107	
		KAMYON			KIRKAYAK			TIR										
		GER.OL.TOP.AR.SAY.			2	0	0											
		ADM KUR. VE İŞLT.MLYT.TOP.		AR.SB. KUL./TED. MLYT.TOP.		ÜR.TED.MLYT.TOP.		ADMST.TUT. VE ESK.MLYT.TOP.		PERA.ST.TUT. VE ESK.MLYT.TOP.		DAĞITIM MLYT.TOP.		TOPLAM MLYT.				
DEĞERİ		8389,84		454		1790		11,87		41,92		4368		15055,63				
YÜZDESİ		55,73		3,02		11,89		0,08		0,28		29,01		100,00				

AÇ.DÜR.: Açılma Durumu

ADM: Aday Dağıtım Merkezi

ADMST.TUT. VE ESK.MLYT.TOP.: Aday Dağıtım Merkezi Stok Tutma ve Eskime Maliyeti Toplamı

ADMKUR. VE İŞLT.MLYT.TOP.: Aday Dağıtım Merkezi Kurulum ve İşletme Maliyeti Toplamı

AR.SB.KUL./TED. MLYT.TOP.: Araç Sabit Kullanım/Tedarik Maliyeti Toplamı

AT.ADM: Atandığı Aday Dağıtım Merkezi

DAĞ.ÜR.MİK.: Dağıtılan Ürün Miktarı

DAĞITIM MLYT.TOP.: Dağıtım Maliyeti Toplamı

DÖN.: Dönem

DÖN.B.ST.MİK.: Dönem Başı Stok Miktarı

DÖN.B.ST.KUL.ÜR.MİK.: Dönem Başı Stokundan Kullanılan Miktarı

GER.OL.TOP.AR.SAY.: Gerekli Olan Toplam Araç Sayısı

PERA.: Perakendeci

PERA.ST.TUT. VE ESK.MLYT.TOP.: Pera. Stok Tutma ve Eskime Maliyeti Toplamı

SEV.: Seviye

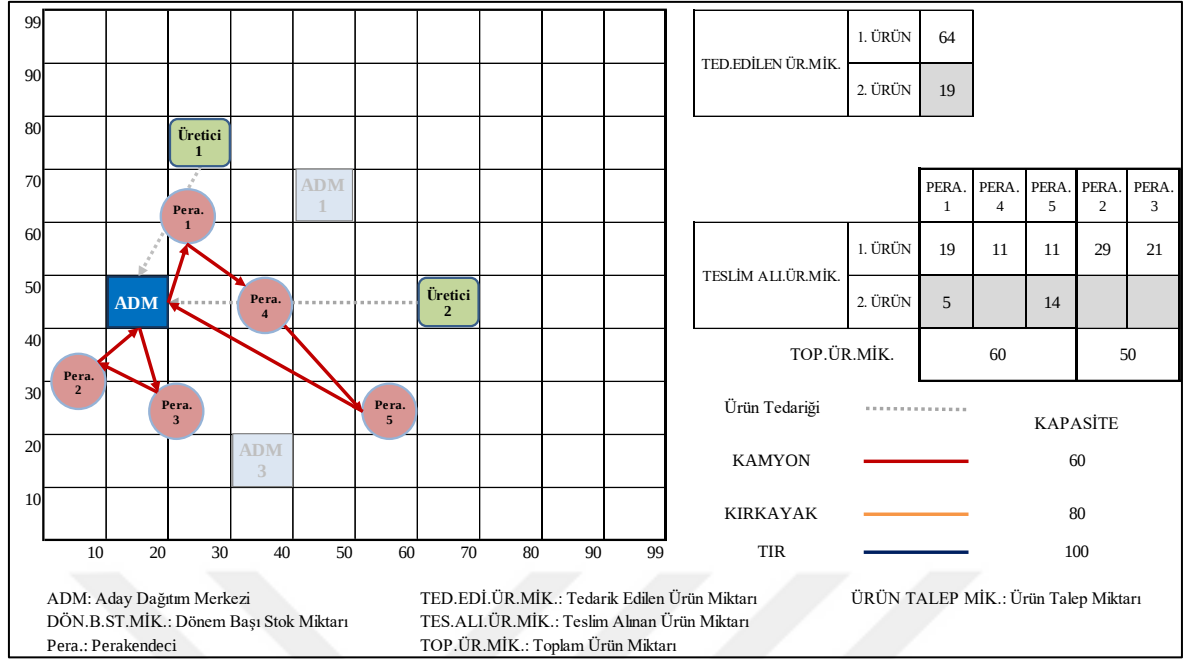
TES.ALİ.ÜR.MİK.: Teslim Alınan Ürün Miktarı

TED.ED.ÜR.MİK.: Tedarik Edilen Ürün Miktarı

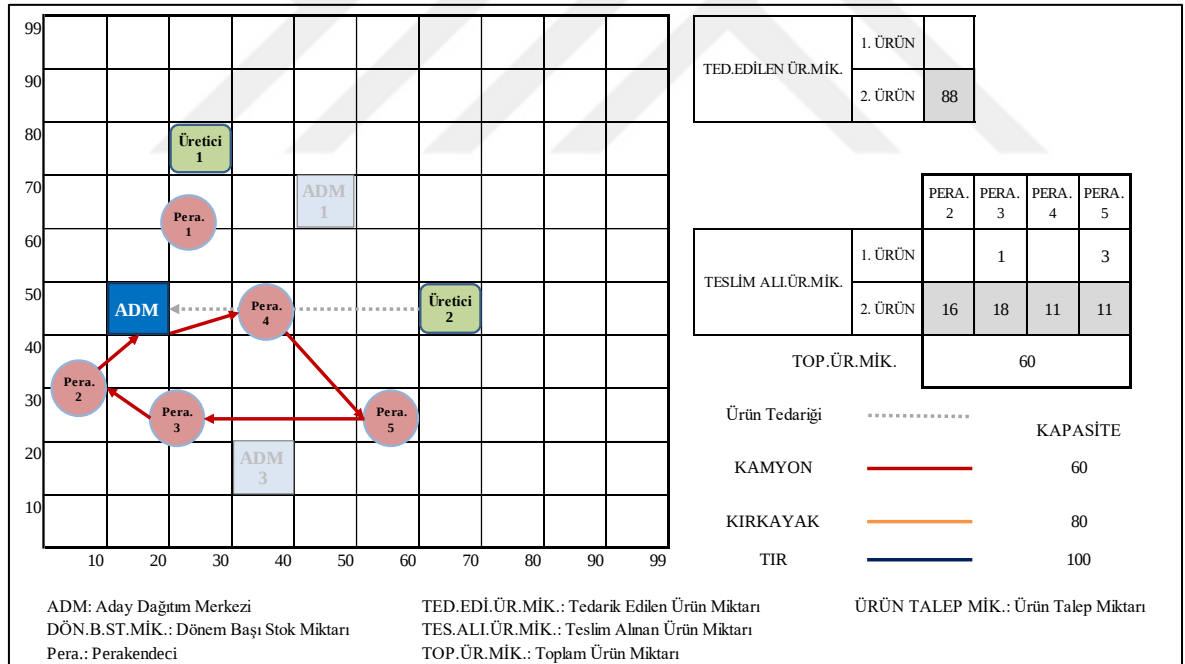
TOPLAM MLYT.: Toplam Maliyet

ÜRÜN TALEP MİK.: Ürün Talep Miktarı

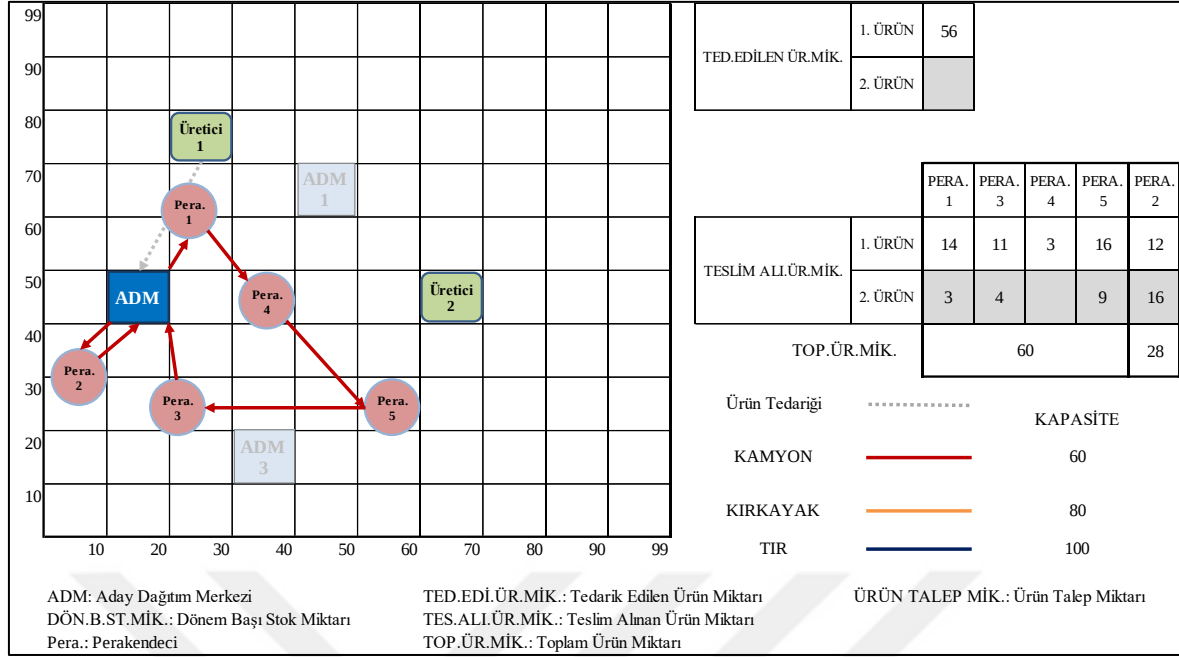
ÜR.TED.MLYT.TOP.: Ürün Tedarik Maliyeti



Şekil 4.1. Birinci dönem ürün tedarikleri ve araç rotaları



Şekil 4.2. İkinci dönem ürün tedarikleri ve araç rotaları



Şekil 4.3. Üçüncü dönem ürün tedarikleri ve araç rotaları

4.2.2. Geçerli eşitsizliklere ilişkin analiz

M1 modeli için önerilen geçerli eşitsizlikler; her iki geçerli eşitsizliğin modele dâhil edildiği durum, sadece birinci geçerli eşitsizliğin modele dâhil edildiği durum, sadece ikinci geçerli eşitsizliğin modele dâhil edildiği durum ve son olarak her iki geçerli eşitsizliğin de modele dâhil edilmediği durum olmak üzere olası dört farklı durum için incelenmiştir. 3 ADM, 5 perakendeci, 2 ürün ve 3 dönemin söz konusu olduğu 15 adet örnek problemin en iyi çözümü verecek şekilde çözülmesi sonucu M1 modeli için elde edilen değerler Çizelge 4.4'te sunulmuştur.

Çözüm sürelerine bakıldığında her iki geçerli eşitsizliğin aktif olduğu durumda, ortalama ve minimum çözüm süresinin düşük, maksimum çözüm süresinin yüksek olduğu ve beş örnek problemin en kısa sürede çözüldüğü görülmektedir. Sadece ikinci geçerli eşitsizliğin aktif olduğu durumda, en kötü ortalama ve maksimum çözüm süreleri elde edilmiş, minimum çözüm süresi artmış ve yalnız üç örnek problem en kısa sürede çözülmüştür. Sadece birinci geçerli eşitsizliğin aktif olduğu durumda, en iyi ortalama, minimum ve maksimum çözüm sürelerinin elde edilmesine rağmen yalnızca dört örnek problem en kısa sürede çözülmüştür. Her iki geçerli eşitsizliğin pasif olduğu durumda ise ortalama, minimum ve maksimum çözüm sürelerinin yüksek olduğu, yalnız üç adet örnek problemin en kısa sürede çözüldüğü görülmektedir. Bu değerlendirmeler ışığında sadece birinci

geçerli eşitsizliğin olduğu durumda en iyi sonuçların elde edildiği, sadece ikinci geçerli eşitsizliğin olduğu durumda ise hemen hemen en kötü sonuçların elde edildiği, fakat sonuçların tam bir uyum içerisinde olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.4. M1 modeli için çözüm süreleri

	Pr. No	Her İki Geçerli Eşitsizlik Aktif	Sadece İkinci Geçerli Eşitsizlik Aktif	Sadece Birinci Geçerli Eşitsizlik Aktif	Her İki Geçerli Eşitsizlik Pasif
Çözüm Süresi (sn)	1	185,1	125,0	152,2	184,7
	2	305,3	275,9	224,8	214,0
	3	175,8	194,8	380,7	300,5
	4	1427,8	415,3	482,5	692,4
	5	543,7	1452,4	220,5	953,1
	6	237,1	211,0	220,1	131,6
	7	218,1	496,7	245,6	197,0
	8	57,5	125,0	145,2	142,2
	9	449,6	1288,9	541,6	1155,0
	10	546,6	1057,7	369,1	1343,4
	11	82,7	226,6	117,5	189,6
	12	241,6	193,2	227,1	323,1
	13	99,5	209,4	32,7	140,9
	14	137,7	262,8	145,6	165,5
	15	183,3	172,7	106,9	192,7
OÇS (sn)		326,1	447,2	240,8	421,7
MNÇS (sn)		57,5	125,0	32,7	131,6
MKÇS (sn)		1427,8	1452,4	541,6	1343,4

MNÇS: Minimum Çözüm Süresi, MKÇS: Maksimum Çözüm Süresi,

OÇS: Ortalama Çözüm Süresi

Çözüm süreleri analizine ilaveten yapılan problemlerin gevşetilmiş halinin çözülmesi ile elde edilen maliyetlerin problemlerin en iyi maliyetlerine göre yüzde sapma değerlerini içeren analiz sonuçları Çizelge 4.5'te sunulmuştur. Sonuçlara bakıldığında yüzde sapma değerinin birinci geçerli eşitsizliğin dâhil edildiği durumda ortalama %6,4, ikinci geçerli eşitsizliğin dâhil edildiği durumda ortalama %2,4, her iki geçerli eşitsizliğin dâhil edildiği durumda ortalama %8,7 azaldığı görülmektedir. Her iki analizin sonuçları birlikte değerlendirildiğinde birinci geçerli eşitsizliğin ikinci geçerli eşitsizliğe nazaran daha etkili olduğu, her iki geçerli eşitsizliğin M1 modeline dâhil edilmesinin örnek problemlerin çözüm süresini genel manada kısalttığı ve kısıtlı sürelerde daha iyi yüzde sapma

değerlerinin elde edilmesine imkân verdiği değerlendirilmektedir. Bu nedenle M1 modeline her iki geçerli eşitsizlik de dâhil edilmiştir.

Çizelge 4.5. M1 modeli için yüzde sapma değerleri

	Pr. No	Her İki Geçerli Eşitsizlik Aktif	Sadece İkinci Geçerli Eşitsizlik Aktif	Sadece Birinci Geçerli Eşitsizlik Aktif	Her İki Geçerli Eşitsizlik Pasif
Yüzde Sapma Değeri (YSD)	1	27,2	36,1	29,2	38,1
	2	29,3	37,1	31,5	39,1
	3	29,3	35,1	32,4	38,8
	4	29,9	37,4	33,7	40,3
	5	26,8	33,8	28,1	36,0
	6	27,3	36,3	29,2	38,0
	7	28,2	33,7	31,8	37,8
	8	31,8	38,7	35,1	41,8
	9	34,9	38,8	36,7	40,8
	10	31,8	40,9	34,3	43,2
	11	25,9	32,1	27,8	34,3
	12	27,8	31,2	30,2	32,7
	13	28,2	34,4	29,8	35,8
	14	34,1	40,2	35,9	42,7
	15	33,0	34,1	34,3	36,0
OYSD		29,7	36,0	32,0	38,4
MNYSD		25,9	31,2	27,8	32,7
MKYSD		34,9	40,9	36,7	43,2

MNYSD: Minimum Yüzde Sapma Değeri, MKYSD: Maksimum Yüzde Sapma Değeri,
OYSD: Ortalama Yüzde Sapma Değeri

Diğer taraftan her iki geçerli eşitsizliğin M1 modeline dâhil edildiği durumda çözülen örnek problemlerin çözüm sürelerine bakıldığında; minimum çözüm süresinin 57,5 sn (yaklaşık 1 dak.), maksimum çözüm süresinin 1427,8 sn (yaklaşık 24 dak.), maksimum çözüm süresinin minimum çözüm süresine olan oranının yaklaşık 24 olduğu görülmektedir. Parametre değerleri aynı olan örnek problemlerin çözüm süreleri arasında bu şekilde büyük farklılığın olması problemlerin zorluk dereceleriyle ilgilidir. Problemlerin farklı zorluk derecelerine sahip olmasını sağlayan sebeplerin ise; özellikle üreticiler, ADM'ler ve perakendecilere ait konumlar, ADM'lere ait birim kapasite maliyeti, araç tiplerine göre kapasiteler ile araç sabit kullanım/tedarik maliyetlerinin farklı problemlerde birbirine yakın, birbirine uzak vb. değerler alabilmesi, bundan dolayı

açılacak ADM(ler)'in, tedarik ve dağıtım dönemlerinin ve buna bağlı olarak dönemsel muhtemel rota sayılarının değişkenlik göstermesi olduğu değerlendirilmektedir.

4.2.3. Önemli parametrelere ait değer artışlarına ilişkin analiz

ÇÜ_YS_ERP için önerilen M1 modeli $O(|K|^2 |J| |H| |B|)$ karmaşıklığında ikili karar değişkenine, $O(|I| |J|^2 |H| |N| |B|)$ karmaşıklığında ek karar değişkenine ve $O(|J|^3 |H| |B|)$ karmaşıklığında kısıta sahiptir. Karmaşıklık analizi sonucunda problemlerin çözüm süresini önemli ölçüde etkileyeceği düşünülen perakendeci, dönem ve ürün sayısı artışlarının çözüm kalitesine olan etkilerini incelemek maksadıyla yarım saat içerisinde çözülmeye çalışılan örnek problemlerin çözümlerine ilişkin yüzde sapma değerleri, Çizelge 4.6'da sunulmuştur. Örnek problemlerin tamamında ADM sayısı 3'tür.

Sonuçlara bakıldığında öncelikle aynı parametre değerlerine sahip olan örnek problemler için birbirinden çok farklı yüzde sapma değerlerinin elde edildiği, ikinci olarak ürün sayısı artışının, perakendeci veya dönem sayısı artışına nazaran ortalama yüzde sapma değerini daha az yükselttiği görülmektedir. Bazı durumlarda parametre değer artışları yüzde sapma değerini beklenen doğrultuda etkilemediğinden perakendeci ve dönem sayısı artışlarının yüzde sapma değerine yaptıkları etkiyi karşılaştırmak zor olmaktadır.

Yapılan tüm değerlendirmelere bakıldığında özetle; ÇÜ_YS_ERP'e ait çok küçük boyutlu örnek problemlerin en iyi çözümü verecek şekilde çözülmesi durumunda ortalama 326 sn (yaklaşık 5 dak.) harcandığı görülmektedir. Probleme ait modelin karmaşıklık analizi ile parametre değer artışlarının çözüm kalitesine olan etkisi analizi göz önünde bulundurulduğunda bu süre; özellikle perakendeci, ardından dönem sayısı, ardından ürün sayısı ve son olarak ADM sayısının artırılması ile hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu nedenle tüm boyutlardaki problemlerin makul süreler içinde kaliteli çözümler bulunacak şekilde çözülebilmesi maksadıyla çözüm metotlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda geliştirilen iki farklı sezgisel çözüm yöntemi müteakip kısımlarda incelenmiştir.

Çizelge 4.6. Önemli parametrelere ait değer artışlarının çözüm kalitesine etkisi

	Pr. No	Pera. Sayısı	Dönem Sayısı	Ürün Sayısı	YSD	Ort. YSD
1. Durum	1	6	3	2	19,0	17,5
	2				16,5	
	3				27,8	
	4				12,3	
	5				11,8	
2. Durum	1	5	4	2	22,8	17,6
	2				12,9	
	3				12,9	
	4				22,3	
	5				17,3	
3. Durum	1	5	3	3	18,5	15,0
	2				10,8	
	3				18,2	
	4				17,8	
	5				10,0	
4. Durum	1	6	4	2	25,7	27,6
	2				26,2	
	3				39,2	
	4				21,9	
	5				24,8	
5. Durum	1	6	3	3	18,7	22,6
	2				28,6	
	3				24,7	
	4				17,0	
	5				24,1	
6. Durum	1	5	4	3	23,8	25,9
	2				33,3	
	3				28,1	
	4				23,1	
	5				21,2	
7. Durum	1	6	4	3	18,8	29,9
	2				34,0	
	3				31,2	
	4				33,4	
	5				32,5	

YSD (Yüzde Sapma Değeri) = $100 * ((\text{Üst Sınır} - \text{Alt Sınır}) / \text{Üst Sınır})$, Ort.: Ortalama.

4.2.4. Modellerin karşılaştırılmasına ilişkin analiz

ÇÜ_YS_ERP için önerilen M1 modeli Guerrero ve diğerleri (2013) tarafından YS_ERP için önerilen modeli temel almaktadır. Temel alınan modelde yapılan bazı değişikliklerle yeni modeldeki karar değişken sayısı azaltılmış ve model daha anlaşılır hale sokulmuştur. M1 modeli ile tamamen Guerrero ve diğerleri (2013) tarafından önerilen YS_ERP modelini temel alarak üretilen M1^G modelini karşılaştırmak için beş adet 3-5-3-2 boyutunda örnek problem ILOG CPLEX çözücüsü ile optimum çözümü verecek şekilde çözülmüştür. Sonuçlar Çizelge 4.7’de sunulmuştur. Çizelgenin birinci sütununda örnek problemin ismi, 2-3. sütunlarında ise sırasıyla M1^G modeli ve M1 modeli ile elde edilen çözüm süreleri görülmektedir. Sonuçlara baktığımızda örnek problemlerin tamamında M1^G modeli ile elde edilen çözüm sürelerinin M1 modeli ile elde edilen çözüm sürelerinden yüksek olduğu ve ortalamada yaklaşık iki katlık bir farkın olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.7. ÇÜ_YS_ERP modellerinin karşılaştırılması

	M1 ^G modeli	M1 modeli
Örnek Problem	CPU (sn)	CPU (sn)
3-5-3-2-P1	298.6	170.6
3-5-3-2-P2	1284.2	453.7
3-5-3-2-P3	484.4	161.7
3-5-3-2-P4	739.5	559.9
3-5-3-2-P5	546.2	423.9
Ortalama	670.6	353.9

4.3. Sıralı Sezgisel Çözüm Metodu

SSÇM, ÇÜ_YS_ERP kapsamında tüm boyutlardaki örnek problemleri çözmek, en iyi çözümler için üst sınır elde etmek ve hibrit sezgisel çözüm metodunu değerlendirmek amacıyla geliştirilmiştir. SSÇM’ye ilişkin algoritmanın yer aldığı prosedür Şekil 4.4’te görülmektedir. Prosedürde öncelikle Şekil 4.5’te sunulan *rotalarHaricSıraliCozumOlustur* prosedürü aracılığıyla yer seçimi, atama ve envanter yönetimi kararları bulunmakta, ardından envanter yönetimi kararları ışığında gerekiyorsa açık dağıtım merkezleri (DM)’nin kapasite seviyeleri olması gereken seviyelere indirilmekte ve son olarak *arRotalariniBul* prosedürüyle dönemsel araç rotaları bulunmaktadır. Yer seçimi, atama ve envanter yönetimi kararları deterministik bulunduğundan her bir koşum için aynı, araç

rotaları ise stokastik bulunduğundan her bir koşum için farklı (çok düşük olasılıkla aynı) olmaktadır.

Prosedür: *siraliCoz* (ÇÜ_YS_ERP’i sıralı sezgisel yöntemle çözen prosedür)

Girdi: ÇÜ_YS_ERP’e ait veriler

Çıktı: ÇÜ_YS_ERP’e ait tüm kararları belirlenmiş sıralı sezgisel çözüm

Adım 0: *rotalarHaricSiraliCozum* $\leftarrow$ *rotalarHaricSiraliCozumOlustur()*

Adım 1: Tüm koşumlar için

- *mevSiraliCozum* $\leftarrow$ *rotalarHaricSiraliCozum*

- *arRotalariniBul(mevSiraliCozum)*

- Bulunan sıralı sezgisel çözümlere ilişkin değişkenleri güncelle.

Şekil 4.4. Sıralı sezgisel çözüm metodu

Prosedür: *rotalarHaricSiraliCozumOlustur* (Rotaları hariç sıralı çözümü oluşturan prosedür)

Girdi: ÇÜ_YS_ERP’e ait veriler

Çıktı: ÇÜ_YS_ERP’e ait yer seçimi, atama ve envanter yönetimi kararları belirlenmiş sıralı sezgisel çözüm

Adım 0: *yerSecveAtaKarBul* prosedürünü kullanarak oluşturulacak çözümün yer seçimi ve atama kararlarını belirle.

Adım 1: *envYonModKulEnvYonKarBul* prosedürünü kullanarak oluşturulacak çözümün envanter yönetimi kararlarını bul.

Adım 2: *acikDMlerGerKapSevGuncelle* prosedürünü kullanarak çözümdeki açık DM’lerin gerekiyorsa açıldıkları kapasite seviyelerini güncelle.

Şekil 4.5. Rotalar hariç sıralı sezgisel çözümü oluşturan prosedür

4.3.1. Yer seçimi ve atama kararlarının bulunması

Şekil 4.6’da sunulan yer seçimi ve atama kararlarının bulunduğu prosedürde öncelikle tüm ADM’ler için; tahmini kurulum/işletme, tedarik ve dağıtım maliyeti toplamını içeren tahmini toplam maliyet hesaplanmaktadır. Tahmini kurulum/işletme maliyeti ilgili ADM’ye ait farklı kapasite seviyelerindeki kurulum ve işletme maliyetlerinin ortalamasıdır. Tahmini tedarik maliyeti, tüm perakendecilerin maliyeti hesaplanan ADM’ye atandığı düşünülerek, tüm ürünler için perakendecilerin ve ADM’nin dönem başı stok seviyeleri göz önünde bulundurulduktan sonra hesaplanan gerekli tedarik sayısının ilgili tedarik maliyetiyle çarpılması sonucu elde edilen tedarik maliyetlerinin toplamıdır. Tahmini dağıtım maliyeti, ürün taleplerini karşılamak için en düşük kapasiteli araçla

perakendecilere doğrudan yapılan dağıtımların oluşturduğu toplam maliyettir. Maliyetlere ilişkin ağırlık faktörleri ilgili maliyetlere yansıtılmaktadır. ADM'lere ait tahmini toplam maliyetler bulunduğundan sonra, tüm dönemler kapsamında perakendeci talepleri açılacak ADM'lerce karşılanana kadar tahmini toplam maliyeti en düşük olan ADM'den başlamak üzere ADM'ler sırayla açılmaktadır. ADM'lerin kapasite seviyesi ihtiyaca göre en üst seviyeye çıkarılmaktadır. Açık DM'lere perakendeci ataması yapılırken öncelik DM'ye yakın olan perakendecilere verilmektedir. Prosedür sonlandığında; açık ve kapalı DM'ler, açık DM'lerin açıldıkları kapasite seviyeleri ve bu DM'lere atanan perakendeciler belirlenmiş olmaktadır.

Prosedür: yerSecveAtaKarBul (Yer seçimi ve atama kararlarının bulunması)

Girdi: ÇÜ_YS_ERP'e ait veriler

Çıktı: ÇÜ_YS_ERP'e ait yer seçimi ve atama kararları belirlenmiş çözüm

Adım 0: Tüm ürünler için

- Perakendecilere ait dönem başı stok miktarlarını çıkararak perakendecilere dağıtılması gereken ürün miktarını bul.

Adım 1: Tüm ADM'ler için

Tüm ürünler için

- Adım 0'da bulunan değerlerden sıradaki ADM'nin dönem başı stok miktarını çıkararak bu ADM'ce tedarik edilmesi gereken ürün miktarını bul.

Adım 2: Tüm ADM'ler için

- $aDMTahTedMlyt \leftarrow 0$

Tüm ürünler için

- Adım 1'de bulunan ADM'ce tedarik edilmesi gereken ürün miktarını, ADM'nin açılabilmesi kapasitelerinin ortalamasına bölüp ilgili ürün tedarik maliyeti ile çarptıktan sonra $aDMTahTedMlyt$ değişkenine ekle.

Adım 3: Tüm ADM'ler için

- $aDMTahKIMlyt \leftarrow ortalama$ (ADM'nin kurulum ve işletme maliyetleri)

Adım 4: Tüm ADM'ler için

- $aDMTahDagMlyt \leftarrow 0$

- Tüm perakendeciler için

- Perakendecinin dönem başı stoklarını çıkararak tüm ürünler kapsamında bulunan perakendeci toplam talebini en küçük araç kapasitesine böl.
- Önceki adımda bulunan değeri kapasitesi en küçük aracın birim yol kat etme maliyeti ve perakendecinin ADM'ye olan uzaklığıyla çarptıktan sonra $aDMTahDagMlyt$ değişkenine ekle.

Adım 5: Tüm ADM'ler için

- $aDMTahTopMlyt \leftarrow \alpha * aDMTahTedMlyt + \beta * aDMTahDagMlyt + aDMTahKIMlyt$
-

Şekil 4.6. Yer seçimi ve atama kararlarını bulan prosedür

-
- Adım 6:* Tüm ADM'leri *aDMler* listesine ekle. *aDMler* listesini ADM'lerin *aDMTahTopMlyt* değerine göre küçükten büyüğe doğru sırala.
- Adım 7:* Tüm perakendecileri *atanmamisPeraler* listesine ekle.
- Adım 8:* *acikDMler* ve *kapaliDMler* listelerini boş bir şekilde oluştur.
- Adım 9:* *aDMler* listesindeki tüm ADM'ler için
- Sıradaki ADM'yi *siraADM* değişkenine ata ve *kapaliDMler* listesine ekle.
 - *atanmamisPeraler* listesindeki perakendecileri *siraADM*'ye olan uzaklıklarına göre küçükten büyüğe doğru sırala.
 - *siraADM*'nin dönemlik doluluklarını sıfırla.
 - *siraADM*acildi $\leftarrow$ false
 - *gunAtanmamisPeraler* listesini oluştur.
- ADM'lerin açılabilceği tüm kapasite seviyeleri için
- *gunAtanmamisPeraler* listesini boşalt.
- atanmamisPeraler* listesindeki tüm perakendeciler için
- Sıradaki perakendeciyi *siraPera* değişkenine ata.
- Eğer *siraPera*'nin dönemlik talepleri *siraADM*'ce karşılanabiliyorsa
- Eğer (*siraADM*acildi == false) ise
- *siraADM*acildi $\leftarrow$ true
 - *siraADM*'yi *acikDMler* listesine ekle.
 - *siraADM*'yi *kapaliDMler* listesinden sil.
 - *siraADM*'nin açıldığı kapasite seviyesini döngüdeki kapasite seviyesine eşitle.
 - *siraPera*'yi *siraADM*'ye ata.
 - *siraADM*'nin dönemlik doluluklarını *siraPera*'ye göre güncelle.
- Değilse
- *siraPera*'yi *gunAtanmamisPeraler* listesine ekle.
 - *atanmamisPeraler* listesini boşalt.
 - *gunAtanmamisPeraler* listesi içeriğini *atanmamisPeraler* listesine ekle.
 - Eğer (*atanmamisPeraler* == $\emptyset$) ise
 - *aDMler* listesindeki *siraADM*'den sonraki tüm ADM'leri *kapaliDMler* listesine ekle.
 - Prosedürü sonlandır.
-

Şekil 4.6. (devam) Yer seçimi ve atama kararlarını bulan prosedür

4.3.2. Envanter yönetimi kararlarının belirlenmesi

SSÇM'de envanter yönetimi kararlarını bulmak amacıyla Guerrero ve diğerleri (2013)'nin yaptıkları çalışmadan da faydalanılarak M2 modeli geliştirilmiştir. Söz konusu model, yer seçimi ve atama kararlarını girdi olarak alan *envYonModKulEnvYonKarBul* prosedürünce kullanılmaktadır. Model ile açılan dağıtım merkezlerince kendilerine atanan perakendecilere doğrudan dağıtım yapılmış gibi tedarik edilecek dönemsel ürün

miktarları ile perakendecilere yapılacak dönemsel dağıtım miktarları bulunmaktadır. Modelin çözülmesiyle elde edilen çözüm doğrultusunda araç rotaları bulunacaktır.

ÇÜ_YS_ERP özdeş olmayan araç filosu varsayımını içerdiği için ve bu durum M1 modelinin çözüm süresini büyük ölçüde artırdığından M2 modelinde yalnızca en küçük kapasiteli aracın kullanıldığı varsayımı yapılmıştır. Örnek problemler oluşturulurken en düşük kapasiteli araç kapasitesinin perakendecilere ait dönemlik toplam ürün talebinin maksimum değerinden büyük veya eşit olması varsayımı yapıldığından M2 modelinde bu varsayımın yapılmasında bir sıkıntı bulunmamaktadır. Yalnızca, perakendecilere yapılan dönemsel dağıtım miktarı, en düşük kapasiteli araç kapasitesiyle sınırlandırıldığından sonraki dönemlere ait taleplerin perakendecilere önceden dağıtımının yapılması en düşük kapasiteli araç kapasitesi ile sınırlandırılmaktadır.

Dizin kümeleri

N : ürünler (üreticiler) kümesi,

I^o : açılan DM'ler kümesi,

J : perakendeciler kümesi,

J^i : açılan i . DM'ye atanan perakendeciler kümesi ($\forall i \in I^o, J^i \subseteq J$),

$K = I^o \cup J$: açılan DM'ler ve perakendeciler kümelerinin birleşimi,

$A = \{(i, j); i \in I^o, j \in J^i\}$: ayrıtlar kümesi,

$G = (K, A)$: ağırlıklandırılmış yönlü serim,

$H = \{1, 2, \dots, p\}$: dönemler kümesi,

$H^0 = \{0\} \cup H = \{0, 1, 2, \dots, p\}$: dönem başını da içeren dönemler kümesi.

Parametreler

E_i : açılan i . DM'nin açılmış olduğu kapasite seviyesi ($\forall i \in I^o, E_i \in E$),

I_j : j . perakendecinin atandığı DM ($\forall j \in J, I_j \in I^o$),

$dist_{ij}$: $i - j$ ayrıtının uzunluğu ($\forall (i, j) \in A$),

c^0 : en küçük kapasiteli araç tipinin birim yol kat etme maliyeti,

c_{ij}^o : $i - j$ ayrıtının en küçük kapasiteli araç tarafından kat edilme maliyeti ($\forall (i, j) \in A$),

$c_{ij}^0 = c^0 \cdot dist_{ij}$,

d_{jtn} : j . perakendecinin t döneminde n . ürüne olan talep miktarı ($\forall j \in J, \forall t \in H, \forall n \in N$),

RC_{in} : açılan i . DM tarafından n . ürünün tedarik edilme maliyeti ($\forall i \in I^o, \forall n \in N$),

h_{ktn} : k . düğümde, t dönemi için n . ürüne ait birim stok tutma ve eskime maliyeti toplamı

($\forall k \in K, \forall t \in H, \forall n \in N$)

$W_i^{E_i}$: E_i kapasite seviyesinde açılan i . DM'nin kapasitesi ($\forall i \in I^o, E_i \in E$),

W_j : j . perakendecinin kapasitesi ($\forall j \in J$),

Q^0 : en küçük kapasiteli araç tipinin kapasitesi,

FC^0 : en küçük kapasiteli araç tipinin sabit kullanım/tedarik maliyeti,

IS_{kn} : k . düğümdeki n . ürüne ait dönem başı stok miktarı ($\forall k \in K, \forall n \in N$),

α : tedarik maliyetine ilişkin ağırlık katsayısı,

β : dağıtım maliyetine ilişkin ağırlık katsayısı,

θ : ADM'lere ait stok tutma ve eskime maliyetine ilişkin ağırlık katsayısı,

γ : Perakendecilere ait stok tutma ve eskime maliyetine ilişkin ağırlık katsayısı.

İkili karar değişkenleri

$$z_{itn} : \begin{cases} 1 & \text{açılan } i. \text{ DM tarafından } t \text{ döneminde } n. \text{ üründen tedarik edilirse} \\ 0 & \text{dd} \end{cases} \quad (\forall i \in I^o, \forall t \in H, \forall n \in N)$$

$\hat{x}_{I_j t}$

$$: \begin{cases} 1 & \text{atandığı DM tarafından } j. \text{ perakendeciye } t \text{ döneminde ürün dağıtılırsa} \\ 0 & \text{dd} \end{cases} \quad (\forall I_j \in I^o, \forall j \in J^{I_j}, \forall t \in H)$$

Tamsayı karar değişkenleri

nv_i : açılan i . DM tarafından tüm dönemler kapsamında kullanılan araç sayısı ($\forall i \in I^o$)

Ek karar değişkenleri

s_{itn} : açılan i . DM tarafından t döneminde tedarik edilen n . ürün miktarı

$(\forall i \in I^o, \forall t \in H, \forall n \in N)$

$w_{I_j t n}$: atandığı DM tarafından j . perakendeciye t döneminde dağıtımı yapılan

n . ürün miktarı ($\forall I_j \in I^o, \forall j \in J^{I_j}, \forall t \in H, \forall n \in N$)

q_{ktn} : k . düğümün t döneminde envanterinde bulunan n . ürün miktarı

$(\forall k \in K, \forall t \in H^0, \forall n \in N)$

Model (M2)

$$\alpha \sum_{i \in I^0} \sum_{t \in H} \sum_{n \in N} RC_{in} \cdot z_{itn} + \quad (4.1)$$

$$\sum_{i \in I^0} FC^0 \cdot nv_i + \quad (4.2)$$

$$\beta \sum_{j \in J^{I_j}} \sum_{t \in H} 2 \cdot c_{I_j j}^0 \cdot \hat{x}_{I_j j t} + \quad (4.3)$$

$$\theta \sum_{i \in I^0} \sum_{n \in N} \sum_{t \in H} h_{itn} \cdot q_{itn} \quad (4.4)$$

$$\gamma \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} \sum_{t \in H} h_{jtn} \cdot q_{jtn} \quad (4.5)$$

Kısıtlar

$$q_{I_j(t-1)n} + s_{I_j tn} - \sum_{j \in J^{I_j}} w_{I_j j tn} = q_{I_j tn} \quad \forall I_j \in I^0, \forall t \in H, \forall n \in N \quad (4.6)$$

$$q_{j(t-1)n} + w_{I_j j tn} - d_{jtn} = q_{jtn} \quad \forall I_j \in I^0, \forall j \in J^{I_j}, \forall t \in H, \forall n \in N \quad (4.7)$$

$$q_{i0n} = IS_{in} \quad \forall i \in I^0, \forall n \in N \quad (4.8)$$

$$q_{j0n} = IS_{jn} \quad \forall j \in J, \forall n \in N \quad (4.9)$$

$$\sum_{n \in N} (q_{i(t-1)n} + s_{itn}) \leq W_i^{E_i} \quad \forall i \in I^0, \forall t \in H \quad (4.10)$$

$$\sum_{n \in N} (q_{j(t-1)n} + w_{I_j j tn}) \leq W_j \quad \forall I_j \in I^0, \forall j \in J^{I_j}, \forall t \in H \quad (4.11)$$

$$\sum_{n \in N} w_{I_j j tn} \leq Q^0 \quad \forall I_j \in I^0, \forall j \in J^{I_j}, \forall t \in H \quad (4.12)$$

$$s_{itn} \leq W_i^{E_i} \cdot z_{itn} \quad \forall i \in I^0, \forall t \in H, \forall n \in N \quad (4.13)$$

$$\sum_{n \in N} w_{I_j j t n} \leq \text{enküçük}(Q^0, W_j) \cdot \hat{x}_{I_j j t} \quad \forall I_j \in I^0, \forall j \in J^{I_j}, \forall t \in H \quad (4.14)$$

$$\sum_{j \in J^{I_j}} \sum_{n \in N} w_{I_j j t n} \leq n v_{I_j} \cdot Q^0 \quad \forall I_j \in I^0, \forall t \in H \quad (4.15)$$

$$z_{itn} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I^0, \forall t \in H, \forall n \in N \quad (4.16)$$

$$\hat{x}_{I_j j t} \in \{0, 1\} \quad \forall I_j \in I^0, \forall j \in J^{I_j}, \forall t \in H \quad (4.17)$$

$$s_{itn} \geq 0 \quad \forall i \in I^0, \forall t \in H, \forall n \in N \quad (4.18)$$

$$w_{I_j j t n} \geq 0 \quad \forall I_j \in I^0, \forall j \in J^{I_j}, \forall t \in H, \forall n \in N \quad (4.19)$$

$$q_{ktn} \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall t \in H^0, \forall n \in N \quad (4.20)$$

$$n v_i \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in I^0 \quad (4.21)$$

Amaç fonksiyonuna ilişkin; Eş. 4.1 ile açılan DM'lerce yapılan ürün tedariklerinin maliyeti, Eş. 4.2 ile araçların sabit kullanım/tedarik maliyeti, Eş. 4.3 ile ürünlerin dağıtım maliyeti, Eş. 4.4 ile açılan dağıtım merkezlerine ve Eş. 4.5 ile de perakendecilere ait stok tutma ve eskime maliyeti toplamı ifade edilmiştir.

Eş. 4.6 numaralı kısıt ile açılan dağıtım merkezleri, Eş. 4.7 numaralı kısıt ile de perakendeciler kapsamında stok denge denklemleri ifade edilmektedir. Eş. 4.8 ve Eş. 4.9 numaralı kısıtlar ile açılan dağıtım merkezleri ile perakendecilerin dönem başı stokları atanmaktadır. Eş. 4.10 numaralı kısıt ile açılan dağıtım merkezlerine ait kapasitelerin, Eş. 4.11 numaralı kısıt ile perakendecilere ait kapasitelerin ve Eş. 4.12 numaralı kısıt ile araç kapasitelerinin aşılamayacağı ifade edilmiştir. Eş. 4.13 numaralı kısıt ile açılan dağıtım merkezlerince üreticilerden ürün tedariki yapılması sağlanmaktadır. Eş. 4.14 numaralı kısıt perakendecilere atandıkları DM'ler tarafından ürün dağıtımı yapılıp/yapılmaması ile dağıtımı yapılan ürün miktarı arasındaki ilişkiyi sağlamaktadır. Eş. 4.15 numaralı kısıt her

bir dönemde perakendecilere dağıtım yapılan ürün miktarı ile dağıtımda kullanılması gereken minimum araç sayısı arasındaki ilişkiyi kurmaktadır. Eş. 4.16 - Eş. 4.21 numaralı kısıtlar ise değişkenlerin alabilecekleri değerleri ifade eden kısıtlardır.

Envanter yönetimi modelinin karmaşıklık analizine bakıldığında modelin; $O(|I^o| |J| |H|)$ karmaşıklığında 0-1 karar değişkenine, $O(|I^o|)$ karmaşıklığında tamsayı karar değişkenine, $O(|I^o| |J| |H|^2 |N|)$ karmaşıklığında ek karar değişkenine ve $O(|I^o| |J| |H|)$ karmaşıklığında kısıta sahip olduğu görülmektedir.

M1 modeline uyarlanan iki geçerli eşitsizlik, M2 modeline de aşağıdaki gibi uyarlanmıştır.

Teorem 1. Aşağıdaki eşitsizlik yukarıda sunulan envanter yönetimi modeli için geçerlidir.

$$\text{enküçük} \left(Q^0, W_{I_j}^{E_{I_j}} \right) \cdot \sum_{j \in J^{I_j}} \hat{x}_{I_j j t} \geq \sum_{n \in N} \sum_{j \in J^{I_j}} w_{I_j j t n} \quad \forall I_j \in I^o, \forall t \in H \quad (4.22)$$

İspat. Açılan i . DM tarafından kendisine atanan perakendecilerin ürün taleplerini karşılamak için t döneminde ürün dağıtım yapılacaksa, yani $\sum_{n \in N} \sum_{j \in J^{I_j}} w_{I_j j t n} > 0$ ise:

- t döneminde i . DM'den en az $\sum_{n \in N} \sum_{j \in J^{I_j}} w_{I_j j t n} / Q^0$ adet dağıtım yapılmalıdır. Yani $\sum_{j \in J^{I_j}} \hat{x}_{I_j j t} \geq \sum_{n \in N} \sum_{j \in J^{I_j}} w_{I_j j t n} / Q^0$. Bu durum araç kapasitesinin sıkı olduğu durumdur.

$$(\text{enküçük} \left(Q^0, W_{I_j}^{E_{I_j}} \right) = Q^0)$$

- t döneminde i . DM tarafından en az bir defa dağıtım yapılmalıdır. Yani $\sum_{j \in J^{I_j}} \hat{x}_{I_j j t} \geq \sum_{n \in N} \sum_{j \in J^{I_j}} w_{I_j j t n} / W_{I_j}^{E_{I_j}}$. Bu durum araç kapasitesinin gevşek olduğu durumdur.

$$(\text{enküçük} \left(Q^0, W_{I_j}^{E_{I_j}} \right) = W_{I_j}^{E_{I_j}})$$

Teorem 2. Aşağıdaki eşitsizlik yukarıda sunulan envanter yönetimi modeli için geçerlidir.

$$\sum_{l=1}^t \hat{x}_{I_j j l} \geq \left\lceil \frac{\sum_{n \in N} \sum_{l=1}^t d_{j l n} - \sum_{n \in N} I S_{j n}}{Q^0} \right\rceil \quad \forall I_j \in I^o, \forall j \in J^{I_j}, \forall t \in H \quad (4.23)$$

İspat. Her bir perakendeciye her bir t dönemine kadar en az kendisine ait dönem başı stok miktarlarından karşılanamayan ürün talep toplamının araç kapasitesine bölünmesiyle elde edilen sayı kadar atandığı dağıtım merkezinden ürün dağıtımı yapılmalıdır.

Yukarıda sunulan geçerli eşitsizlikler; 15 ADM, 100 perakendeci, 5 ürün ve 5 dönem içeren 15 adet örnek problem üzerinde denenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8’de sunulmuştur.

Çizelge 4.8. Geçerli eşitsizliklerin envanter yönetimi modelinin çözüm süresine etkisi

	Pr. No	Her İki Geçerli Eşitsizlik Aktif	Sadece İkinci Geçerli Eşitsizlik Aktif	Sadece Birinci Geçerli Eşitsizlik Aktif	Her İki Geçerli Eşitsizlik Pasif
Çözüm Süresi (sn)	1	87,9	69,8	120,1	97,9
	2	103,9	103,3	129,9	128,1
	3	54,3	28,8	108,4	96,5
	4	21,6	34,4	78,9	66,5
	5	160,6	137,3	138,9	200,0
	6	177,7	178,2	109,2	125,1
	7	81,9	76,6	85,2	101,2
	8	55,9	49,8	92,0	89,8
	9	74,5	79,7	101,4	104,3
	10	128,1	102,7	137,2	149,0
	11	84,5	58,9	114,4	108,2
	12	97,6	76,2	114,7	110,6
	13	79,4	78,0	146,3	122,4
	14	93,1	83,2	129,9	131,9
	15	84,8	85,6	166,1	294,3
OÇS (sn)		92,4	82,8	118,2	128,4
MNÇS (sn)		21,6	28,8	78,9	66,5
MKÇS (sn)		177,7	178,2	166,1	294,3

MNÇS: Minimum Çözüm Süresi, MKÇS: Maksimum Çözüm Süresi,
OÇS: Ortalama Çözüm Süresi

Sonuçlara bakıldığında; sadece ikinci geçerli eşitsizliğin aktif olduğu durumda en iyi ortalama çözüm süresinin elde edildiği ve on bir adet örnek problemin en kısa sürede çözüldüğü görülmektedir. Her iki geçerli eşitsizliğin aktif olduğu durumda en iyi minimum çözüm süresinin elde edildiği ve üç adet örnek problemin en kısa sürede çözüldüğü görülmektedir. Sadece birinci geçerli eşitsizliğin aktif olduğu durumda en iyi maksimum

çözüm süresinin elde edildiği ve yalnızca bir adet örnek problemin en kısa sürede çözüldüğü görülmektedir. Her iki geçerli eşitsizliğin pasif olduğu durumda ise hiçbir problemin en kısa sürede çözülmediği görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda sadece ikinci geçerli eşitsizliğin envanter yönetim modeline dâhil edilmesinin uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Envanter yönetimi modeli çözüldükten sonra karar değişkenlerinin aldığı değerler kullanılarak açık DM'ler tarafından kendilerine atanan perakendecilere dağıtım yapılacak dönemsel ürün miktarları sezgisel çözümdeki ilgili alanlara kaydedilmektedir. Ardından Şekil 4.7'de sunulan prosedür aracılığıyla maksimum envanter seviyeleri kullanılarak daha önce *yerSecveAtaKarBul* prosedürüyle bulunan açık DM'lere ait kapasite seviyeleri olması gereken en düşük seviyelere eşitlenmektedir. Böylece başlangıç çözümündeki açık DM'lerin kurulum ve işletme maliyeti düşürülebilmektedir.

<i>Prosedür:</i>	<i>acikDMlerGerKapSevGuncelle</i> (Açık DM'lerin gerekiyorsa kapasite seviyelerini güncelle)
<i>Girdi:</i>	ÇÜ_YS_ERP'e ait yer seçimi, atama ve envanter yönetimi kararları belirlenmiş sıralı sezgisel çözüm
<i>Çıktı:</i>	ÇÜ_YS_ERP'e ait yer seçimi, atama ve envanter yönetimi kararları belirlenmiş, açık DM'lerin açıldıkları kapasite seviyeleri güncellenmiş sıralı sezgisel çözüm
<i>Adım 0:</i>	Tüm açık DM'ler için - Sıradaki DM'nin açıldığı kapasite seviyesini, kendisine ait dönemsel en büyük envanter seviyesinden büyük veya eşit olacak şekilde en küçük kapasite seviyesine eşitle.
<i>Adım 1:</i>	Sıralı sezgisel çözüme ait ilgili alanları güncelle.
<i>Adım 2:</i>	Prosedürü sonlandır.

Şekil 4.7. Açık DM'lerin gerekiyorsa kapasite seviyelerini güncelleyen prosedür

4.3.3. Araç rotalarının belirlenmesi

Sıralı sezgisel çözüme ait araç rotaları, Pasha ve diğerleri (2016) tarafından önerilen sezgisel algoritmadan faydalanılarak geliştirilen algoritma ile oluşturulmaktadır. Sezgisel algoritmanın temelini oluşturan ve Şekil 4.8'de sunulan *arRotalariniBul* prosedürü ile tüm açık DM'ler için tüm dönemler kapsamında araç rotaları bulunmaktadır.

Araç rotaları bulunurken öncelikle her bir açık DM için tüm dönemler kapsamında birbirinden bağımsız şekilde Sabit ve Değişken Maliyetli Filo Büyüklüğü ve Karma Araç Rotalama problemi çözülerek dönemsel araç filoları ve rotalar bulunmaktadır. DM'lere tüm dönemsel filoları kapsayan filo atanmaktadır. Ardından her bir açık DM için tanımlı dört adet strateji kapsamında sırayla yeni bir araç filosu belirlenmekte ve belirlenen araç filosu daha önce denenmemişse aşağıdaki süreç işletilmektedir. Sabit araç filolarını belirlemenin maksadı, her bir açık DM için dönemsel rotalar kapsamında ayrı ayrı ihtiyaç duyulan araç filolarını ortak bir filoda dengeleyerek sabit araç kullanım maliyetini düşürmek ve denenmiş araç filolarını çeşitlendirmektir. Tanımlı strateji ile öncelikle her bir dönem kapsamında kullanılan mevcut araç filoları strateji ile belirlenen sabit araç filosu ile karşılaştırılmakta, araç filosu belirlenen sabit araç filosunun alt kümesi olmayan dönemler için Şekil 4.9'da sunulan *aDMDonArRotalariniBul* prosedürü ile sabit araç filosu aşılmayacak şekilde geçerli dönemsel rotalar oluşturulmaya çalışılmaktadır. Bu süreçte dönemlerden herhangi birinde geçerli çözüm bulunamazsa, tanımlı strateji kullanılmadan önceki mevcut çözümler kullanılmakta ve stratejiyle üretilen sabit araç filosu yerine bu araç rotaları kapsamındaki araç filosu geçerli olmaktadır. Diğer durumda, stratejiyle üretilen sabit araç filosu ile elde edilen ulaştırma maliyetinde düşüş olduğu takdirde, bu filo ve bu filo kullanılarak bulunan araç rotaları geçerli olmaktadır.

<i>Prosedür:</i>	<i>arRotalariniBul</i> (Tüm açık DM'ler için tüm dönemler kapsamında araç rotalarının bulunması)
<i>Girdi:</i>	ÇÜ_YS_ERP'e ait yer seçimi, atama ve envanter yönetimi kararları belirlenmiş sıralı sezgisel çözüm
<i>Çıktı:</i>	ÇÜ_YS_ERP'e ait yer seçimi, atama, envanter yönetimi ve araç rotaları kararları belirlenmiş sıralı sezgisel çözüm
<i>Adım 0:</i>	Tüm açık DM'ler için Sıradaki DM'ye atanan tüm perakendeciler için - Sıradaki perakendeci için kendisi hariç diğer tüm perakendecileri, kendisine olan uzaklıklarına göre artan bir şekilde tutan veri alanını oluştur. Tüm dönemler için <i>Eğer</i> sıradaki DM'ce sıradaki dönemde ürün dağıtımı mevcutsa - <i>aDMDonArRotalariniBul</i> prosedürünü kullanarak sıradaki DM'nin sıradaki döneme ait araç rotalarını bul ve çözümünü sıradaki DM'ye ait <i>aDMDonRotaListDizisi</i> 'nin sıradaki dönem indisli alanına kaydet. - Bulunan rotalardan dolayı, sıradaki DM'nin ilgili alanlarını güncelle.

Şekil 4.8. Tüm dönemler kapsamında araç rotalarını bulan prosedür

-
- Adım 1:* Bulunan araç rotalarından dolayı sezgisel çözümün ilgili alanlarını güncelle.
- Adım 2:* $tumDMlerDonRotaDegVar \leftarrow false$
- Adım 3:* Tüm açık DM'ler için
- Sıradaki DM'ye ait mevcut araç filosunu içerisi boş olarak oluşturulan *acikDMDenFilolar* kümesine ekle.
- Tanımlı tüm stratejiler için
- Sıradaki DM'nin ulaştırma maliyetini *acikDMMevUlsMlyt* değişkenine ata.
 - Sıradaki stratejiyi kullanarak sıradaki DM'ye ait sabit araç filosunu belirle ve *acikDMYeniFilo* değişkenine ata.
- Eğer acikDMYeniFilo acikDMDenFilolar kümesinde yoksa*
- *acikDMYeniFilo* filosunu *acikDMDenFilolar* kümesine ekle.
 - Tüm dönemleri içerecek şekilde *aDMDonYeniRotaListDizisi*'ni oluştur.
- Tüm dönemler için
- Eğer sıradaki DM'ce sıradaki dönemde ürün dağıtımı mevcutsa*
- Eğer sıradaki dönemin rotalarınca ihtiyaç duyulan araç filosu acikDMYeniFilo filosunun alt kümesi değilse*
- *acikDMYeniFilo* filosu ile sıradaki döneme ait rotaları bul ve *aDMDonYeniRotaListDizisi*'nin sıradaki dönem indisine kaydet.
- Değilse*
- Sıradaki DM'nin sıradaki döneme ait araç rotaları listesini *aDMDonYeniRotaListDizisi*'nin sıradaki dönem indisine kaydet.
- Eğer aDMDonYeniRotaListDizisi içerisindeki tüm rotalar uygunsa*
- Yeni rota listesine göre ulaştırma maliyetini hesaplayarak *acikDMYeniUlsMlyt* değişkenine ata.
- Eğer (acikDMYeniUlsMlyt < acikDMMevUlsMlyt) ise*
- Sıradaki DM'nin tüm dönemlere ait araç rotalarını içeren listeyi *aDMDonYeniRotaListDizisi*'ne eşitle.
 - Sıradaki DM'nin tüm dönemlere ait araç rotaları kapsamında ilgili tüm alanlarını güncelle.
 - $tumDMlerDonRotaDegVar \leftarrow true$
- Adım 4:* *Eğer (tumDMlerDonRotaDegVar == true) ise*
- Sıralı sezgisel çözümün ilgili alanlarını yeni araç rotaları kapsamında güncelle.
-

Şekil 4.8. (devam) Tüm dönemler kapsamında araç rotalarını bulan prosedür

Şekil 4.8'de sunulan prosedürde; Pasha ve diğerleri (2016) tarafından yapılan çalışmada kullanılan altı stratejiden en iyi sonuçları verdiği belirtilen ilk üç strateji ile birinci stratejinin küsuratlı bulunan araç sayılarının üst sayıya yuvarlanmasına dayanan hali olan yeni bir strateji kullanılmıştır. Bahsi geçen ilk üç strateji Ortalama Artı En Büyük Araç

Tipi Filosu, Ortalama Artı Yüksek Küsürata Sahip Araç Tipi Filosu ve En Yüksek Dağıtımın Yapıldığı Döneme Ait Araç Filosu stratejileridir. Birinci ve ikinci stratejiler tüm dönemler kapsamında her bir araç tipinden gerekli olan ortalama araç sayısını bulup gerekli kapasite sağlanana kadar belirtilen araç tiplerinden ilave araç eklerler. Üçüncü strateji ise doğrudan en iyi çözümde maksimum dağıtımın olduğu döneme ait araç filosunu kullanır. Kullanılan stratejiler hakkında detaylı bilgi söz konusu çalışmada mevcuttur. Prosedür 2 - 4. adımlarda yapılan işlemler ile Pasha ve diğerleri (2016) tarafından önerilen algoritmadan farklılık göstermektedir. En önemli farklılık ise Pasha ve diğerleri (2016) tarafından yalnızca rassal bir strateji kullanılmasına rağmen bu prosedürde dört stratejinin art arda denenmesidir.

Şekil 4.9'da sunulan *aDMDonArRotalariniBul* prosedürü ile açık bir DM'nin herhangi bir dönem kapsamında sabit araç filosu kısıtı altında veya hiçbir filo kısıtı olmadan araç rotaları bulunmaktadır. Prosedür temelde Glover ve Laguna (1997) tarafından önerilen tabu arama meta-sezgiselini kullanmaktadır. Komşu çözümler sürüklenme ve karşılıklı yer değiştirme hareketleri ile üretilmektedir. Tabu yıkma kriteri olarak bulunan en iyi çözümden daha iyi bir çözüm olma şartı kabul edilmiştir. Tabu aramada uygun olmayan çözümlere çözümün cezalandırılması koşuluyla izin verilmektedir. Başlangıç çözümü *aDMDonArRotalariBasCozOlustur* prosedürü aracılığıyla oluşturulmaktadır.

aDMDonArRotalariniBul prosedürü, Pasha ve diğerleri (2016) tarafından önerilen sezgisel algoritmadan şu farklılıkları içermektedir. Farklılıkların ilki ve en önemlisi prosedürün ilave olarak sabit araç filosu kısıtı altında da çalışabilmesidir. İkinci farklılık, her bir döngü adımında iki adet yerine dört adet komşuluğun üretilmesidir. Üçüncü farklılık, en iyi çözümün bulunması aşamasında uygun olmayan çözümlere ancak araç kapasitesinin belirlenen ilave bir yüzdeyi aşmaması koşuluyla izin verilmesidir. Böylece uygun olmayan çözüm uzayının uygun çözüm uzayına yakın olan dar bir alanında arama yapılarak en iyi çözüme ulaşma süresi kısaltılmaktadır. Dördüncü farklılık, tabu dizisi boyutunun ve *SEH* prosedürlerini çağırma sıklığının ana döngünün bulunduğu evreye göre değiştirilmesidir. Son farklılık ise, prosedürde sabit araç filosuz ve sabit araç filolu iki adet *SEH* prosedürünün bulunması ve iki durum için de uygun şekilde *SEH* işleminin yapılmasıdır. *SEH* prosedürlerine ilişkin bilgiler ileride verilmiştir.

Prosedür: *aDMDonArRotalariniBul* (Açık DM'nin dönemsel araç rotalarının bulunması)

Girdi: Açık DM, dönem no ve sabit araç filosunu (*sabAracFilosu*) gösteren değişkenler

Çıktı: $S_{EniyiFeasDonRotaList}$: İlgili açık DM'nin ilgili dönem için en iyi araç rotaları çözümü

Adım 0: Eğer (*sabArFilosu* == null) ise

- *kalArTipiSayilari* $\leftarrow$ null

Değilse

- *kalArTipiSayilari* $\leftarrow$ *sabArFilosu*

Adım 1: Tabu arama dizi boyutunu başlangıç evresi kapsamında ata.

Adım 2: *tabuDizisi*'ni boş bir şekilde oluştur.

Adım 3: *aDMDonArRotalariBasCozOlustur* prosedürünü kullanarak araç rotaları başlangıç çözümünü oluştur ve çözümü $S_{MevDonRotaList}$ değişkenine ata.

Adım 4: Eğer $S_{MevDonRotaList}$ uygun ise

- $S_{EniyiFeasDonRotaList} \leftarrow S_{MevDonRotaList}$

Değilse

- $S_{EniyiFeasDonRotaList} \leftarrow$ null

Adım 5: *sEHCagSikligi* $\leftarrow$ 30, *beta* $\leftarrow$ CEZAFAKTORU, *genelSayac* $\leftarrow$ 6000
sEHCagSayac $\leftarrow$ 0, *tabuDizisiSayac* $\leftarrow$ 0

Adım 6: while (*genelSayac* > 0)

- *genelSayac* $\leftarrow$ *genelSayac* - 1
- *sEHCagSikligi* ve tabu arama dizisini bulunulan evre kapsamında güncelle.

Sürüklenme ve yer değiştirme hareketleri ile bulunan belirli sayıda uygulanabilir komşuluk hareketleri için

- Tabu olmayan en iyi hareketi *enIyiHrk* değişkenine ata.
- Tabu fakat $S_{EniyiFeasDonRotaList}$ çözümünden daha iyi olan bir çözüme ulaştıran hareket varsa ve bu hareket *enIyiHrk*'ten iyiyse *enIyiHrk*'e bu hareketi ata.

Eğer (*enIyiHrk* != null) ise

- *enIyiHrk* hareketini $S_{MevDonRotaList}$ çözümüne uygula.
- *tabuDizisi*'ne *enIyiHrk* hareketini ekle.
- *tabuDizisiSayac* $\leftarrow$ *tabuDizisiSayac* + 1

Eğer (*tabuDizisiSayac* == TABUTENURE) ise

- *tabuDizisiSayac* $\leftarrow$ 0

Eğer ($S_{MevDonRotaList}$ uygun bir çözümse ve ($S_{EniyiFeasDonRotaList}$ == null veya $S_{MevDonRotaList} S_{EniyiFeasDonRotaList}$ çözümünden daha iyi bir çözüm) ise

- $S_{EniyiFeasDonRotaList} \leftarrow S_{MevDonRotaList}$
- *beta* $\leftarrow$ CEZAFAKTORU, *sEHCagSayac* $\leftarrow$ 0

Değilse

- *sEHCagSayac* $\leftarrow$ *sEHCagSayac* + 1

Şekil 4.9. Açık bir DM'nin tek bir dönem için araç rotalarını bulan prosedür

Eğer ($sEHCagSayac \geq sEHCagSikligi$)

- $\beta \leftarrow CEZAFAKTORU$, $sEHCagSayac \leftarrow 0$

Eğer ($sabArFilosu == null$)

- $sabArFilosuzSEH$ prosedürünü kullanarak ilgili dönem için $S_{MevDonRotaList}$ çözümünü güncelle.

Değilse

- $sabArFiloluSEH$ prosedürünü kullanarak ilgili dönem için $S_{MevDonRotaList}$ çözümünü ve $kalArTipiSayilari$ 'nı güncelle.

Eğer ($S_{MevDonRotaList}$ uygun bir çözümse ve ($S_{EniyiFeasDonRotaList} == null$ veya $S_{MevDonRotaList} S_{EniyiFeasDonRotaList}$ çözümünden daha iyi bir çözüm)) ise

- $S_{EniyiFeasDonRotaList} \leftarrow S_{MevDonRotaList}$

Değilse

- $sEHCagSayac \leftarrow sEHCagSayac + 1$

Eğer $S_{MevDonRotaList}$ uygun bir çözümse

- $\beta \leftarrow \beta * (1 - ALFA)$

Değilse

- $\beta \leftarrow \beta * (1 + ALFA)$

Şekil 4.9. (devam) Açık bir DM'nin tek bir dönem için araç rotalarını bulan prosedür

Şekil 4.10'da sunulan $aDMDonArRotalariBasCozOlustur$ prosedürü ile açık bir DM'nin herhangi bir dönem kapsamında sabit araç filosu kısıtı altında veya sabit araç filosu kısıtı olmaksızın araç rotaları başlangıç çözümü oluşturulmaktadır. Prosedür sabit araç filosu kısıtı olmaksızın çağrılmışsa rassal bir araç tipinin atandığı yeni bir rota oluşturulmakta ve bu rota ilgili dönemde dağıtım yapılacak perakendecilerle doldurulmaya çalışılmaktadır. Rotadaki aracın kapasitesi aşıldığında rassal bir araç tipinin atandığı yeni bir rota oluşturulmakta ve aynı şekilde bu rota kalan dağıtım yapılacak perakendecilerle doldurulmaktadır. Dağıtım yapılacak perakendecilerin tamamı rotalara atanana kadar bu süreç devam etmektedir. Prosedür sabit araç filosu kısıtı ile çağrılmışsa araçlar sabit araç filosundan sırayla seçilmektedir. Sabit araç filosunda araç kalmadığı zaman kalan perakendeciler sırayla doluluk oranı en düşük olan rotalara atanmaktadır. Bu nedenle, sabit araç filosu kısıtı altında uygun çözümlerin üretilmesi garanti değildir.

Prosedür: *aDMDonArRotalariBasCozOlustur* (İlgili açık DM'nin ilgili dönem için araç rotaları başlangıç çözümünün belirlenmesi)

Girdi: Açık DM, dönem no ve kalan araç tipi sayıları (*kalArTipiSayilari*)

Çıktı: *aDMDonRotaList*: İlgili açık DM'nin ilgili dönem için araç rotaları başlangıç çözümü

Adım 0: *aDMDonRotaList* listesini boş bir şekilde oluştur.

Adım 1: *dagYapPeraler* ve *gunDagYapPeraler* listelerini boş bir şekilde oluştur.

Adım 2: İlgili DM'den ilgili dönemde ürün dağıtımı yapılacak perakendecileri *dagYapPeraler* listesine ekle.

Adım 3: Eğer (*kalArTipiSayilari* == null) ise
 while (*dagYapPeraler* != Ø) ise
 - Rassal bir araç tipi seç ve *arTipiInd* değişkenine ata.
 - *arTipiInd* araç tipini kullanan boş bir rota oluştur ve rotayı *yeniRota* değişkenine ata.
 - *gunDagYapPeraler* listesini boşalt.
 dagYapPeraler listesindeki tüm perakendeciler için
 - Sıradaki perakendeciye *siraPera* değişkenine ata.
 Eğer *siraPera*'ye yapılacak dağıtım miktarı *yeniRota* 'ya atanan aracın kalan kapasitesiyle karşılanabiliyorsa
 - *siraPera*'yi *yeniRota* 'ya ekle.
 - *yeniRota* 'ya ait ilgili alanları güncelle.
 Değilse
 - *siraPera*'yi *gunDagYapPeraler* listesine ekle.
 Eğer *yeniRota* boş değilse
 - *yeniRota* 'ya ait ilgili diğer alanları güncelle.
 - *yeniRota* 'yı *aDMDonRotaList* listesine ekle.
 - *dagYapPeraler* listesini boşalt.
 - *gunDagYapPeraler* listesinin elemanlarını *dagYapPeraler* listesine ekle.
 Değilse
 dagYapPeraler != Ø olmadığı sürece tüm araç tipleri için
 - Sıradaki araç tipini *siraArTipiInd* değişkenine ata.
 - *kalArTipiSayilari* dizisinin *siraArTipiInd* indisindeki araç sayısını *denArSayisi* değişkenine ata.
 while (*denArSayisi* > 0 && *dagYapPeraler* != Ø)
 - *siraArTipiInd* araç tipini kullanan boş bir rota oluştur ve rotayı *yeniRota* değişkenine ata.
 - *gunDagYapPeraler* listesini boşalt.

Şekil 4.10. Araç rotaları başlangıç çözümünü oluşturan prosedür

dagYapPeraler listesindeki tüm perakendeciler için

- Sıradaki perakendeciye *siraPera* değişkenine ata.

Eğer siraPera'ye yapılacak dağıtım miktarı *yeniRota* 'ya atanan aracın kalan kapasitesiyle karşılanabiliyorsa

- *siraPera*'yi *yeniRota*'ya ekle.

- *yeniRota* 'ya ait ilgili alanları güncelle.

Değilse

- *siraPera*'yi *gunDagYapPeraler* listesine ekle.

Eğer yeniRota boş değilse

- *yeniRota* 'ya ait ilgili diğer alanları güncelle.

- *yeniRota* 'yı *aDMDonRotaList* listesine ekle.

- *kalArTipiSayilari* dizisinin *siraArTipiInd* indisindeki araç sayısını bir azalt.

- *dagYapPeraler* listesini boşalt.

- *gunDagYapPeraler* listesinin elemanlarını *dagYapPeraler* listesine ekle.

- *denArSayisi* değişkenini bir azalt.

Eğer (dagYapPeraler != Ø) ise

- *dagYapPeraler* listesindeki perakendecileri sırayla *aDMDonRotaList* listesindeki doluluk oranı en düşük olan rotalara ekle.

Şekil 4.10. (devam) Araç rotaları başlangıç çözümünü oluşturan prosedür

Şekil 4.9'da sunulan *aDMDonArRotalariniBul* prosedürü tarafından kullanılan *sabitArFilosuzSEH* ve *sabitArFiloluSEH* prosedürleri aldıkları dönemsel rota listesine daraltma veya genişletme işlemlerini uygulamaktadır. Daraltma ve genişletme işlemlerini uygulamak için parametre olarak alınan dönemsel rota listesindeki rotaların doluluk oranları kullanılmaktadır. Doluluk oranları önceden belirlenen eşik değerinden küçük olan rotalara doluluk oranı eşik değerinin üstüne çıkana kadar sırayla daha küçük kapasiteli araçlar atanmakta, en küçük kapasiteli araç atandığı durumda dahi doluluk oranı eşik değerinin üstüne çıkmadığı zaman rota tamamen boşaltılmaya çalışılmaktadır. Boşaltma işlemi yapılırken rotada bulunan perakendeciler kendilerine en yakın olan perakendecilerin bulunduğu rotalara atanmaya çalışılmaktadır. Doluluk oranları önceden belirlenen eşik değerinden büyük olan rotalara ise, doluluk oranı eşik değerinin altına inene kadar sırayla daha büyük kapasiteli araçlar atanmakta, en büyük kapasiteli aracın atandığı durumda dahi doluluk oranı eşik değerinin altına inmediği zaman rota birden fazla rotaya bölünmektedir. İşlemler *sabitArFilosuzSEH* prosedüründe sabit araç filosu kısıtı olmadan, *sabitArFiloluSEH* prosedüründe ise sabit araç filosu kısıtı altında yapılmaktadır.

Araç rotalarının bulunması kapsamında kullanılan *CEZAFAKTORU*, *TABUTENURE* ve *ALFA* sabitlerine değer ataması yapılırken Pasha ve diğerleri (2016) tarafından kullanılan değer aralıkları (0,1-0,9 / 0,1-0,35 / 0,01-0,09) kullanılmıştır. Diğer taraftan çözüm kalitesini büyük ölçüde etkileyen sabitlerin alması gereken değerleri deney tasarımı aracılığıyla bulmak maksadıyla, Cioppa ve Lucas (2007) tarafından yapılan çalışma sonucu oluşturulan M.S. Excel dosyasından (NOLHdesigns.xls - <https://my.nps.edu/web/seed/software-downloads> adresinden 17.03.2018 tarihinde indirilmiştir.) faydalanılmıştır. Dosyada sabitler (faktörler) için girilen değer aralıkları kapsamında faktörler arasında ikili korelasyonun neredeyse sıfır olduğu parametre kümeleri oluşturulmaktadır. Sabitler için Pasha ve diğerleri (2016) tarafından kullanılan değerler göz önünde bulundurularak başlangıç ve bitiş değerleri belirlenmiş ve 16 farklı parametre kümesi oluşturulmuştur. Her bir parametre kümesi örnek problemler üzerinde denenmiştir. Her bir deneme için 15 adet koşum yapılmıştır. Denemeler sonucunda bulunan araç rotaları çözümleri; en iyi çözüm, en kötü çözüm, çözüm maliyetinin ortalaması/standart sapması göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda sabitlere atanmasının uygun olduğu düşünülen değerler Çizelge 4.9’da sunulmuştur.

Çizelge 4.9. Araç rotaları kapsamında kullanılan sabitlere atanan değerler

Sabit (Parametre)	Değeri
* Doluluk Oranı Sınırı	0,8
** SEH fonksiyonlarını çağırma sıklığı (<i>sEHCagSikligi</i>)	30
** Ana döngünün çalıştırılma sayısı (<i>genelSayac</i>)	6000
** Araç kapasitesinin aşılabileceği ilave yüzde (<i>ilaveYuzde</i>)	0,6

* Doluluk oranı sınırı *sabitArFilosuzSEH* ve *sabitArFiloluSEH* prosedürlerinde kullanılmaktadır.

** *sEHCagSikligi*, *genelSayac* ve *ilaveYuzde* *aDMDonArRotalariniBul* prosedüründe kullanılmaktadır.

4.4. Hibrit Sezgisel Çözüm Yöntemi

ÇÜ_YS_ERP kapsamında SSÇM ile bulunan çözümlere nazaran daha kaliteli çözümler bulmak, çözüm süresini kısaltmak ve çözülebilecek problem boyutlarını büyütmek için hibrit sezgisel bir çözüm yönteminin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu kapsamda ana adımları Şekil 4.11’de görülen hibrit sezgisel çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Hibrit sezgisel çözüm metodunda *rotalarHaricHibritCozumOlustur* prosedürü aracılığıyla bulunan araç rotaları hariç diğer kararları belirlenmiş çözüm kullanılarak her bir koşum için öncelikle *arRotalariniBul* prosedürü ile araç rotaları da bulunarak başlangıç çözümü

oluşturulmaktadır. Ardından yoğunlaşma metodu (*yogunlas*) aracılığıyla başlangıç çözümü iyileştirilmektedir. İyileştirme sonucunda bulunan en iyi çözümün yer seçimi ve atama kararları *farklilastir* metodu ile farklılaştırılmakta ve elde edilen yeni çözüm yeniden yoğunlaşma metodu ile iyileştirilmektedir. Bu işlem *TOPFARKLILASTIRMASAYISI* kadar yapılmaktadır. Bu parametreye çözüm sürecinde ($ADM \text{ sayısı} / 5 + \text{Perakendeci sayısı} / 20$) işleminin üst tamsayıya yuvarlanması sonucunda bulunan sayı atanmaktadır. Farklı yer seçimi ve atama konfigürasyonlarının denenmesi maksadıyla denenilen konfigürasyonlar *denenmisYerSecAtaKonflari* listesinde tutulmakta, liste sürekli güncellenmekte ve yeni oluşturulan konfigürasyonların bu listede olmaması teyit edilmektedir.

Prosedür: HibritCoz (ÇÜ_YS_ERP’i hibrit sezgisel yöntemle çözen algoritma)

Girdi: ÇÜ_YS_ERP’e ait veriler

Çıktı: S^* : ÇÜ_YS_ERP’e ait yer seçimi, atama, envanter yönetimi ve araç rotaları kararları belirlenmiş en iyi hibrit sezgisel çözüm

Adım 0: $S_{00} \leftarrow \text{rotalarHaricHibritCozumOlustur}()$

Adım 1: Tüm koşumlar için

- *denenmisYerSecAtaKonflari*’ni boşalt.

- $S_0 \leftarrow S_{00}$

- S_0 ’daki yer seçimi ve atama konf.nu *denenmisYerSecAtaKonflari*’na ekle.

- *arRotalariniBul*(S_0)

- $S^* \leftarrow \text{yogunlas}(S_0, \text{denenmisYerSecAtaKonflari})$

- $S_{yeni} \leftarrow S^*$

- *farkSayac* $\leftarrow 0$

while (*farkSayac* < *TOPFARKLILASTIRMASAYISI*)

- $S_{yeni} \leftarrow \text{farklilastir}(S_{yeni}, \text{denenmisYerSecAtaKonflari})$

- $S_{yeni} \leftarrow \text{yogunlas}(S_{yeni}, \text{denenmisYerSecAtaKonflari})$

- Eğer (*Maliyet*(S_{yeni}) < *Maliyet*(S^*)) ise $S^* \leftarrow S_{yeni}$

- *farkSayac* $\leftarrow \text{farkSayac} + 1$

Adım 2: Prosedürü sonlandır.

Şekil 4.11. ÇÜ_YS_ERP için önerilen hibrit sezgisel çözüm yöntemi

4.4.1. Başlangıç çözümünün oluşturulması

Başlangıç çözümündeki yer seçimi ve atama kararları, SSÇM’de de kullanılan *yerSecveAtaKarBul* prosedürü aracılığıyla bulunmaktadır. Yer seçimi ve atama kararlarının ardından envanter yönetimi kararları, perakendeciler ve açık DM’lerin başlangıç stok

miktarları ile karşılanamayan dönemsel taleplerin doğrudan talebin yapıldığı dönemde tedarik edilerek karşılanması şeklinde bulunmaktadır. Son olarak SSÇM’de de kullanılan *arRotalariniBul* prosedürü aracılığıyla çözüme ait araç rotaları bulunmaktadır. Bu prosedür kapsamında kullanılan *aDMDonArRotalariniBul* alt prosedürü çalıştırılırken kullanılan genel sayaç 0.1 ile çarpılarak rotaların hızlı bir şekilde bulunabilmesi sağlanmaktadır.

4.4.2. Yoğunlaşma

Yoğunlaşma sürecinde tavlama benzetimi ve tabu arama’nın birlikte kullanıldığı Şekil 4.12’de sunulan *yogunlas* prosedürü ile prosedüre girdi olarak verilen hibrit çözüm iyileştirilmektedir. Prosedürün başlangıcında tavlama benzetiminde kullanılan başlangıç ve donma sıcaklıkları kullanılarak içinde bulunulan yoğunlaşma evresi hesaplanmakta ve ardından bu evre kullanılarak yoğunlaşma hareketleri kapsamında büyük bir bölümü olasılıklar kapsamında kullanılan parametrelere veri ataması yapılmaktadır. Her bir sıcaklıkta *SICTEKRARSAYISI* kadar tekrar yapılmaktadır. Sıcaklıklarda artarda *SICLARARTARDAIYLESMEMESAYISI* kadar çözüm iyileşmediğinde mevcut çözüm oluşturulan rassal değere göre en iyi çözüme eşitlenmekte veya mevcut çözümdeki DM’lerin tedarik kararları *tedKarTedModIleGuncelle* prosedürü ile düzenlenmektedir. İçinde bulunulan yoğunlaşma evresine göre değer ataması yapılan *DMKAPCARPANI* parametresi *tedKarTedModIleGuncelle* prosedürüne girdi olarak verilmektedir.

Prosedürde toplam 9 adet yoğunlaşma hareketi kullanılmaktadır. Hareketlerden ilk dördü dağıtım sürüklenme hareketidir. Beşinci hareket bir perakendeciyi atanmış olduğu DM’den çıkararak başka bir açık DM’ye atama, altıncı hareket ise farklı iki DM’ye atanan perakendecilerin karşılıklı yer değiştirmesi hareketidir. Yedinci hareketle tüm açık DM’lerin araç rotaları yeniden bulunmaktadır. Sekizinci harekette açık DM’lerin gerekiyorsa kapasite seviyeleri değiştirilmekte, dokuzuncu harekette ise açık DM’lerin gerekiyorsa tedarikleri düzenlenmektedir. Sekizinci ve dokuzuncu hareketler haricindeki hareketler hareketlere ait uygulanma olasılıklarına göre tüm yoğunlaşma evrelerinde, sekizinci hareket sadece yoğunlaşma evresi değiştiğinde, dokuzuncu hareket ise ikiye bölünebilen yoğunlaşma evrelerinde uygulanmaktadır. Yoğunlaşma hareketleri uygulanmadan önce hareketin tabu olup olmadığı kontrol edilmektedir. Tabu aramada tabu yıkma kriteri tanımlanmadığından tabu olan hareketler hiçbir şekilde uygulanmamaktadır.

Yoğunlaşma prosedürünün en sonunda, bulunan en iyi çözüme ait araç rotaları yeniden hesaplanmakta ve ardından çözümdeki açık DM'lerin kapasite seviyeleri ve tedariklerine ilişkin *kapSevleriVeTedIllisYogunlas* prosedürü aracılığıyla en iyileme yapılmaktadır. Bu prosedürde iki yöntem ile oluşturulan en iyi sezgisel çözümler karşılaştırılmakta ve aralarından en iyi olanı döndürülmektedir. Birinci yöntemde öncelikle çözümdeki tüm açık DM'lerin M3 matematiksel modelini kullanan *tedKarTedModIleGuncelle* prosedürü aracılığıyla tedarik kararları en iyilenmekte, ardından tüm açık DM'lerin kapasite seviyeleri uygun en küçük seviyeye indirilmektedir. İkinci yöntemde ise sırayla tüm açık DM'lerin tedarik kararları DM'nin açık olduğu kapasite seviyesinin varsa bir düşük seviyesinde açık olduğu düşünülerek *tedKarTedModIleGuncelle* prosedürü aracılığıyla en iyilenmektedir. M3 matematiksel modelinin uygun olmayan çözüm bulması durumunda sıradaki açık DM'nin kapasite seviyesi orijinal haline çevrilmekte, uygun çözüm bulunması durumunda ise kapasite seviyesi bir düşük seviyeye indirilmektedir.

Prosedür: *Yogunlas* (Aldığı hibrit çözümü iyileştiren prosedür)

Girdi: S_m : Mevcut sezgisel çözüm,
denenmisYerSecAtaKonflari: Önceden denenilen yer seçimi ve atama konfigürasyonlarını tutan liste.

Çıktı: S^* : Yoğunlaşma sonucu bulunan en iyi çözüm

Adım 0: $S^* = S_m$

Adım 1: $sic = BASSICAKLIGI$; $siclarArtArdaIyilesmemeSayaci = 0$

Adım 2: Tabu aramaya ilişkin veri alanlarını oluştur.

Adım 3: $tumDMlerKapSevDegHrkUygsin = false$; $tumDMlerTedDuzHrkUygsin = false$;

Adım 4: *while* ($sic > DONMASICAKLIGI$)

- $oncBulYogEvresi = bulYogEvresi$; $bulYogEvresi = setAndGetYogEvresi(sic)$;
 - $setYogParams(bulYogEvresi, S_m.getAcikDMler().size())$
 - Eğer ($oncBulYogEvresi \neq bulYogEvresi$) ise // Yoğunlaşma evresi degismisse
 - Eğer ($S_m.getDMlerMinDoluOrani() \leq DMDOLUORANIALTSINIRI$ || $S_m.getDMlerMaxDoluOrani() \geq DMDOLUORANIUSTSINIRI$) ise
 - $tumDMlerKapSevDegHrkUygsin = true$
 - Eğer ($bulYogEvresi \% 2 == 0$) ise // Cift yogunlasma evrelerinde
 - $tumDMlerTedDuzHrkUygsin = true$
 - $sicCozIyilesti = false$
 - $sicTekrarSayisiSayaci = SICTEKRARSAYISI$
 - while* ($sicTekrarSayisiSayaci > 0$)
-

Şekil 4.12. Hibrit sezgisel çözüm yöntemine ait yoğunlaşma prosedürü

```

- yogHrkNo = getYogHrkNo()
switch (yogHrkNo)
case 1:  $S_{yeni} = dagSur1inciHrkUygula(S_m)$ 
case 2:  $S_{yeni} = dagSur2nciHrkUygula(S_m)$ 
case 3:  $S_{yeni} = dagSur3uncuHrkUygula(S_m)$ 
case 4:  $S_{yeni} = dagSur4uncuHrkUygula(S_m)$ 
case 5:  $S_{yeni} = peraShiftHrkUygula(S_m)$ 
case 6:  $S_{yeni} = peraSwapHrkUygula(S_m)$ 
case 7:  $S_{yeni} = arRotalariniBul(S_m)$ 
case 8:  $S_{yeni} = aDMlerGerKapSevDegistir(S_m)$ 
case 9:  $S_{yeni} = aDMlerGerTedDuzenle(S_m)$ 
-  $\Delta AFD = calcDeltaAFD(S_{yeni}, S_m)$ ; // Amac fonk.ndaki degisimi hesapla
- Eğer ( $\Delta AFD < 0$  ||
     $Math.exp(-1.0f * \Delta AFD / sic) > amacFonkKapOlasilik$ ) ise
    -  $S_m = S_{yeni}$ 
    - Eğer ( $Maliyet(S_m) < Maliyet(S^*)$ ) ise
        -  $S^* = S_m$ 
        -  $sicCozIyilesti = true$ ;
    -  $sicTekrarSayisiSayaci = sicTekrarSayisiSayaci - 1$ 
    - Tabu aramaya ilişkin veri alanlarını güncelle.
- Eğer ( $sicCozIyilesti == true$ ) ise
    -  $siclarArtArdaIyilesmemeSayaci = 0$ 
- Else
    -  $siclarArtArdaIyilesmemeSayaci = siclarArtArdaIyilesmemeSayaci + 1$ 
- Eğer ( $siclarArtArdaIyilesmemeSayaci ==$ 
     $SICLARARTARDAIYILESMEMESAYISI$ ) ise
    -  $siclarArtArdaIyilesmemeSayaci = 0$ 
- Eğer ( $RASSAL.nextFloat() \leq ENIYISEZCOZUMATAORANI$ )
    -  $S_m = S^*$ 
- Else
    -  $S_m = tedKarTedModIleGuncelle(S_m, DMKAPCARPANI)$ 
    - Eğer ( $Maliyet(S_m) < Maliyet(S^*)$ ) ise
        -  $S^* = S_m$ 
-  $sic = sic * SOGUMAHIZI$ 

```

Adım 5: $arRotalariniBul(S^*)$

Adım 6: $S^* = kapSevleriVeTedIlisYogunlas(S^*)$

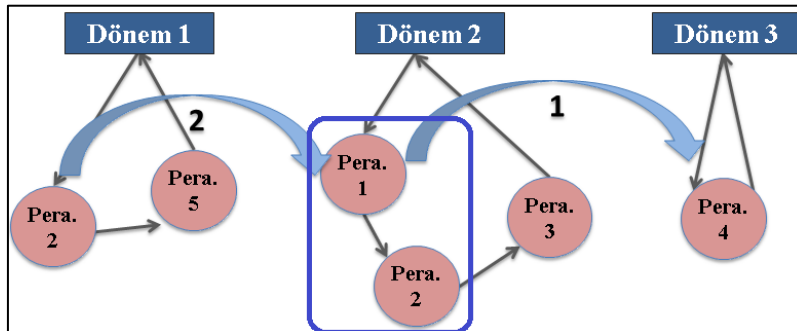
Şekil 4.12. (devam) Hibrit sezgisel çözüm yöntemine ait yoğunlaşma prosedürü

Birinci yoğunlaşma hareketi (Birinci dağıtım sürüklenme hareketi)

dagSur1inciHrkUygula prosedürünce uygulanan birinci dağıtım sürüklenme hareketinde seçilen rassal bir perakendeciye belirli bir dönemde (*donem₁*: rassal olarak seçilir) yapılan dağıtım farklı bir döneme (*donem₂*) taşınmaya çalışılır. Hareket perakendeci ve dönemler kapsamında yasaklı olmadığı zaman uygulanır. Taşınılacak ürün miktarı bulunurken öncelikle *donem₂*'de varsa perakendecinin bulunduğu rota, bu rota'da araç tipi değişikliğine gidilip gidilmeyeceği, perakendeciye *donem₂*'de önceden dağıtım yapılması zorunluluğu, *donem₂*'de perakendeciye özel yeni bir rotanın oluşturulup oluşturulmayacağı parametreleri göz önünde bulundurulur. Ardından perakendecinin atanmış olduğu DM'nin kapasitesi, perakendecinin kapasitesi ve yok satma durumu kısıtları altında taşınılacak ürün miktarı güncellenir. Taşınılacak ürün miktarı bulunduğundan sonra bu miktara yönelik DM tarafından yapılan tedarikler ve dağıtımlar değiştirilir. Daha sonra *donem₁* ve *donem₂*'de etkilenen rotalarda gerekli güncellemeler yapılır. Son olarak perakendecinin etkilenen envanter seviyeleri güncellenir. Bu hareket içerisinde ayrıca belirlenen olasılıklarla perakendecinin atandığı DM'nin kapasite seviyesinin düşürülmesi ve bu DM'deki rotaların yeniden oluşturulması işlemleri yapılır. Yapılan testler sonucunda bu hareketin uygulanabilme oranının %40 seviyelerinde olduğu, uygulandıktan sonra sezgisel çözümü iyileştirme oranının ise %3 seviyesinde olduğu görülmüştür.

İkinci yoğunlaşma hareketi (İkinci dağıtım sürüklenme hareketi)

dagSur2inciHrkUygula prosedürünce uygulanan ikinci dağıtım sürüklenme hareketi Zhang ve diğerleri (2014) tarafından önerilen bir harekettir. Hareket temelde aynı rotayı paylaşan iki perakendeci kapsamında birinci dağıtım sürüklenme hareketinin artarda uygulanmasını içerir. Harekete ait şematik gösterim Şekil 4.13'te sunulmuştur.



Şekil 4.13. İkinci dağıtım sürüklenme hareketinin gösterimi

Hareketle öncelikle seçilen rassal bir perakendeciye ($rasPera_1$) belirli bir dönemde ($donem_2$: rassal olarak seçilir) yapılan dağıtım farklı bir döneme ($donem_3$: $donem_2$ haricinde rassal bir dönem) taşınmaya çalışılır. Ardından boşaltılan dönem ve rotaya farklı bir perakendeciye ait dağıtımı taşımak için $rasPera_1$ 'e taşıma öncesi $donem_2$ 'de yapılan dağıtımda kullanılan rotada bulunan farklı bir rassal perakendeci ($rasPera_2$) seçilir. $rasPera_2$ 'ye dağıtım yapılan $donem_2$ 'den farklı yeni rassal bir dönem ($donem_1$ ile $donem_3$ aynı dönemler olabilir.) de bulunduktan sonra, $donem_1$ 'de $rasPera_2$ 'ye yapılan dağıtım $donem_2$ 'ye taşınmaya çalışılır. Hareket perakendeciler ve dönemler kapsamında yasaklı olmadığı zaman uygulanır. Taşınılacak ürün miktarlarının bulunması, tedariklerin ve dağıtımların değiştirilmesi, etkilenen rotalarda gerekli güncellemelerin yapılması, ilgili perakendecilerin etkilenen envanter seviyelerinin güncellenmesi işlemleri için birinci dağıtım sürüklenme hareketinde uygulanan süreçler uygulanır. Bu hareket içerisinde de belirlenen olasılıklarla perakendecilerin atandığı DM'nin kapasite seviyesinin düşürülmesi ve bu DM'deki rotaların yeniden oluşturulması işlemleri yapılır. Yapılan testler sonucunda bu hareketin uygulanabilme oranının %20 seviyelerinde olduğu, uygulandıktan sonra sezgisel çözümü iyileştirme oranının ise %2 seviyesinde olduğu görülmüştür.

Üçüncü yoğunlaşma hareketi (Üçüncü dağıtım sürüklenme hareketi)

dagSur3uncuHrkUygula prosedürünce uygulanan üçüncü dağıtım sürüklenme hareketi Zhang ve diğerleri (2014) tarafından önerilen bir harekettir. Bu hareketle seçilen rassal bir perakendeciye belirli bir dönemde ($donem_1$: rassal olarak seçilir) yapılan dağıtımın tamamı bu perakendeciye dağıtım yapılan diğer dönemlere taşınmaya çalışılır. Perakendeciye dağıtım yapılan diğer dönemler dağıtım miktarına göre azalan şekilde sıralanarak işlem yapılır. Hareket perakendeci ve dönemler kapsamında yasaklı olmadığı zaman uygulanır. Taşınılacak ürün miktarlarının bulunması, tedariklerin ve dağıtımların değiştirilmesi, etkilenen rotalarda gerekli güncellemelerin yapılması, ilgili perakendecilerin etkilenen envanter seviyelerinin güncellenmesi işlemleri için birinci dağıtım sürüklenme hareketinde uygulanan süreçler uygulanır. Bu hareket içerisinde ayrıca belirlenen olasılıklarla perakendecinin atandığı DM'nin kapasite seviyesinin düşürülmesi ve bu DM'deki rotaların yeniden oluşturulması işlemleri yapılır. Yapılan testler sonucunda bu hareketin uygulanabilme oranının %60 seviyelerinde olduğu, uygulandıktan sonra sezgisel çözümü iyileştirme oranının ise %3 seviyesinde olduğu görülmüştür.

Dördüncü yoğunlaşma hareketi (Dördüncü dağıtım sürüklenme hareketi)

dagSur4uncuHrkUygula prosedürünce uygulanan dördüncü dağıtım sürüklenme hareketi üçüncü dağıtım sürüklenme hareketinin rassal olarak seçilen bir rotadaki perakendecilere artarda uygulanmasıdır. Bu hareket içerisinde de ayrıca belirlenen olasılıklarla perakendecinin atandığı DM'nin kapasite seviyesinin düşürülmesi ve bu DM'deki rotaların yeniden oluşturulması işlemleri yapılır. Yapılan testler sonucunda bu hareketin uygulanabilme oranının %34 seviyelerinde olduğu, uygulandıktan sonra sezgisel çözümü iyileştirme oranının ise %3 seviyesinde olduğu görülmüştür.

Beşinci yoğunlaşma hareketi (Perakendeciyi başka bir açık DM'ye atama hareketi)

Birden fazla açık DM'nin olduğu çözümlerde *peraShiftHrkUygula* prosedürünce seçilen rassal bir perakendeci (*rasPera*) başka bir açık DM'ye atanmaya çalışılır. Atama işleminde öncelikle *rasPera*'nin ürün taleplerine ilişkin önceden atandığı DM (*oncAtanDM*) tarafından yapılan tedarikler ve dağıtımlar iptal edilir. Ardından *rasPera*'ye *oncAtanDM* tarafından yapılan dağıtımların yeni atandığı DM (*yeniAtanDM*) tarafından yapılması için gerekli işlemler yapılır. Bu işlem yapılırken öncelikle dağıtımların *oncAtanDM* tarafından *rasPera*'ye yapıldığı dönemlerde yapılmasına çalışılır. Dağıtımın tamamı veya bir kısmı bu dönemlerde yapılamadığında diğer dönemler kapsamında kalan dağıtım miktarının dağıtılmasına çalışılır. Bu işlemler yapılırken uygun çözüm elde edilememe olasılığı vardır. Hareket sonucunda uygun çözüm elde edildiği takdirde, çözüme ait yer seçimi ve atama konfigürasyonu *denenmisYerSecAtaKonflari* listesinde yoksa bu listeye yeni konfigürasyon olarak eklenir. Bu hareket içerisinde de ayrıca belirlenen olasılıklarla *oncAtanDM*'nin kapasite seviyesinin düşürülmesi, *oncAtanDM* ile *yeniAtanDM*'ye ait rotaların yeniden oluşturulması işlemleri yapılır. Yapılan testler sonucunda bu hareketin uygulanabilme oranının %40 seviyelerinde olduğu, uygulandıktan sonra sezgisel çözümü iyileştirme oranının ise binde bir seviyesinde olduğu görülmüştür.

Altıncı yoğunlaşma hareketi (Farklı DM'lere atanan iki perakendecinin atandığı DM'lerin karşılıklı değiştirilmesi hareketi)

Birden fazla açık DM'nin olduğu çözümlerde *peraSwapHrkUygula* prosedürünce, farklı DM'lere atanan rassal iki perakendecinin seçilerek atandıkları DM'lerin karşılıklı değiştirilmesi hareketi uygulanmaya çalışılır. Rassal perakendecilerin atama işlemleri bir

önceki hareket kullanılarak yapılır. Yapılan işlemler sonucunda uygun çözüm elde edilememe olasılığı vardır. Hareket sonucunda uygun çözüm elde edildiği takdirde, çözüme ait yer seçimi ve atama konfigürasyonu *denenmisYerSecAtaKonflari* listesinde yoksa bu listeye yeni konfigürasyon olarak eklenir. Bu hareket içerisinde de ayrıca belirlenen olasılıklarla *oncAtanDM* ve *yeniAtanDM*'ye ait kapasite seviyelerinin düşürülmesi ile *oncAtanDM* ve *yeniAtanDM*'ye ait rotaların yeniden oluşturulması işlemleri yapılır. Yapılan testler sonucunda bu hareketin uygulanabilme oranının %25 seviyelerinde olduğu, uygulandıktan sonra sezgisel çözümü iyileştirme oranının ise on binde üç seviyesinde olduğu görülmüştür.

Yedinci yoğunlaşma hareketi (Tüm açık DM'lere ait rotaların yeniden bulunması hareketi)

Bu hareket kapsamında *arRotalariniBul* prosedürü kullanılarak mevcut sezgisel çözümdeki açık DM'lere ait rotalar yeniden bulunur. Yapılan testler sonucunda bu hareketin sezgisel çözümü iyileştirme oranının binde iki seviyesinde olduğu görülmüştür.

Sekizinci yoğunlaşma hareketi (Tüm açık DM'lerin gerekliyse kapasite seviyelerinin değiştirilmesi hareketi)

Yoğunlaşma evresinin değiştiği zaman uygulanabilen bu hareket kapsamında *aDMlerGerKapSevDegistir* prosedürü ile mevcut sezgisel çözümdeki açık DM'lerden doluluk oranı, doluluk oranı üst sınırını geçen veya doluluk oranı alt sınırının altına inen DM'lerin kapasite seviyesi mümkünse büyütülmekte veya küçültülmektedir. Yapılan testler sonucunda bu hareketin sezgisel çözümü iyileştirme oranının on binde 5 seviyesinde olduğu görülmüştür.

Dokuzuncu yoğunlaşma hareketi (Tüm açık DM'lere ait tedarik kararlarının düzenlenmesi hareketi)

İkiye bölünebilen yoğunlaşma evrelerinde *aDMlerGerTedDuzenle* prosedürü tarafından uygulanan bu hareketin amacı doluluk oranı, doluluk oranı üst sınırını geçen açık DM'lere ait tedarik kararlarının düzenlenerek bu DM'lerde uygun boş kapasitenin oluşturulması ve böylece yoğunlaşma hareketlerinin uygulanabilme olasılığının artırılmasıdır. Bu hareket kapsamında doluluk oranı, doluluk oranı üst sınırını geçen açık DM'lerin tedarik kararları sırayla M3 matematiksel modelini kullanan *tedKarTedModIleGuncelle* alt prosedürü

aracılığıyla en iyilenmektedir. Tedarik kararlarının değiştirilmesi sonucunda, ilgili DM'nin doluluk oranının doluluk oranı üst sınırını geçmemesi için modeldeki ilgili kapasite kısıtı kullanılan *DMKAPCARPANI* değişkeni ile çarpılmaktadır. İlgili DM'nin tedarik kararları modelin çözümü sonucunda uygun çözüm bulunduğu zaman güncellenmekte, diğer durumda güncellenmemektedir. Yapılan testler sonucunda bu hareketin sezgisel çözümü iyileştirme oranının %9 seviyesinde olduğu görülmüştür.

Aşağıda sunulan M3 matematiksel modeli *tedKarTedModIleGuncelle* alt prosedürü tarafından çağrılmaktadır. Model çağrılırken modele girdi olarak ilgili açık DM'ler ve bu DM'lerin kapasite kısıtlarında kullanılacak *DMKAPCARPANI* değişkeni verilmektedir. Modelle, ilgili açık DM'lere ait dönemsel dağıtımlar ve dönem başı stokları kullanılarak DM kapasite kısıtları altında dönemsel tedarik kararları en iyilenmektedir.

Dizin kümeleri

N : ürünler (üreticiler) kümesi,

I^0 : açık DM'ler kümesi,

$H = \{1, 2, \dots, p\}$: dönemler kümesi,

$H^0 = \{0\} \cup H = \{0, 1, 2, \dots, p\}$: dönem başını da içeren dönemler kümesi.

Parametreler

D_{itn} : i . açık DM tarafından t döneminde dağıtımı yapılan n . ürün miktarı

$(\forall i \in I^0, \forall t \in H, \forall n \in N)$

E_i : i . açık DM'nin açılmış olduğu kapasite seviyesi $(\forall i \in I^0, E_i \in E)$,

RC_{in} : i . açık DM tarafından n . ürünün tedarik edilme maliyeti $(\forall i \in I^0, \forall n \in N)$,

h_{itn}

: i . açık DM'de, t dönemi için n . ürüne ait birim stok tutma ve eskime maliyeti toplamı

$$(\forall i \in I^o, \forall t \in H, \forall n \in N)$$

$W_i^{E_i}$: E_i kapasite seviyesinde açık olan i . DM'nin kapasitesi ($\forall i \in I^o, E_i \in E$),

IS_{in} : i . açık DM'nin n . ürüne ait dönem başı stok miktarı ($\forall i \in I^o, \forall n \in N$),

α : tedarik maliyetine ilişkin ağırlık katsayısı,

θ : DM'lere ait stok tutma ve eskime maliyetine ilişkin ağırlık katsayısı.

İkili karar değişkenleri

$$z_{itn} : \begin{cases} 1 & i. \text{ açık DM tarafından } t \text{ döneminde } n. \text{ üründen tedarik edilirse} \\ 0 & \text{dd} \end{cases} \quad (\forall i \in I^o, \forall t \in H, \forall n \in N)$$

Ek karar değişkenleri

s_{itn} : i . açık DM tarafından t döneminde tedarik edilen n . ürün miktarı

$$(\forall i \in I^o, \forall t \in H, \forall n \in N)$$

q_{itn} : i . açık DM'nin t döneminde envanterinde bulunan n . ürün miktarı

$$(\forall i \in I^o, \forall t \in H^0, \forall n \in N)$$

Model (M3)

$$\alpha \sum_{i \in I^o} \sum_{t \in H} \sum_{n \in N} RC_{in} \cdot z_{itn} + \quad (4.24)$$

$$\theta \sum_{i \in I^o} \sum_{n \in N} \sum_{t \in H} h_{itn} \cdot q_{itn} \quad (4.25)$$

Kısıtlar

$$q_{i(t-1)n} + s_{itn} - q_{itn} = D_{itn} \quad \forall i \in I^0, \forall t \in H, \forall n \in N \quad (4.26)$$

$$q_{i0n} = IS_{in} \quad \forall i \in I^0, \forall n \in N \quad (4.27)$$

$$\sum_{n \in N} (q_{i(t-1)n} + s_{itn}) \leq DMKAPCARPANI \cdot W_i^{E_i} \quad \forall i \in I^0, \forall t \in H \quad (4.28)$$

$$s_{itn} \leq DMKAPCARPANI \cdot W_i^{E_i} \cdot z_{itn} \quad \forall i \in I^0, \forall t \in H, \forall n \in N \quad (4.29)$$

$$z_{itn} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I^0, \forall t \in H, \forall n \in N \quad (4.30)$$

$$s_{itn} \geq 0 \quad \forall i \in I^0, \forall t \in H, \forall n \in N \quad (4.31)$$

$$q_{itn} \geq 0 \quad \forall i \in I^0, \forall t \in H^0, \forall n \in N \quad (4.32)$$

Amaç fonksiyonunda Eş. 4.24 ile açık DM'lerce yapılan ürün tedariklerinin maliyeti ve Eş. 4.25 ile açık DM'lere ait stok tutma ve eskime maliyeti toplamı ifade edilmiştir. Eş. 4.26 numaralı kısıt ile açık DM'lere ait stok denge denklemleri ifade edilmektedir. Eş. 4.27 ile açık DM'lerin dönem başı stokları atanmaktadır. Eş. 4.28 numaralı kısıt ile açık DM'lere ait kapasitelerin aşılamayacağı ifade edilmiştir. Eş. 4.29 numaralı kısıt ile açık DM'lerce üreticilerden ürün tedariki yapılması sağlanmaktadır. Eş. 4.30 - Eş. 4.32 numaralı kısıtlar ise değişkenlerin alabilecekleri değerleri ifade eden kısıtlardır.

4.4.3. Farklılaştırma

Farklılaştırma (*farklılastir*) prosedüründe prosedüre girdi olarak alınan çözümün yer seçimi ve atama kararları mümkünse yeni bir çözüm elde edilene kadar değiştirilmekte ve elde edilen yeni çözüm çıktı olarak döndürülmektedir. Karşılaştırılan iki çözümde ancak aynı DM'lerin açık olduğu ve bu DM'lere atanan perakendecilerin en az yarısının karşılıklı olarak aynı olduğu durumda bu iki çözümün yer seçimi ve atama kararlarının aynı olduğu varsayımı kabul edilmiştir.

Yeni bir çözüm elde etmek için bu prosedüre girdi olarak verilen çözüme *ACIKDMYIKAPAMAOLA* parametresi kullanılarak tanımlı iki hareketten biri uygulanmaktadır. Üretilen rassal sayının bu parametre değerinden düşük olduğu durumda uygulanan birinci harekette, açık olan bir DM kapatılmaya çalışılmakta, diğer deyişle bu DM'ye atanan perakendecilerin tamamı *KAPALIDMLERONCORANI* parametresi kullanılarak belirlenen olasılıkla açık olan diğer DM'lere veya açılacak yeni DM'lere atanmaktadır. İkinci harekette ise, açık olan bir DM'nin perakendecilerinin *ATAPERALERINORANI* parametresi kullanılarak belirlenen kısmı bir önceki hareketteki gibi açık olan diğer DM'lere veya açılacak yeni DM'lere atanmaktadır. Her iki hareket kapsamında üzerinde işlem yapılacak açık DM, belirlenen olasılıkla ya kapasite kullanım oranı düşük olan DM'lerin seçilme olasılıkları yüksek olacak şekilde, ya da tahmini toplam maliyeti (*yerSecveAtaKarBul* prosedürünce tüm ADM'ler için hesaplanmıştı.) yüksek olan DM'lerin seçilme olasılıkları yüksek olacak şekilde roulette-wheel metodu kullanılarak seçilmektedir. Her iki hareket kapsamında açılacak DM'ler seçilirken *KAPALIDMLERRASACIORANI* parametresi kullanılarak rasgele seçim yapılmakta veya tahmini toplam maliyeti düşük olan DM'lere öncelik verilmektedir.

Farklılaştırma prosedürünün sonunda; açık olan DM'lerin kapasite seviyeleri uygun en küçük seviyeye indirilmekte, doluluk oranı doluluk oranı üst sınırını geçen açık DM'lerin tedarik kararları sırayla *tedKarTedModIleGuncelle* alt prosedürü aracılığıyla en iyilenmekte, kendisinden perakendeci çıkarılan veya kendisine perakendeci atanan DM'lerin rotaları belirli olasılıkla yeniden bulunmakta, yeni çözüme ait yer seçimi ve atama konfigürasyonu *denenmisYerSecAtaKonflari* listesine eklenmektedir.

4.4.4. Kullanılan parametreler

Hibrit çözüm metodunun yoğunlaşma sürecinde kullanılan tavlama benzetimine ait *BASSICAKLIGI*, *DONMASICAKLIGI*, *SOGUMAHIZI*, *SICTEKRARSAYISI*, *SICLARARTARDAIYILESMEMESAYISI* parametrelerine atanacak uygun değerlerin bulunması için Zhang ve diğerleri (2014) tarafından kullanılan değer aralıkları, *YOGEVRESAYISI* parametresi içinse 5-20 değer aralığı kullanılmıştır. Çözüm kalitesini büyük ölçüde etkileyen bu parametrelere atanacak değerleri bulmak maksadıyla bölüm 4.3.3'te araç rotalarının bulunmasında kullanılan parametrelere değer atamasında kullanılan yöntem (Cioppa ve Lucas (2007) tarafından yapılan çalışma sonucu oluşturulan

M.S. Excel dosyası ve uygulanan süreç) kullanılmıştır. Bu sabitlere atanan değerler ile yoğunlaşma sürecinde kullanılan diğer önemli parametrelere atanan değerleri gösteren liste Çizelge 4.10'da sunulmuştur.

Çizelge 4.10. Yoğunlaşmada kullanılan parametrelere atanan değerler

Parametre	Değeri
<i>BASSICAKLIGI</i> (Başlangıç sıcaklığı)	45
<i>DONMASICAKLIGI</i> (Donma sıcaklığı)	1
<i>SOGUMAHIZI</i> (Soğuma hızı)	0,93
<i>SICTEKRARSAYISI</i> (Her bir sıcaklıktaki tekrar sayısı)	400
<i>SICLARARTARDAIYLESMEMESAYISI</i> (En iyi çözümün sıcaklıklar kapsamında artarda iyileşmeme sayısı)	3
<i>YOGEVRESAYISI</i> (Başlangıç sıcaklığından donma sıcaklığına kadar olan süreçte evre sayısı)	12
<i>ENIYISEZCOZUMATAORANI</i> (Yoğunlaşmada en iyi çözümün <i>SICLARARTARDAIYLESMEMESAYISI</i> kadar art arda iyileşmediği zaman mevcut çözüme en iyi çözümü atama oranı)	0,75
<i>DAGSURHRKLERIROTABULORANI</i> (Dağıtım sürüklenme hareketlerinin uygulanmasından sonra etkilenen DM'nin araç rotalarının yeniden bulunması olasılığı)	0,1
<i>PERASHIFTSWAPHRKLERIROTABULORANI</i> (Perakendeci Shift ve Swap hareketlerinin uygulanmasından sonra etkilenen DM'lerin araç rotalarının yeniden bulunması olasılığı)	0,2
<i>DMDOLUORANIUSTSINIRI</i> (Sekizinci ve dokuzuncu hareketlerde kullanılan DM doluluk oranı üst sınırı)	0,85
<i>DMDOLUORANIALTSINIRI</i> (Sekizinci harekette kullanılan DM doluluk oranı alt sınırı)	0,70
* <i>DAGSURHRKLERIKAPSEVDUSORANI</i> (Dağıtım sürüklenme hareketlerinin uygulanmasından sonra etkilenen DM'nin kapasite seviyesinin düşürülmesinin denenme olasılığı)	0,1-0,2
* <i>PERASHIFTSWAPHRKLERIKAPSEVDUSORANI</i> (Perakendeci Shift ve Swap hareketlerinin uygulanmasından sonra etkilenen DM'lerin kapasite seviyesinin düşürülmesinin denenme olasılığı)	0,1-0,2-0,3
* <i>DMKAPCARPANI</i> (Tedarik modelinde DM kapasitelerinin çarpıldığı katsayı)	0,80-0,85-0,90

* Parametreye atanan değer içinde bulunulan yoğunlaşma evresine göre değişmektedir.

Birçok problemin çözülmesi sonucunda elde edilen sonuçlar ışığında yoğunlaşma sürecinde olasılıksal olarak uygulanan hareketlerin uygulanma oranlarına ilişkin değerler Çizelge 4.11'de, hibrit çözüm metodunun farklılaştırma sürecinde kullanılan önemli parametrelere atanan değerler ise Çizelge 4.12'de sunulmuştur.

Çizelge 4.11. Olasılıksal uygulanan yoğunlaşma hareketlerinin uygulanma oranları

Hareket	Açık DM Sayısı > 1	Açık DM Sayısı = 1
Birinci dağıtım sürüklenme hareketi	0,30	0,34
İkinci dağıtım sürüklenme hareketi	0,10	0,10
Üçüncü dağıtım sürüklenme hareketi	0,40	0,44
Dördüncü dağıtım sürüklenme hareketi	0,10	0,10
Perakendeci Shift hareketi	0,05	-
Perakendeci Swap hareketi	0,03	-
Tüm açık DM'lere ait rotaların yeniden bulunması hareketi	0,02	0,02

Çizelge 4.12. Farklılaştırma sürecinde kullanılan parametrelere atanan değerler

Parametre	Değeri
<i>ACIKDMYIKAPAMAOLA</i> (Farklılaştırma kapsamında seçilen açık DM'nin kapatılma olasılığı)	0,8
<i>ATAPERALERINORANI</i> (Farklılaştırma kapsamında seçilen açık DM'nin hangi oranda perakendecilerinin açık/açılacak diğer DM'lere atanacağı)	0,6-0,8
* <i>KAPALIDMLERONCORANI</i> (Açık bir DM'nin perakendecileri atanırken Kapalı DM'lere öncelik verilmesi oranı)	0,7-0,3
* <i>KAPALIDMLERRASACIORANI</i> (Kapalı DM'lerden açılacak DM seçilirken DM'lerin rassal seçilme oranı)	0,7-0,8
<i>KULORANIDUSDMLERONCORANI</i> (Farklılaştırma kapsamında açık DM seçilirken kullanım oranı düşük DM'lere öncelik verilme oranı)	0,4
<i>DMKAPCARPANI</i> (Tedarik modelinde DM kapasitelerinin çarpıldığı katsayı)	0,8

* Parametreye atanan değer içinde bulunulan farklılaştırma evresine göre değişmektedir.

4.5. Sezgisel Çözüm Yöntemleri'nin Analizi

Çok küçük boyutlu örnek problemlerin 2 saat çalışma sınırı verilen ILOG CPLEX çözücüsü, sıralı ve hibrit sezgisel çözüm metotları ile çözülmesi sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.13'te görülmektedir. Çizelgede birinci sütunda üretilen 20 adet rassal örnek problemin ismi bulunmaktadır. 2 ve 3. sütunlarda sırasıyla 1200 sn ve 7200 sn içerisinde CPLEX ile elde edilen üst sınır ile alt sınır arasındaki yüzde sapma değerleri; 4. sütunda 7200 sn içerisinde bulunan en iyi çözüme ait amaç fonksiyonu değeri; 5. sütunda ise en iyi çözümün ilk defa bulunduğu ana kadar geçen süre verilmiştir. 6-8. sütunlarda SSÇM'nin, 9-11. sütunlarda ise HSÇM'nin 5 defa koşturulmasıyla elde edilen ortalama sonuçlar bulunmaktadır. Bu sütunlarda sırayla ortalama maliyet, CPLEX ile bulunulan maliyete göre yüzde sapma değeri ve ortalama çözüm süresi görülmektedir.

Çizelge 4.13'teki değerlere bakıldığında 20 çok küçük boyutlu örnek probleminden sadece 5'inin 7200 sn çözüm süresi kısıtı altında CPLEX ile kesin bir şekilde çözüldüğü ve bulunan çözümlerin kalitesinin problem boyutunun büyümesiyle hızlı bir şekilde kötüleştiği görülmektedir. Bu sonuç heterojen araç filolu ÇÜ_YS_ERP'in ne kadar zor bir problem olduğunu teyit etmektedir. CPLEX ile ortalama çözüm süresi 4070,5 sn (1,1 saat)'dir. Kesin veya neredeyse kesin bir şekilde çözülen ilk 10 örnek problemin sonuçlarına bakıldığında, CPLEX ile elde edilen çözümlerle SSÇM ve HSÇM arasındaki ortalama yüzde sapma değerlerinin sırasıyla %7,4 ve %6,1 olduğu görülmektedir. Bu değerler yüksek olmasına rağmen bu denli zor bir problemde bu değerlerin kabul edilebilir seviyede olduğu değerlendirilmiştir. Buna ilaveten tüm örnek problemler dikkate alındığında ortalamada SSÇM ile bulunan çözümlerin çözüm kalitesi açısından %51,8, HSÇM ile bulunan çözümlerin ise %53,9 CPLEX ile bulunan çözümlere nazaran daha iyi olduğu görülmektedir. CPLEX çözücü ile 10 adet, SSÇM ile 4 adet ve HSÇM ile 7 adet en iyi çözümün bulunduğu görülmektedir. Ortalamada HSÇM'nin SSÇM'ye göre daha iyi çözümler ürettiği, fakat özellikle iki örnek problemde SSÇM'nin HSÇM'ye göre daha iyi çözüm ürettiği dikkat çekmektedir. Bu durumun SSÇM ile envanter yönetimi kararlarının kesin bir şekilde bulunmasının getirdiği üstünlükten kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Sezgisel metotlar için Çizelge 4.13'te yer alan çözüm sürelerine bakıldığında problemlerin çözümü için ortalamada SSÇM'nin yalnızca 2,8 sn, HSÇM'nin ise 12,8 sn (SSÇM'nin yaklaşık 5 katı) harcadığını görmekteyiz. SSÇM'nin ortalama çözüm süresinin HSÇM'ye oranla çok düşük olmasının ana sebebinin envanter yönetim kararlarının kesin bir şekilde bulunduğu SSÇM'de CPLEX çözücüsünün paralel bir şekilde tüm işlemci çekirdeklerini (32 çekirdek) kullanması (İşlemcinin ortalama %99 kullanımı), tek bir işlemci çekirdeğinde çalışan HSÇM'nin ise işlemciyi ortalama %5 kullanması olduğu görülmüştür. Sonuç olarak her iki çözüm metodunun çözüm süreleri kabul edilebilir seviyededir.

Dikkat çeken önemli bir bulgu ise zor bir örnek problem olan 5-20-6-4-P1 problemine ait sonuçlardır. CPLEX çözücüsü 20 dak. içerisinde problem için çözüm bulamamış, 2 saatlik süre içerisinde bulduğu çözüm ise 436645,1 amaç fonksiyonu değerine sahip olmuştur. Diğer taraftan SSÇM 47,4 sn içerisinde 115558,4 (%277,8 düşük) amaç fonksiyonuna sahip (En iyi çözüme ait değer) çözüm bulmuştur. Problemin çözümü incelendiğinde bu sürenin neredeyse tamamı olan 47,2 sn'nin M2 modeli aracılığıyla envanter yönetimi kararlarının kesin bir şekilde bulunması için harcandığı görülmüştür. HSÇM tarafından 62

sn içerisinde bulunan en iyi çözüm ise 118897,7 amaç fonksiyonuna sahip olup bu değer SSÇM'ye nazaran %2,8 kötüdür.



Çizelge 4.13. Çok küçük boyutlu örnek problemlerin çözüm analizi

Örnek Pr.	ILOG-CPLEX				SSÇM			HSÇM			
	YSD (1200 sn)	YSD (7200 sn)	Maliyet	CPU (sn)	Maliyet	YSD ILOG	CPU (sn)	Maliyet	YSD ILOG	YSD SSÇM	CPU (sn)
3-5-3-2-P1	0,0	0,0	35267,9	220	36952,5	4,6	0,1	36643,6	3,8	-0,8	4,2
3-5-3-2-P2	0,0	0,0	30858,4	45	35045,0	11,9	0,1	33006,8	6,5	-6,2	3,0
3-5-3-3-P1	7,9	2,4	32273,5	3470	35081,8	8,0	0,1	33085,3	2,5	-6,0	4,1
3-5-3-3-P2	3,3	0,0	37305,3	800	37653,9	0,9	0,1	38002,1	1,8	0,9	2,8
3-5-3-3-P3	0,0	0,0	29107,2	1379	29107,2	0,0	0,2	30585,0	4,8	4,8	3,2
3-5-4-2-P1	12,2	0,0	31552,6	3750	31786,9	0,7	0,2	32877,2	4,0	3,3	4,5
3-5-4-2-P2	6,8	2,0	34855,1	350	38254,0	8,9	0,2	38554,6	9,6	0,8	4,5
3-5-4-2-P3	10,1	3,3	33480,8	4700	36148,7	7,4	0,1	36416,3	8,1	0,7	2,6
3-6-3-2-P1	14,6	9,7	38556,4	1966	47082,1	18,1	0,1	43580,0	11,5	-8,0	2,5
3-6-4-3-P1	28,9	14,6	35581,4	7200	41216,3	13,7	0,2	38755,4	8,2	-6,3	3,6
5-10-4-2-P1	76,0	56,9	84643,5	7051	66101,1	-28,1	0,3	65867,8	-28,5	-0,4	10,9
5-10-5-3-P1	73,0	60,4	114260,7	7185	91432,5	-25,0	0,9	85159,8	-34,2	-7,4	18,6
5-12-4-4-P1	78,2	69,4	139721,1	7195	78330,1	-78,4	0,5	74669,7	-87,1	-4,9	17,9
5-12-5-3-P1	79,5	72,1	143038,5	7200	76196,6	-87,7	1,1	74408,4	-92,2	-2,4	19,1
5-15-3-3-P1	79,0	74,7	154831,3	7190	87291,8	-77,4	0,2	83214,9	-86,1	-4,9	12,8
5-15-4-2-P1	80,1	76,9	156552,6	5050	71446,8	-119,1	0,4	71245,0	-119,7	-0,3	17,0
5-15-4-4-P1	89,0	74,7	174019,7	5828	90018,0	-93,3	0,9	90261,9	-92,8	0,3	18,1
5-15-4-7-P1	86,5	78,0	251935,1	3575	113323,5	-122,3	2,1	113618,3	-121,7	0,3	22,1
5-15-5-3-P1	84,6	84,0	243900,1	2450	77672,0	-214,0	1,2	77267,7	-215,7	-0,5	22,4
5-20-6-4-P1	100,0	89,9	436645,1	4805	119599,3	-265,1	47,4	120897,7	-261,2	1,1	62,0
Ortalama	45,5	38,4	111919,3	4070,5	61987,0	-51,8	2,8	60905,9	-53,9	-1,8	12,8

Küçük, orta ve büyük boyutlu örnek problemlerin sezgisel metotlarla çözülmesi sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.14'te görülmektedir. SSÇM'nin 5 defa çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçların gösterildiği 2-5. sütunlarda sırasıyla maliyet, çözüm süresi, envanter yönetimi kararlarının bulunması için geçen süre ve son olarak envanter yönetimi kararlarının bulunması için geçen sürenin toplam çözüm süresi içerisindeki yüzdesi; HSÇM'nin 5 defa çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçların gösterildiği 6-8. sütunlarda ise sırasıyla maliyet, SSÇM ile bulunulan maliyete göre yüzde sapma değeri ve çözüm süresi ortalamaları görülmektedir.

Çizelge 4.14. Küçük, orta ve büyük boyutlu örnek problemlerin çözüm analizi

Örnek Pr.	SSÇM				HSÇM		
	Maliyet	CPU (sn)	EY CPU (sn)	EYY (%)	Maliyet	YSD SSÇM	CPU (sn)
5-50-3-3-P1	172939,9	0,5	0,3	66,67	167457,3	-3,3	66,1
5-50-3-3-P2	208332,0	0,5	0,4	76,60	207016,9	-0,6	67,7
5-50-3-3-P3	227655,0	0,3	0,2	69,70	221462,7	-2,8	65,9
5-50-3-3-P4	230679,9	0,4	0,3	75,68	215962,2	-6,8	66,3
5-50-3-3-P5	176528,9	0,4	0,3	78,57	162825,3	-8,4	65,1
5-50-3-3-P6	185654,5	0,5	0,4	85,71	183376,9	-1,2	64,1
5-50-3-3-P7	218605,2	0,5	0,3	73,33	212904,7	-2,7	69,1
5-50-3-3-P8	197649,8	0,8	0,7	88,16	197049,9	-0,3	59
Ortalama	202255,6	0,5	0,4	76,8	196007,0	-3,3	65,4
15-100-5-5-P1	514177,6	141,8	141,5	99,77	493879,2	-4,1	414,5
15-100-5-5-P2	502955,3	244,1	243,7	99,84	485170,5	-3,7	393,7
15-100-5-5-P3	647847,3	121,8	121,5	99,70	627396,9	-3,3	422,6
15-100-5-5-P4	629868,5	193,1	192,8	99,82	598746,6	-5,2	433,2
15-100-5-5-P5	578960,6	111,8	111,4	99,69	560799,6	-3,2	428,4
15-100-5-5-P6	504061,3	147,8	147,5	99,79	476609,8	-5,8	418,6
15-100-5-5-P7	445588,7	91,7	91,4	99,64	436400,7	-2,1	409,8
15-100-5-5-P8	595688,3	127,8	127,5	99,74	563701,3	-5,7	417,7
Ortalama	552393,4	147,5	147,1	99,8	530338,1	-4,1	417,3
20-150-7-7-P1	1214217,0	3402,7	3382,1	99,39	1129150,2	-7,5	1182,6
20-150-7-7-P2	1042158,5	3602,7	3602,1	99,98	983087,1	-6,0	1294,7
20-150-7-7-P3	1064822,3	3502,9	3475,3	99,21	1023313,9	-4,1	1253,8
20-150-7-7-P4	1115968,3	3627,2	3626,6	99,98	1104168,2	-1,1	1180,7
20-150-7-7-P5	1041073,8	3727,4	3696,8	99,18	1004549,8	-3,6	1182,8
20-150-7-7-P6	1085093,8	3802,3	3781,7	99,46	1029652,1	-5,4	1218,6
20-150-7-7-P7	1122033,8	3918,9	3898,3	99,47	1060381,0	-5,8	1260,7
20-150-7-7-P8	1083029,1	3686,2	3672,6	99,63	1052506,5	-2,9	1224,1
Ortalama	1096049,6	3658,8	3641,9	99,5	1048351,1	-4,6	1224,8

Çizelge 4.14'teki değerlere çözüm kalitesi açısından bakıldığında HSÇM'nin problemlerin tamamında olmak üzere ortalamada küçük boyutlu problemlerde %3,3, orta boyutlu problemlerde %4,1 ve büyük boyutlu problemlerde %4,6 SSÇM'den daha iyi çözüm

bulduğu görülmektedir. Aradaki çözüm kalitesi farkının yüksek olmamasının nedeninin SSÇM’de envanter yönetimi kararlarının kesin bir şekilde bulunmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Maliyet farkının belirgin olduğu 5-50-3-3-P5 problemi kapsamında iki metotla üretilen çözümler incelendiğinde HSCM ile bulunan çözümlerde 1 adet DM’nin buna nazaran SSÇM ile bulunan çözümlerde 2 adet DM’nin açıldığı ve bu nedenle aradaki maliyet farkının oluştuğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.14’te yer alan küçük boyutlu örnek problemlerin çözüm sürelerine bakıldığında SSÇM ile ortalama çözüm süresinin 0,5 sn olduğu ve bu sürenin ortalama 0,1 sn’sinin (%20) yer seçimi, atama ve rotalama kararlarının bulunması için, kalan 0,4 sn’sinin (%80) ise envanter yönetimi kararlarının bulunması için kullanıldığı görülmektedir. Bu problemler için HSCM ile ortalama çözüm süresinin yaklaşık 65,4 sn olduğu, bunun da SSÇM ile elde edilen ortalama çözüm süresinin yaklaşık 130 katı olduğu görülmektedir. Orta boyutlu örnek problemlerin çözüm süresine bakıldığında SSÇM ile ortalama çözüm süresinin 147,5 sn olduğu ve bu sürenin yalnızca 0,4 sn’sinin yer seçimi, atama ve rotalama kararlarının bulunması için kullanıldığı envanter yönetimi kararlarının bulunması için ise neredeyse toplam çözüm süresinin tamamının kullanıldığı görülmektedir. Bu problemler için HSCM ile ortalama çözüm süresinin yaklaşık 417,3 sn olduğu, bunun da SSÇM ile elde edilen ortalama çözüm süresinin yaklaşık 3 katı olduğu görülmektedir. Büyük boyutlu örnek problemlerin çözüm süresine bakıldığında SSÇM ile ortalama çözüm süresinin 3658,8 sn (yaklaşık bir saat) olduğu ve çözüm süresi dağılımının orta boyutlu örnek problemlerin çözüm süreleriyle neredeyse aynı olduğunu görmekteyiz. Bu problemler için HSCM ile ortalama çözüm süresinin 1224,8 sn (yaklaşık 20 dak.) olduğu, bunun da SSÇM ile elde edilen ortalama çözüm süresinin yaklaşık üçte biri olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda; SSÇM ile elde edilen ortalama çözüm süresinin envanter yönetimi kararlarının M2 modelinin optimal şekilde çözülmesiyle bulunduğundan hızlı şekilde arttığı ve özellikle büyük boyutlu problemler için HSCM ile elde edilen ortalama çözüm süresini aştığı ve uzun süre aldığını görmekteyiz. Sonuç olarak üzerinde çalışılan problemin zorluğu dikkate alındığında her iki sezgisel metodun da ortalama çözüm sürelerinin kabul edilebilir seviyede olduğu değerlendirilmektedir.

4.6. Modeldeki Maliyet Katsayılarına İlişkin Analiz

M1 modelindeki tedarik, dağıtım, ADM ve perakendeci stok tutma ve eskime maliyetleri için kullanılan katsayıların çözümleri nasıl etilediğinin belirlenmesi maksadıyla, orta boyutlu problemler üzerinde bir katsayının değıştirilip diğierlerinin sabit tutulmasıyla elde edilen analizler aşğıdaki çizelgelerde sunulmuştur. Çizelgelerde her bir problemin HSCM ile 5 adet koşumu sonucu bulunan en iyi çözümlere ait değierler verilmiştir.

Tedarik maliyeti katsayısına ilişkin analizin sunulduğı Çizelge 4.15'teki değierlere bakıldığında, tedarik maliyeti katsayısının 10 katına çıkarıldığında zaman elde edilen çözümlerde doğrudan beklenen bir şekilde açılan DM'lerce yapılan toplam tedarik sayılarının düştüğü görülmektedir. Diğier taraftan az sayıda fakat yüksek ürün miktarlarının tedarik edilebilmesi için açılan DM'lerin kapasite miktarları toplamının arttığı, tedarik edilen yüksek miktarlardaki ürünlerin açılan DM'lerce stokta tutulmasından dolayı bu DM'lerdeki toplam stok miktarlarının da arttığı gözlemlenmiştir.

Dağıtım maliyeti katsayısına ilişkin analizin sunulduğı Çizelge 4.16'daki değierlere bakıldığında, dağıtım maliyeti katsayısının 10 katına çıkarıldığında zaman elde edilen çözümlerde doğrudan beklenen bir şekilde açılan DM'lerce yapılan toplam dağıtım sayılarının düştüğü görülmektedir. Diğier taraftan dağıtım maliyetini düşürmek maksadıyla açık olan dağıtım merkezi sayısı ve aynı doğrultuda açılan DM'lerin kapasite miktarları toplamının arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca daha az dağıtım yapıldığından dolayı açılan DM'lerdeki ve perakendecilerdeki toplam stok miktarlarının da arttığı dikkat çekmektedir.

Çizelge 4.15. Tedarik maliyeti katsayısı analizi

Katsayı Değierleri	$\alpha = 1, \beta = 1, \theta = 1, \gamma = 1$			$\alpha = 10, \beta = 1, \theta = 1, \gamma = 1$		
Örnek Problem	TOP.KAP. MIK.	TOP.TED. SAYISI	AÇIK DM.LER TOP.ST. MIK.	TOP.KAP. MIK.	TOP.TED. SAYISI	AÇIK DM.LER TOP.ST. MIK.
15-10-5-5-P1	5159	49	643	5371	43	1199
15-10-5-5-P2	5277	46	834	6087	39	3303
15-10-5-5-P3	5410	48	503	6431	38	2715
15-10-5-5-P4	5137	50	0	5570	45	2148
15-10-5-5-P5	5392	48	644	5958	41	2894
15-10-5-5-P6	5716	40	2315	5911	39	2941
Ortalama	5348,5	46,8	823,2	5888,0	40,8	2533,3

* KAP.: Kapasite, MIK.: Miktar, ST.: Stok, TED.: Tedarik, TOP.: Toplam

Çizelge 4.16. Dağıtım maliyeti katsayısı analizi

Katsayı Değerleri	$\alpha = 1, \beta = 1, \theta = 1, \gamma = 1$					$\alpha = 1, \beta = 10, \theta = 1, \gamma = 1$				
Örnek Problem	AÇIK DM. SA.	TOP. KAP. MIK.	TOP. DAĞ. SA.	AÇIK DM.LER TOP.ST.MIK.	PERA.LER TOP.ST.MIK.	AÇIK DM. SA.	TOP. KAP. MIK.	TOP. DAĞ. SA.	AÇIK DM.LER TOP.ST.MIK.	PERA.LER TOP.ST.MIK.
15-10-5-5-P1	2	5159	426	643	6404	3	7226	322	6112	13862
15-10-5-5-P2	2	5277	415	834	7056	4	7847	326	6419	14232
15-10-5-5-P3	2	5410	380	503	8410	3	7701	303	6576	15643
15-10-5-5-P4	2	5137	378	0	9575	3	6701	299	3780	14375
15-10-5-5-P5	2	5392	390	644	8052	4	9031	321	9346	13532
15-10-5-5-P6	2	5716	399	2315	8449	4	8805	297	9797	15910
Ortalama	2,0	5348,5	398,0	823,2	7991,0	3,5	7885,2	311,3	7005,0	14592,3

* DAĞ.: Dağıtım, KAP.: Kapasite, MIK.: Miktar, SA.: Sayısı, ST.: Stok, TOP.: Toplam

Çizelge 4.17. Perakendecilere ait stok tutma ve eskime maliyeti katsayısı analizi

Katsayı Değerleri	$\alpha = 1, \beta = 1, \theta = 1, \gamma = 1$				$\alpha = 1, \beta = 1, \theta = 1, \gamma = 100$			
Örnek Problem	TOP.TED. SAYISI	TOP.DAĞ. SAYISI	AÇIK DM.LER TOP.ST.MIK.	PERA.LER TOP.ST.MIK.	TOP.TED. SAYISI	TOP.DAĞ. SAYISI	AÇIK DM.LER TOP.ST.MIK.	PERA.LER TOP.ST.MIK.
15-10-5-5-P1	49	426	643	6404	46	498	1980	89
15-10-5-5-P2	46	415	834	7056	45	500	2418	7
15-10-5-5-P3	48	380	503	8410	44	497	2621	61
15-10-5-5-P4	50	378	0	9575	46	497	2000	160
15-10-5-5-P5	48	390	644	8052	45	493	2492	0
15-10-5-5-P6	40	399	2315	8449	39	494	4159	0
Ortalama	46,8	398,0	823,2	7991,0	44,2	496,5	2611,7	52,8

* DAĞ.: Dağıtım, MIK.: Miktar, ST.: Stok, TED.: Tedarik, TOP.: Toplam

Perakendecilere ait stok tutma ve eskime maliyeti katsayısına ilişkin analizin sunulduğu Çizelge 4.16'daki değerlere bakıldığında, perakendecilere ait stok tutma ve eskime maliyeti katsayısının 100 katına çıkarıldığı zaman elde edilen çözümlerde doğrudan beklenen bir şekilde perakendecilere ait toplam stok miktarlarının azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan bu kapsamda perakendecilerdeki toplam stok miktarlarının azaltılması maksadıyla perakendecilere yapılan toplam dağıtım sayıları ile açılan DM'lerdeki toplam stok miktarlarının arttığı, açılan DM'lerce yapılan toplam tedarik sayılarının ise bir nebze azaldığı gözlemlenmiştir.

ADM' lere ait stok tutma ve eskime maliyeti katsayısına ilişkin analizin sunulduğu Çizelge 4.17'deki değerlere bakıldığında, ADM' lere ait stok tutma ve eskime maliyeti katsayısının 100 katına çıkarıldığı zaman elde edilen çözümlerde doğrudan beklenen bir şekilde açılan DM'lerdeki toplam stok miktarlarının azaldığı görülmektedir. Ayrıca açılan DM'lerdeki toplam stok miktarlarını azaltmak maksadıyla tedarik sayılarının da bir nebze arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.18. ADM'lere ait stok tutma ve eskime maliyeti katsayısı analizi

Katsayı Değerleri	$\alpha = 1, \beta = 1, \theta = 1, \gamma = 1$		$\alpha = 1, \beta = 1, \theta = 100, \gamma = 1$	
Örnek Problem	TOP.TED. SAYISI	AÇIK DM.LER TOP.ST.MIK.	TOP.TED. SAYISI	AÇIK DM.LER TOP.ST.MIK.
15-10-5-5-P1	49	643	50	0
15-10-5-5-P2	46	834	50	0
15-10-5-5-P3	48	503	50	0
15-10-5-5-P4	50	0	50	0
15-10-5-5-P5	48	644	50	0
15-10-5-5-P6	40	2315	50	0
Ortalama	46,8	823,2	50,0	0,0

* MIK.: Miktar, ST.: Stok, TED.: Tedarik, TOP.: Toplam



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada insani yardım maksatlı ilaç/yiyecek dağıtımı, askeri lojistik alanındaki mühimmat ve diğer malzemelerin dağıtımı ile yer seçimi kararlarının uzun süreli verilmediği, dağıtım merkezlerinin kiralanabildiği, müşterilere farklı sıklıklarda dağıtım yapılan senaryolar dâhil birçok tedarik zinciri problemini en iyilemek için kullanılabilecek kapsamlı bir yaklaşım olan heterojen araç filolu Çok Ürünlü, Yer Seçimi ve Envanter Rotalama Problemi (ÇÜ_YS_ERP) üzerinde çalışılmıştır. ÇÜ_YS_ERP ile farklı kapasite seviyelerinde açılacak birden çok ADM ve birden çok ürün için dönemsel deterministik talepleri olan perakendeciler göz önünde bulundurulmaktadır. ÇÜ_YS_ERP'e ait amaç fonksiyonunda dağıtım merkezleri kurulum ve işletme maliyeti, dağıtım merkezlerindeki ürün tedarik maliyeti, araç sabit kullanım/tedarik maliyeti, ürün dağıtım maliyeti, dağıtım merkezlerine ve perakendecilere ait stok tutma ve eskime maliyeti toplamı yer almaktadır. Amaç en düşük maliyetle kapasite seviyeleri ile birlikte açılması gereken ADM'leri, açılan DM'lere atanacak perakendecileri, her bir dönem için üreticilerden açılan DM'lere, DM'lerden perakendecilere gönderilecek ürün miktarlarını ve perakendecilere yapılan dağıtımlarda kullanılması gereken heterojen araç filosu ve rotaları belirlemektir.

Çalışma kapsamında ÇÜ_YS_ERP'i modellemek için karışık tamsayılı doğrusal bir model önerilmiş, önerilen modeli güçlendirmek için YS_ERP için daha önce önerilen iki geçerli eşitsizlik bu modele uyarlanmıştır. Yapılan analizlerde CPLEX çözücüsü ile ÇÜ_YS_ERP'e ait yalnızca çok küçük boyutlu problemler makul sürelerde en iyi çözümü verecek şekilde çözülebildiğinden problemin çözümü için sıralı ve hibrit olmak üzere (SSÇM ve HSÇM) iki sezgisel metot geliştirilmiştir. SSÇM sırayla yaklaşık maliyet algoritmasını kullanarak yer seçimi ve atama kararlarını, oluşturulan envanter yönetimi modelini kullanarak envanter yönetimi kararlarını ve tabu arama meta-sezgiselini kullanarak araç rotalama kararlarını bulmaktadır. Diğer taraftan HSÇM öncelikle başlangıç çözümünü oluşturmakta, ardından belirlenen sayı kadar yoğunlaşma ve farklılaştırma prosedürlerini art arda kullanarak en iyi çözümü bulmaktadır. Başlangıç çözümüne ait yer seçimi ve atama kararları ile araç rotalama kararları SSÇM'de olduğu gibi, envanter yönetimi kararları ise taleplerin aynı dönemde yapılan tedariklerle karşılanması varsayımı ile bulunmaktadır. Yoğunlaşma metodunda tavlama benzetimi ve yasaklı arama meta-sezgiselleri birlikte kullanılmakta, farklılaştırma metodunda ise sezgisel çözümün yer

seçimi ve atama kararları daha önce denenmiş yer seçimi ve atama kararlarından farklı olacak şekilde değiştirilmektedir.

Göz önünde bulundurulanan probleme ait literatürde herhangi bir örnek problem kümesi bulunmadığından, önerilen geçerli eşitsizliklerin ve geliştirilen sezgisel metotların analizi, rassal olarak üretilen örnek problemler üzerinde yapılmıştır. Geçerli eşitsizliklere ilişkin elde edilen sonuçlara göre ÇÜ_YS_ERP'e ait model için uyarlanan her iki geçerli eşitsizliğin de etkili olduğu, envanter yönetimi modelinde ise yalnızca ikinci geçerli eşitsizliğin etkili olduğu görülmüştür.

Sezgisel metotlara ilişkin yapılan analiz sonucunda HSÇM'nin SSÇM'ye göre genellikle daha kaliteli çözümler bulduğu, fakat çok küçük boyutlu örnek problemler düşünüldüğünde bu metodun da iyileştirilmesine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. SSÇM çözüm süresinin küçük ve orta boyutlu problemler kapsamında HSÇM'ye oranla daha kısa, büyük boyutlu problemlerde ise uzun olduğu dikkat çekmektedir. Aynı süre içerisinde her iki çözüm metodu ile bulunan çözümlerin CPLEX çözücüsü ile elde edilen çözümlere oranla çok iyi olduğu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan SSÇM çözüm sürelerine ilişkin yapılan analiz sonucunda, metodun çözümleri bulmak için harcadığı sürenin neredeyse tamamının envanter yönetimi kararlarını bulmak için çözülen envanter yönetimi modeli için harcadığı ve bu sürenin perakendeci ve dönem sayısının artmasıyla birlikte hızla arttığı görülmüştür.

ÇÜ_YS_ERP için önerilen M1 modelindeki tedarik, dağıtım, ADM ve perakendeci stok tutma ve eskime maliyetleri kapsamında kullanılan katsayıların çözümleri nasıl bir şekilde etkilediğinin belirlenmesi amacıyla orta boyutlu problemler üzerinde bir katsayının değiştirilip diğerlerinin sabit tutulmasıyla tüm durumlara ilişkin analizler yapılmıştır. Elde edilen tüm analizlerde beklenen sonuçlar elde edilmiştir.

Gelecek dönemde bu çalışmanın devamı olarak yapılabilecek çalışmalara; bu problem için farklı çözüm metotlarının geliştirilmesi, üreticilerden dağıtım merkezlerine olan ürün dağıtımının da araç rotalama şeklinde yapılması, perakendecilere yapılan dağıtımlar için zaman pencerelerinin eklenmesi, amaç fonksiyonunun birden fazla hedefi içerecek şekilde değiştirilmesi, perakendecilere dönemsel yapılan ürün dağıtımının birden fazla seferde yapılabilmesine imkân tanınması senaryoları örnek verilebilir.

KAYNAKLAR

- Albareda, S. M., Fernández, E. and Laporte, G. (2007). Heuristic and lower bound for a stochastic location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 179(3), 940-955.
- Ambrosino, D. and Scutella, M. G. (2005). Distribution network design: New problems and related models. *European Journal of Operational Research*, 165(3), 610-624.
- Andersson, H., Hoff, A., Christiansen, M., Hasle, G. and Løkketangen, A. (2010). Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing. *Computers and Operations Research*, 37(9), 1515-1536.
- Baldacci, R., Mingozzi, A. and Wolfler Calvo, R. (2011). An exact method for the capacitated location-routing problem. *Operations Research*, 59(5), 1284-1296.
- Barreto, S., Ferreria, C., Paixao, J. and Santos, B. S. (2007). Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 179 (3) 968-977.
- Bertazzi, L., Paletta, G. and Speranza, M. G. (2002). Deterministic order-up-to level policies in an inventory routing problem. *Transportation Science*, 36(1), 119-132.
- Blanchard, D. (2007). *Supply chain management best practices* (First edition). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., xi.
- Bo, Z., Zujun, M. and Sai, J. (2008). *Location-Routing-Inventory problem with Stochastic Demand in Logistics Distribution Systems*. Paper presented at the Fourth International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, China.
- Chopra, S. and Meindl, P. (2007). *Supply chain management: strategy, planning and operation* (Third edition). New Jersey: Pearson Prentice Hall, 4-5.
- Cioppa, T. M., and Lucas, T. W. (2007). Efficient nearly orthogonal and space-filling Latin hypercubes. *Technometrics*, 49(1), 45-55.
- Contardo, C., Cordeau, J. F. and Gendron, B. (2013). An exact algorithm based on cut-and-column generation for the capacitated location-routing problem. *INFORMS Journal on Computing*, 26(1), 88-102.
- Contardo, C., Cordeau, J. F. and Gendron, B. (2014). A GRASP+ ILP-based metaheuristic for the capacitated location-routing problem. *Journal of Heuristics*, 20(1), 1-38.
- Daskin, M., Snyder, L. and Berger, R. (2005). Facility location in supply chain design. *Logistics Systems: Design and Optimization*, 1, 39-65.
- Daskin, M., Coullard, C. and Shen, Z. J. (2002). An inventory–location model: formulation, solution algorithm and computational results. *Annals of Operations Research*, 83–106.

- Drexl, M. and Schneider, M. (2015). A survey of variants and extensions of the location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 241(2), 283-308.
- Farahani, R.Z. and Hekmatfar, M. (2009). *Facility location concepts, models, algorithms and case studies*. New York: Springer Dordrecht Heidelberg, 451-471.
- Ghorbani, A. and Jokar, M. R. A. (2016). A hybrid imperialist competitive-simulated annealing algorithm for a multisource multi-product location-routing-inventory problem. *Computers and Industrial Engineering*, 101, 116-127.
- Glover, F. and Laguna, M. (1997). *Tabu search*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 125-148.
- Granada, M. G. and Silva, C. W. (2012). *Inventory location routing problem: A column generation approach*. Paper presented at the Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Istanbul.
- Guerrero, W. (2014). *Optimization models and methods for the location routing problems with storage constraints*. Unpublished Doctoral Dissertation, Troyes Technology University, France.
- Guerrero, W., Prodhon, C., Velasco, N. and Amaya, C. (2013). Hybrid heuristic for the inventory location-routing problem with deterministic demand. *International Journal of Production Economics*, 146(1), 359-370.
- Guerrero, W., Prodhon, C., Velasco, N. and Amaya, C. (2015). A relax-and-price heuristic for the inventory-location-routing problem. *International Transactions in Operational Research*, 22 (2015), 129-148.
- Hemmelmayr, V. C., Cordeau, J. F. and Crainic, T. G. (2012). An adaptive large neighborhood search heuristic for two-echelon vehicle routing problems arising in city logistics. *Computers and Operations Research*, 39(12), 3215-3228.
- Hiassat, A. and Diabat, A. (2011). *A location-inventory-routing-problem with perishable products*. Paper presented at the Proceedings of the 41st International Conference on Computers and Industrial Engineering, Los Angeles.
- Hiassat A., Diabat A. and Rahwan, A. (2017). A genetic algorithm approach for location-inventory-routing problem with perishable products. *Journal of Manufacturing Systems*, 42, 93-103.
- Javid, A. A. and Azad, N. (2010). Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design. *Transportation Research Part E*, 46(5), 582-597.
- Javid, A. A. and Seddighi, A. H. (2012). A location-routing-inventory model for designing multisource distribution networks. *Engineering Optimization*, 44(6), 637-656.
- Liu, S. and Lin, C. (2005). A heuristic method for the combined location routing and inventory problem. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26(4), 372-381.

- Liu, S. C. and Lee, S. B. (2003) A two-phase heuristic method for the multi-depot location routing problem taking inventory control decisions into considerations. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 22, 941-950.
- Ma, H. and Davidrajuh, R. (2005). An iterative approach for distribution chain design in agile virtual environment. *Industrial Management and Data Systems*, 105(6), 815-834.
- Manzini, R. (2012). A top-down approach and a decision support system for the design and management of logistic networks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(6), 1185-1204.
- Min, H., Jayaraman, V. and Srivastava, R. (1998). Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions. *European Journal of Operational Research*, 108, 1-15.
- Miranda, P. A. and Garrido, R. A. (2004). Incorporating inventory control decisions into a strategic distribution network design model with stochastic demand. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 40(3), 183-207.
- Miranda, P. A. and Garrido, R. A. (2006). A simultaneous inventory control and facility location model with stochastic capacity constraints. *Networks and Spatial Economics*, 6(1), 39-53.
- Miranda, P. A. and Garrido, R. A. (2008). Valid inequalities for Lagrangian relaxation in an inventory location problem with stochastic capacity. *Transportation Research Part E*, 44, 47-65.
- Moin, N. H. and Salhi, S. (2006). Inventory routing problems: A Logistical overview. *Journal of the Operations Research Society*, 58(9), 1185-1194.
- Nagy, G. and Salhi, S. (2007). Location-routing: Issues, models and methods. *European Journal of Operational Research*, 177(2), 649-672.
- Nekooghadirli, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Ghezavati, V. R. and Javanmard, S. (2014). Solving a new bi-objective location-routing-inventory problem in a distribution network by metaheuristics. *Computers and Industrial Engineering*, 76(2014), 204-221.
- Pasha, U., Hoff, A. and Hvattum, L. M. (2016). Simple heuristics for the multi-period fleet size and mix vehicle routing problem. *Information Systems and Operational Research*, 54(2), 97-120.
- Pirkwieser, S. and Raidl, G. R. (2010). Variable neighborhood search coupled with ILP based very large neighborhood searches for the (periodic) location-routing problem. In M. J. Blesa, C. Blum, G. Raidl, A. Roli, & M. Samples (Eds.), *Hybrid metaheuristics. Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 6373). Berlin Heidelberg: Springer, pp. 174-189.
- Prins, C., Prodhon, C., Ruiz, A., Soriano, P. and Wolfler-Calvo, R. (2007). Solving the capacitated location-routing problem by a cooperative lagrangian relaxation granular tabu search heuristic. *Transportation Science*, 41(4), 470-483.

- Prodhon, C. and Prins, C. (2014). A survey of recent research on location routing problems. *European Journal of Operational Research*, 238(1), 1-17.
- Prodhon, C. and Prins, C. (2015). A relax-and-price heuristic for the inventory-location-routing problem. *International Transactions in Operational Research*, 22, 129-148.
- Prodhon, C., Prins C. and Wolfler, C. R. (2006). Solving the capacitated location-routing problem by a GRASP complemented by a learning process and a path relinking. *4OR– A Quarterly Journal of Operations Research*, 4, 221–238.
- Raa, B. and Aghezzaf, E. H. (2008). Designing distribution patterns for long-term inventory routing with constant demand rates. *International Journal of Production Economics*, 112, 255–263.
- Sajjadi, S. R. and Cheraghi, S. H. (2011). Multiproducts location-routing problem integrated with inventory under stochastic demand. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 7(4), 454-476.
- Sajjadi, S. R., Hamidi, M. and Cheraghi, S. H. (2013). Multi Product Capacitated Location Routing Inventory Problem. *International Journal of Modern Engineering*, 13(2), 68-77.
- Salhi, S. and Nagy, G. (1999). A cluster insertion heuristic for single and multiple depot vehicle routing problems with backhauling. *Journal of the Operational Research Society*, 50, 1034-1042.
- Salhi, S. and Nagy, G. (2007). Location-routing, issues, models, and methods: A review. *European Journal of Operational Research*, 117, 649-672.
- Salhi, S. and Rand, G. K. (1989). The effect of ignoring routes when locating depots. *European Journal of Operational Research*, 39, 150-156.
- Saragih, N. I., Bahagia, N. and Syabri, I. (2019). A heuristic method for location-inventory-routing problem in a three-echelon supply chain system. *Computers and Industrial Engineering*, 127, 875-886.
- Shen, Z. and Qi, L. (2007). Incorporating inventory and routing costs in strategic location models. *European Journal of Operational Research*, 179(2), 372-389.
- Shu, J., Teo, C. P. and Shen, Z. J. (2005). Stochastic transportation-inventory network design problem. *Operations Research*, 53, 48-60.
- Tavakkoli-Moghaddam, R., Forouzanfar, F. and Ebrahimnejad, S. (2013). Incorporating location, routing, and inventory decisions in a bi-objective supply chain design problem with risk-pooling. *Journal of Industrial Engineering International*, 9(1), 19.
- Ting, C. J. and Chen, C. H. (2013). A multiple ant colony optimization algorithm for the capacitated location routing problem. *International Journal of Production Economics*, 141(1), 34-44.
- Wu, T. H., Low, C. and Bai, J. W. (2002). Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems. *Computers and Operations Research*, 29, 1393-1415.

- Yu, V. F., Lin, S. W., Lee, W. and Ting, C. J. (2010). A simulated annealing heuristic for the capacitated location routing problem. *Computers and Industrial Engineering*, 58, 288-299.
- Yu, Y., Chen, H. and Chu, F. (2008). A new model and hybrid approach for large scale inventory routing problems. *European Journal of Operational Research*, 189, 1022-1040.
- Zhang, Y., Qi, M., Miao, L. and Liu, E. (2014). Hybrid metaheuristic solutions to inventory location routing problem. *Transportation Research Part E*, 70, 305–323.







GAZİ GELECEKTİR..