



An effective heuristic for the two-level vendor-managed inventory problem in a supermarket chain

Yunus Demir^{1*} , M. Emre Keskin² 

¹Department of Industrial Engineering, Engineering and Natural Science Faculty, Bursa Technical University, Bursa, Türkiye

²Department of Industrial Engineering, Engineering Faculty, Atatürk University, 06680, Erzurum, Türkiye

Highlights:

- A vendor managed inventory problem is considered.
- A linear programming model is proposed
- Two different heuristics have been proposed for solving large-scale problems.

Keywords:

- Collaboration strategies
- Two level vendor managed inventory
- Linear programming
- Heuristics

Article Info:

Research Article

Received: 25.02.2022

Accepted: 17.09.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1079002

Correspondence:

Author: Yunus Demir

e-mail:

yunus.demir@btu.edu.tr

phone: +90 224 300 3831

Graphical/Tabular Abstract

The supermarket chain discussed in this study addresses middle class customers in Turkey with 20 distribution centers (DC) and 3500 stores in 72 provinces. An average of 1500 items are sold in each store of the company. There is a great fluctuation in the demand from stores to DCs due to factors such as the presence of promotional products, seasonality and trends. Figure A shows the change in order quantity (in terms of pallets) between June and September when a store moves to its DC. In this study, the problem of creating a shipment plan for DCs is discussed in order to minimize these negative effects of variability.

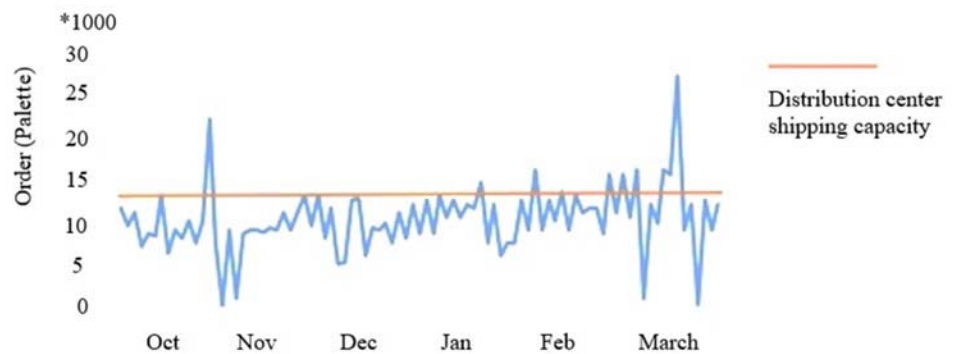


Figure A. Total store orders arriving at a distribution center

Purpose:

As a result of the rising store orders, DMs work overtime during these periods and even try to distribute the workload by delaying the delivery day of some stores for a few days. Such practices, on the other hand, cause high sales losses due to the inability to deliver to the stores on time. In this study, it was aimed to minimize these negative effects of variability.

Theory and Methods:

First, the linear programming model of the problem is developed. Since the model developed for large-sized samples does not respond, two different heuristics are proposed for the solution.

Results:

Although the decomposition approach yielded results as a result of long-term running, the transportation model-based approach provided a clear advantage in terms of solution time. Considering the results obtained with medium-sized test problems, it gave very close to optimum results in terms of solution quality, without the need for any commercial solver.

Conclusion:

The results show that the proposed transportation model-based approach can produce high-quality solutions to huge real-life problems in an acceptable time and without the need for any commercial solvers.



Bir süpermarket zincirinde iki seviyeli tedarikçi yönetimli stok problemi için etkili bir sezgisel yöntem

Yunus Demir^{1*}, M. Emre Keskin²

¹Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yıldırım Bursa, Türkiye

²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yakutiye Erzurum, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Satıcı tarafından yönetilen bir envanter problemi ele alınmıştır
- Bir doğrusal programlama modeli önerilmiştir
- Büyük ölçekli problemlerin çözümü için iki farklı sezgisel yöntem önerilmiştir

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 25.02.2022

Kabul: 17.09.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1079002

Anahtar Kelimeler:

İşbirliği stratejileri,
satıcı tarafından yönetilen iki
seviyeli envanter,
doğrusal programlama,
sezgisel yöntemler

ÖZ

Bu çalışmada, yüksek müşteri talebi değişkenliği ile karşı karşıya olan bir zincir marketin gerçek hayat sevkiyat probleminde odaklanılmıştır. Firma, mağazalarını buldukları bölgelere göre gruplandırılmış ve her mağaza grubunun ikmal için bir dağıtım merkezi (DM) oluşturmuştur. Düzenli aralıklarla bu DM'lerden kendine bağlı olan mağazalara ikmal yapılmaktadır. Mevcut durumda firma, mağazalardan gelen yüksek talep değişkenliğine cevap verebilmek için çok yüksek sözleşme maliyetleri pahasına DM'lerdeki işçi sayısını artırıp azaltmaktadır. Buna rağmen mağazaların talepleri zamanında karşılanamamakta ve satış kaybı yaşanmaktadır. Bu çalışmada, değişkenliğin getirdiği bu olumsuz etkileri minimize etmek üzere DM'ler için sevkiyat planı oluşturulması problemi ele alınmıştır. Önce problemin tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Büyük boyutlu örnekler için geliştirilen model, yeteri kadar kısa sürede istenilen kalitede sonuç üretmediğinden çözüm için iki farklı sezgisel önerilmiştir. Ayrıştırma (decomposition) yaklaşımı olarak isimlendirilen ilk yöntemde, geliştirilen model her mağaza için ayrı ayrı uygulanmış, bulunan sonuçlar mağazaların bağlı olduğu DM için birleştirilmiştir. İkinci sezgisel yaklaşımda problem, ulaştırma modeline dönüştürülerek ele alınmıştır. Çözüm için iki aşamalı bir yöntem benimsenmiştir. Önerilen çözüm yöntemlerinin etkinliği, çeşitli boyutlardaki test verisi kullanarak karşılaştırmalı bir şekilde sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar önerilen ulaştırma modeli temelli yaklaşımın devasa boyutlardaki gerçek hayat problemlerine kabul edilebilir zamanda ve herhangi bir ticari çözücüye ihtiyaç duymaksızın kaliteli çözümler üretebildiğini göstermiştir.

An effective heuristic for the two-level vendor-managed inventory problem in a supermarket chain

H I G H L I G H T S

- A vendor managed inventory problem is considered
- A linear programming model is proposed
- Two different heuristics have been proposed for solving large-scale problems

Article Info

Research Article

Received: 25.02.2022

Accepted: 17.09.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1079002

Keywords:

Collaboration strategies,
two level vendor managed
inventory,
linear programming,
heuristics

ABSTRACT

This study focuses on the real-life shipping problem of a chain store facing high customer demand variability. The firm has grouped its stores according to their regions and created a distribution center (DC) for the replenishment of each store group. At regular intervals, these DCs are supplied to the stores that are affiliated with them. Currently, the firm is increasing or decreasing the number of workers in DCs to respond to the high demand volatility from stores, at the expense of very high contract costs. Despite this, the demands of the stores are not met in time and sales are lost. In this study, the problem of creating a shipment plan for DCs is discussed in order to minimize these negative effects of variability. First, the linear programming model of the problem is developed. Since the model developed for large-sized samples does not respond, two different heuristics are proposed for the solution. In the first method, called the decomposition approach, the developed model was applied separately for each store. In the second heuristic approach, the problem is handled by transforming it into a transportation model. A two-stage method was adopted for the solution. The effectiveness of the proposed solution methods is presented in a comparative way using test data of various sizes. The results show that the proposed transportation model-based approach can produce high-quality solutions to huge real-life problems in an acceptable time and without the need for any commercial solvers.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *yunus.demir@btu.edu.tr, emre.keskin@atauni.edu.tr / Tel: +90 224 300 3831

1. Giriş (Introduction)

Seksenli yıllarda küresel rekabetin şiddetlenmesi ile perakende şirketleri, tedarik sürelerini azaltmak ve düzenli ikmal yapabilmek için birincil (fabrikalardan dağıtım merkezlerine) ve ikincil dağıtımı (dağıtım merkezlerinden perakende mağazalara) entegre etmişlerdir [1]. Bu lojistik değişiklik, dağıtım merkezlerinin (DM) verimli yönetilmesinin önemini iyiden iyiye arttırmıştır. Yine seksenler ile birlikte ürünlerin raflarda bulunabilirliği, perakende sektöründe yeni bir mücadele alanı olarak karşımıza çıkmıştır [2]. Karlılık ve müşteri sadakati üzerinde büyük etkisi olan ürün bulunabilirliği, perakende sektörü için önemli bir performans göstergesi haline almıştır [3, 4]. Ayrıca, internetten sipariş vermenin artması ve evden alışveriş yapanlara e-sipariş karşılama (*e-fulfilment*) için mağaza tabanlı toplama stratejilerinin kullanılmasıyla, DM'ler artık hem mağazadan hem de evden alışveriş yapanların taleplerini karşılamak için teslimat yapmak zorunda kalmışlardır [5]. Dolayısıyla oluşan bu yeni karmaşık yapı, firmaların tedarik zincirindeki diğer bileşenlerden izole bir şekilde çalışmasıyla etkili rekabet edemeyeceği açıkça göstermiştir. Bu durum, şirket yöneticilerinin işbirlikçi stratejilerine olan ilgisini arttırmıştır ve neticesinde bu iş birliğinin sistematik bir zemine oturtulduğu yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Genel olarak işbirlikçi tedarik zinciri stratejileri olarak isimlendirilen bu iş birliği tipleri şunlardır: Hızlı cevap (*Quick Response-QR*), Müşteriye etkin cevap (*Efficient Consumer Response-ECR*), sürekli ikmal programları (*Continuous Replenishment Programs-CRP*), tedarikçi yönetimli stok (*Vendor Managed Inventory-VMI*), işbirlikçi tahminleme, planlama ve ikmal (*Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment-CPFR*) [6].

Bu çalışmada, Türkiye'de faaliyet gösteren bir zincir market, işbirlikçi stratejilerden olan tedarikçi yönetimli stok (TYS) bağlamında ele alınmıştır. Şirket, dağıtım merkezleri (DM) ve her DM'ye bağlı mağazalardan oluşan iki aşamalı tedarik zinciri yapısındadır. Mağazalardaki stoklar DM'ler tarafından takip edilmekte ve yapılan talep tahminleri de dikkate alınarak belirli periyotlarla mağazalara sevkiyat yapılmaktadır. DM'ler ve mağazalar aynı şirkete ait olsa da mağaza stoklarını yöneten DM'ler mağazalar açısından bakıldığında tedarikçi rolünde olduğundan problem tedarikçi yönetimli stok başlığı altında ele alınmıştır. Çalışmada, DM'lere gelen dalgalı talebin, DM'ler üzerindeki olumsuz etkilerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu olumsuz etkilerden ilki, değişen talebe bağlı olarak yapılan işe alma ve işten çıkarma maliyetidir. Her ne kadar iş gücü kapasitesi belirli aralıklarla talebe göre ayarlanmaya çalışılsa da, talep ve DM sevkiyat kapasitesindeki dengesizlik iki olumsuz sonucu daha doğurmaktadır. Talebin DM sevkiyat kapasitesinden düşük olduğu durumlarda DM'deki iş gücü atıl kalmaktadır. Tam tersi durumda, mağaza taleplerinin karşılanamaması ve neticesinde mağaza raflarında aradığı ürünü bulamayan müşterinin kaybı (yok satma) meydana gelmektedir. Çalışmada sunulan çözüm yöntemleri ile DM'lerin iş yükü daha dengeli dağıtılacak ve bahsedilen bu olumsuz etkiler azaltılmış olacaktır. Çözüm için üç farklı yaklaşım sunulmuştur. Öncelikle problemin tam sayılı doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur. Geliştirilen model tahsis edilen çözüm süresi içerisinde, nispeten küçük problemler için cevap verebilmiştir. Büyük boyutlu problemlerin çözümü için iki farklı sezgisel önerilmiştir. Ayrıştırma (*decomposition*) yaklaşımı olarak isimlendirilen ilk yöntemde, geliştirilen model her mağaza için ayrı ayrı uygulanmıştır. İkinci sezgisel yaklaşımda problem çok ürünlü-ulaştırma modeline dönüştürülerek ele alınmıştır. Çözüm için iki aşamalı bir yöntem benimsenmiştir. Önerilen çözüm yöntemlerinin etkinliği, çeşitli boyutlardaki test verisi kullanarak karşılaştırmalı bir şekilde sunulmuştur. Çalışmanın devam eden kısımları şu şekilde organize edilmiştir: İkinci bölümde YYS ile ilgili literatür sunulmuştur. Üçüncü bölümde ele alınan problem tanımlanmıştır. Dördüncü bölümde

problemin daha iyi anlaşılabilmesi için küçük bir örnek sunulmuştur. Beşinci bölümde problemin tam sayılı doğrusal programlama modeli sunulmuştur. Altıncı bölümde önerilen sezgisellere iki alt başlık halinde yer verilmiştir. Yedinci bölümde oluşturulan test problemleri her üç yöntem ile çözülmüş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı bir şekilde paylaşılmıştır. Sekizinci bölümde çalışma genel olarak değerlendirilmiştir.

2. Literatür Taraması (Literature Review)

TYS, araştırmacılar ve uygulayıcılar tarafından birçok açıdan ele alınan ve günümüzde de popülerliğini koruyan bir çalışma alanıdır. YYS ile ilgili detaylı literatür bilgisine Poursoltan vd. [7], Zhao [8], Govindan [9], Marques vd. [10], ve Kauremaa vd. [11] 'un çalışmalarından ulaşılabılır. Bu bölümde öncelikle çeşitli alt başlıklar altında YYS literatürü kısaca taranmıştır. Daha sonra ele alınan konuyla yakından ilgisi olan gerçek hayat çalışmalarına detaylı bir şekilde yer verilmiştir.

Han vd. [12] YYS alanında yapılan akademik çalışmaları ikiye ayırmıştır. İlk grup çalışmalarda YYS'nin sağladığı faydalar değerlendirilmiştir [13]. İkinci grupta ise YYS performansı üzerinde etkili anahtar parametrelerin en iyilenmesi üzerine çalışmalara yer verilmiştir [12]. Literatürde ilk grup çalışmaların, YYS sisteminin uygulanmasından elde edilen faydanın yönüne göre (fayda paylaşımı) üç gruba ayrıldığı görülmektedir.

Bu alt başlıklardan ilki YYS'nin tedarikçi açısından olumlu olduğunu değerlendiren çalışmalardır. Tedarikçinin daha doğru talep tahmini yapabildiği ve daha esnek stok yönetimine sahip olduğu değerlendirilen bu çalışmalar [14-16], tedarikçinin YYS sisteminden daha fazla kar elde ettiğini savunmaktadır. Buna karşın bazı araştırmacılar [9, 17-20], YYS sisteminin, yok satma veya fazla stok gibi maliyetleri tedarikçiye yüklediği için bu sistemin tedarikçi açısından maliyetleri artırdığını savunmaktadır. Bu başlık altında yapılan çalışmalardan üçüncüsü fayda ve maliyetin, YYS sistemi içerisindeki üyelerle dengeli dağılımı ile ilgilidir. Bunun için araştırmacılar özendirme [21] ve cezalandırma [22-24] mekanizmaları kullanmışlardır [12]. YYS'de stok yönetiminin nasıl yapılacağına yönelik merkezi ve merkezi olmayan olmak üzere iki farklı yaklaşım bulunmaktadır [25]. Literatürdeki çalışmaların çoğu, stok kararlarının tedarikçi tarafından yönetildiği merkezi stok yönetimi üzerindedir [19, 20, 26]. Merkezi olmayan yaklaşımda [12, 27-30] YYS sistemi içerisindeki her firma diğer firmalardan bağımsız olarak ve kendi stok durumuna göre amaçlarını optimize etmeye çalışır [31]. Merkezi yaklaşımda, yeniden sipariş noktası ve ikmal miktarı sadece tedarikçi tarafından belirlenir ve firmalar sistemin bütünü için optimumu arar [29]. YYS stratejisinin başarısı diğer birçok iş birlikçi yaklaşımda olduğu gibi, paydaşların gerekli özeni göstermesi ile yakından ilgilidir. Literatürde, bu özenin sağlanması için teşvik edici sözleşmelerle sıkça başvurulduğu görülmektedir [9]. YYS literatüründe farklı koordinasyon mekanizmalarına göre oluşturulmuş bazı sözleşme türlerine şu şekildedir: Konsinye satış sözleşmesi, [23, 27, 32-34], toptan fiyat sözleşmesi [21, 35, 36], kar paylaşımli sözleşme [37-40], ceza sözleşmesi [21, 22, 41, 42], (z,Z) Sözleşmesi [22, 23, 43-46], satış indirim sözleşmesi [47].

Literatür taraması bölümünün bu kısmında, ele alınan konuyla ilgili olarak tedarik zinciri (şirket) performans ölçütlerinin iyileştirilmesi üzerine yapılan gerçek hayat çalışmalarına yer verilmiştir. Bu çalışmalardan bir kısmı deneysel/gözlemsel çalışmalar olup, YYS sistemi uygulayan şirketlerdeki gelişmeler gözlemlenerek rapor edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, YYS sisteminin uygulanması ile operasyonel fayda açısından (düşük stok ve yüksek malzeme erişilebilirliği) perakendecilerin daha avantajlı olduğunu [48, 49],

buna karşın TYS sisteminin tedarikçilere operasyonel fayda bakımından pek bir etkisi olmadığı [49] ancak iyi bir pazarlama aracı olarak kullanılabileceğini [51] ortaya çıkarmıştır [11]. TYS gerçek hayat çalışmalarının bir diğer kısmı çeşitli optimizasyon araçları kullanarak tedarik zinciri performans ölçütlerinin iyileştirilmesi üzerinedir.

Poursoltan vd. [7], TYS ve öğrenme etkileri kapsamında iki seviyeli bir kapalı döngü tedarik zincirini incelemiştir. Yazarlar problemi, karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli ile formüle edilmiştir. Çözüm için Genetik Algoritma, Keshtel Algoritması ve Alageyik Algoritmasına dayalı yeni bir hibrit metasezgisel geliştirmişlerdir. Ji vd. [52] Birden fazla perakende mağazası ve farklı depoları olan bir tedarik zincirinde, optimum sevkiyat planı oluşturulması problemini ele almışlardır. Kar maksimizasyonunun amaçlandığı çalışmada, mağaza talepleri ve DM arz kapasitelerinin dikkate alındığı doğrusal olmayan bir model önerilmiştir. Vazquez-Noguerol vd. [53] çevrimiçi kanalda faaliyet gösteren süpermarket zincirlerinde sipariş hazırlama ve nakliye için araçların tahsis edilmesi ve yönetilmesi problemini ele almışlardır. Çalışmada yazarlar online siparişlerini, merkezi depolarda hazırlayan e-bakkallar için doğrusal programlama modeli tasarlanmışlardır. Bir siparişteki, ürün türlerinin her birinin hazırlanması gereken zaman pencerelerini ve çevrimiçi talebi karşılayan teslimat kamyonlarının ve rotaların belirlendiği model ile e-sipariş karşılama (*e-fulfillment*) faaliyetlerinin yürütülmesinden kaynaklanan maliyetin minimizasyonu amaçlanmıştır. De la Fuente vd. [55] yaptıkları çalışmada Şili'de faaliyet gösteren bir içecek dağıtım merkezinin depo operasyonlarında kullanılan işgücü istihdam stratejilerinin etkilerini incelemiştir. Yazarlar, yük hazırlama süresi, işgücü personel maliyetleri ve maksimum depolama kapasitesi kullanımı bakımından depo operasyonlarının nasıl iyileştirileceğine rehberlik etmek için bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Teng vd. [56], TYS çerçevesinde stok kontrolü ve nakliye çizelgeleme problemlerinin birleşiminden oluşan probleme iki aşamalı bir çözüm üretmişlerdir. Problemin amacı, stok maliyeti, dağıtım maliyeti ve zaman cezası maliyeti dâhil olmak üzere dağıtım ağındaki toplam lojistik maliyetini minimize etmektir. Yazarlar, ilk aşama için tavlama benzetimi ve ikinci aşama için karınca koloni algoritmasını kullanmışlardır. Weraikat vd. [57], hastanelerde süresi dolmuş ilaçların miktarını en aza indirmede TYS sisteminin uygulanmasının etkisini araştırmak için doğrusal olmayan bir karma tam sayılı programlama modeli önermiştir. Modelin amacı hem ilaç kıtlığını hem de süresi dolmuş ilaç miktarını en aza indirmek amacıyla bir planlama ufku boyunca her dönemde hastaneye sevk edilmesi gereken optimal ilaç miktarının bulunmasıdır. Model, önceden belirlenmiş gerçekçi talepler dikkate alınarak deterministik bir ortamda doğrulanmıştır. Bununla birlikte, talep dalgalanmalarının varlığında TYS modelinin sağlamlığını araştırmak için bir dizi Monte-Carlo simülasyon testi de yapılmıştır. Nabuurs [58], Hollanda'da faaliyet gösteren bir gıda perakendecisinin promosyon yenileme sürecini ele almıştır. Yazar çalışmasında, normalden daha yüksek talep ve daha yüksek talep belirsizliği nedeniyle promosyon ürünlerine odaklanmış ve iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı benimsemiştir: Tahmin ve mağazalara ikmal. Çalışmanın ikmal kısmı için beş farklı maliyetin minimize edilmeye çalışıldığı bir simülasyon modeli önerilmiştir. Achabal vd. [59] müşteri hizmet seviyesini artırmak ve stok çevrimini iyileştirmek üzere bir giyim üreticisi için TYS karar destek sistemi geliştirmiştir. Dong ve Leung [60], bir tekstil firması için, her ikmal çevriminde optimum ikmal miktarını bulmak üzere benzetim teknikleri ve genetik algoritma kullanarak dönerli benzetim optimizasyon modeli (*rolling simulation optimization*) geliştirmiştir. Araştırmacılar optimum ikmal miktarı ile üretici açısından yüksek stok çevrimine erişmek, üretim kapasitesi dengesini sağlamak ve perakendeci tarafından hedeflenen müşteri memnuniyet seviyesine erişmeyi amaçlamışlardır. Nachiappan and Jawahar [61], Hindistan'daki bir mandırmanın her bir alıcısı için

optimum satış miktarını bulmak için doğrusal olmayan tam sayılı model ve genetik algoritma geliştirilmişlerdir. Araştırmalarımıza göre literatürde, yüksek talep değişkenliği altında sevkiyat problemini, iş gücü dengelemeyi esas alarak çözmeye çalışan sadece bir benzer çalışmaya rastlanmıştır. Alajkovic vd. [54] tarafından yapılan bu çalışmada Hırvatistan'da faaliyet gösteren 420 mağazalık ağa sahip bir perakendeciye ait, üç alt problemden oluşan bir tedarik zinciri problemi ele alınmıştır: Depo işgücü planlaması, teslimat planlaması ve rotalama. Yazarlar, çözüm için komşuluk arama temelli bir yaklaşım ve karma tam sayılı programlama modeli önermişlerdir. İşçi sayısı ve dolayısıyla sipariş toplama hacmi sınırlı olduğu varsayılan çalışmada, işin günler arasında dengelenmesi için haftalık teslimat şablonları (DM-mağaza çiftleri) oluşturulması amaçlanmıştır. Depo işgücü planlaması bağlamında ortalama çalışma etrafında tanımlanmış bir tolerans bandı oluşturulmuş ve günlük sevkiyat adedinin bu bandın dışına çıkmaması amaçlanmıştır. İlgili çalışmada geliştirilen metod, özellikle bozulma nedeniyle envanter zararlarını azaltmayı amaçlayan ve taze gıda dağıtımına odaklanan temel bir çizelge sunmaktadır. Bu çalışmada mağazalardaki tüm ürün grupları için detaylı bir sevkiyat planlaması (tatiller promosyon ürünleri veya varsayımlardaki diğer değişiklikleri kapsayan) yapılmaktadır. Bunun için ürün gruplarına ait mağaza içi stok kapasitesi, talep bilgisi, raf ömrü gibi detaylar da çözüm sürecine dâhil edilmiştir. Bu yönüyle literatürdeki çalışmalardan ayrılan bu makalede, mağazalardan dağıtım merkezine gelen dalgalı talebin sebep olduğu etkiler, en azlanmaya çalışılmaktadır. Bu etkiler genel olarak talebin az olduğunda iş gücü kullanımının düşüklüğü, talebin yüksek olduğu dönemlerde mağazalara sevkiyat yapılamaması ve dolayısıyla yok satmanın oluşması şeklindedir. DM'lerdeki işe alım ve işçi çıkarma maliyetleri talepteki dalgalanmanın sebep olduğu diğer bir durumdur. Tüm bu olumsuzlukları gidermek için mağaza stoklarının DM tarafından takip edildiği bir yapı kurgulanmıştır. Her ne kadar satıcı (dağıtım merkezi) ve müşteri (mağazalar) aynı firmaya ait olsa da problem genel olarak satıcı yönetimli stok işbirlikçi stratejisi kapsamında değerlendirilmiştir. Ele alınan problem bakımından özgün olduğu düşünülen bu çalışmada çözüm için iki farklı sezgisel yaklaşım önerilmiştir.

3. Problemin Tanımlanması (Definition Of Problem)

Bu çalışmada ele alınan marketler zinciri 72 ilde 20 dağıtım merkezi ve 3500 mağazası ile Türkiye'de orta sınıf müşterilere hitap etmektedir. Şirketin her bir mağazasında ortalama 1500 kalem ürün satış görmektedir. İlk aşamada ürünler, DM'lerden tedarikçilere sipariş edilmektedir. Daha sonra mağazalardan gelen siparişler doğrultusunda bu ürünler, DM'lerden mağazalara şirketin kamyonları ile teslim edilmektedir. Tarif edilen tedarik zinciri boyunca hareket eden bu ürünler raf ömürlerine göre yedi gruba ayrılmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Mağazalardaki ürünlerin raf ömürleri (Shelf life of products in stores)

Hafta	Gün
1	0-5 Gün
2	6-15 Gün
4	16-30 Gün
14	31-100 Gün
29	101-200 Gün
43	201-300 Gün
>43	300 Gün üzeri

Bu çalışmada DM'ler ile mağazalar arasındaki ilişkiye odaklanılmış, tedarikçiler çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur. DM'ler ve mağazalar arasındaki genel ilişki şu şekildedir: Her bir mağaza tek bir dağıtım merkezi tarafından haftanın belirli sipariş günlerinde

beslenmektedir. (r,Q) stok politikasına göre çalışan mağazalar, sipariş günü geldiğinde stok seviyesi düşük olan ürünler için, yani stok seviyesi r'den düşük olan ürünler için, DM'ye sipariş (Q kadar) açmaktadırlar. Siparişler iletildikten sonraki günde DM'ler her bir mağazadan gelen siparişleri Şekil 1'deki gibi koliler halinde tek bir palette toplamakta ve bu toplanan paletler ilgili mağazaya gönderilmektedir.



Şekil 1. Dağıtım merkezinde toplanan paletler-temsilî resim (Pallets collected at the distribution center-representative)

(Kaynak: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2071055/Sainsburys-massive-Waltham-Point-depot-gears-Christmas.html>)

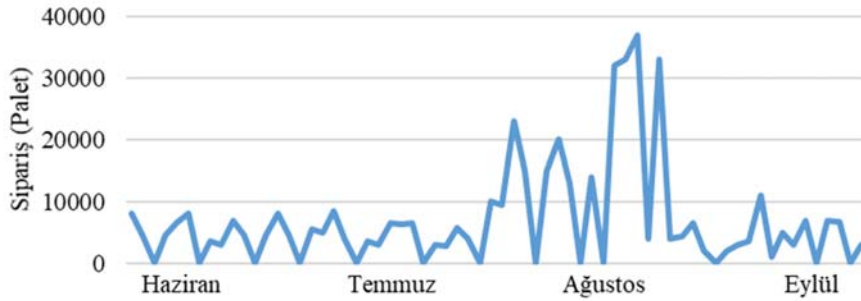
Mağazalardan DM'lere gelen palet sayısı cinsinden talep miktarında, promosyon ürünlerin varlığı, mevsimsellik ve trend gibi etkenler

sebebiyle büyük dalgalanma görülmektedir. Şekil 2'de bir mağazanın, bağlı olduğu dağıtım merkezine geçtiği haziran-eylül ayları içerisindeki sipariş miktarındaki (palet sayısı cinsinden) değişimin gösterilmektedir. Bu dalgalı durum, tüm mağazaların siparişleri birleştiğinde DM'lerdeki iş yükünün yüksek miktarda değişkenlik göstermesi anlamına gelmektedir. Yükselen mağaza siparişleri sonucu DM'lerde çalışan işçiler bu dönemlerde fazla mesai yapmakta hatta bazı mağazaların teslimat gününü ötelemek suretiyle iş yükünü dağıtmaya çalışmaktadırlar. Bu tür uygulamalar ise mağazalara zamanında teslimat yapılamaması sebebiyle yüksek satış kayıplarına neden olmaktadır. Buna benzer bir durum Şekil 3'te gösterilmiştir.

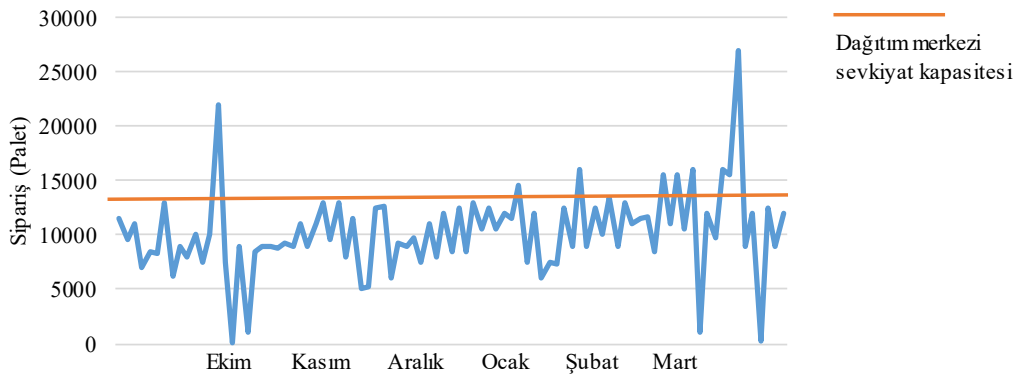
Şirket yöneticileri satış kayıplarının, DM'lerin mağazalara zamanında ürün teslim edememesinden kaynaklandığını fark etmiştir. Şirket yönetimi, ciroda ciddi bir düşüşe neden bu durumun üstesinden gelebilmek için mağaza stoklarının DM'ler tarafından takip edildiği farklı bir yapılanmaya girmişlerdir. Mağazalarda satışa sunulan 1500 kadar ürün, daha kolay yönetim için 300 ürün grubuna ayrılmıştır. Bu yapıya göre, yıllık satış tahminlerine göre DM'lerin iş yükü kapasitesi planlanacaktır. Mağazalardaki her ürün grubu için stok bilgisi, bağlı olduğu DM tarafından takip edilecek ve ürün gruplarının raf ömürleri ve mağaza içi depolama kapasitesi de dikkate alınarak haftalık bir şekilde sevki gerçekleştirilecektir. Bu çalışmada belirtilen kısıtlar çerçevesinde DM'ler için daha düzgün bir sevkiyat planlaması problemi ele alınmıştır.

4. Açıklayıcı Örnek (Explanatory Example)

Bu bölümde problemin anlaşılabilirliğini arttırmak adına geliştirilen tam sayılı doğrusal model ile küçük bir örnek çözülmüş ve sonuçlar paylaşılmıştır. Bir DM'den ikmal edilen beş mağazanın bulunduğu örnekte, raf ömrü 3 hafta olan tek bir ürünün bulunduğu



Şekil 2. Bir mağazanın DM'ye verdiği siparişteki değişim (change in the order placed by a store to the distribution center)



Şekil 3. Bir DM'ye gelen toplam mağaza siparişleri (Total store orders arriving at a distribution center)

varsayılmaktadır. Mağazaların on dönemlik talepleri palet sayısı cinsinden Tablo 2’de sunulmuştur. Deponun mevcut iş gücü ile günde en fazla 150 palet sevk edebileceği varsayılmaktadır.

Her bir mağazaya ait başlangıç stoğu (sevkiyat planı hazırlanırken mağazada var olan ürün miktarı) ve stok kapasitesi palet sayısı cinsinden Tablo 3’te verilmiştir.

Yukarıda verilen parametreler ile model koşturulmuş ve sonuçları sunulmuştur (Tablo 4). Şekil 4’te ilgili tabloya ait grafik sunulmuştur.

Görüldüğü gibi model problemin bütünü için koşturulduğunda hiç yok satmaya sebep olmadan düzgün bir sevkiyat planı (haftalık sabit 149 palet) oluşturulmuştur.

5. Önerilen Tam Sayılı Doğrusal Model-Tdm (Proposed Integer Linear Model)

Model temel olarak, belirli bir haftadaki talebi karşılamak için DM’den mağazaya sevkiyat miktarını gösteren karar değişkeni (x_{ijkt}) üzerine kuruludur. Bu nedenle, formülasyon, kapasitesiz parti büyüklüğü problemi (*uncapacitated lot sizing problem*) için geliştirilmiş genişletilmiş formülasyon baz alınarak oluşturulmuştur

[62]. Kapasitesiz parti büyüklüğü probleminin standart formülasyonu, ele alınan problemde birden fazla ürünün varlığı ve malların sınırlı raf ömürlerine sahip olması sebebiyle uygulanamamıştır.

Tablo 4. Koşum sonrası oluşan sevkiyat planı (Shipment plan after run)

Dönem	Mağazalar					Top. Talep	Top. Sevkiyat	Yok Satma
	1	2	3	4	5			
1	32	22	33	34	28	162	149	-
2	33	37	24	29	26	143	149	-
3	30	23	33	33	30	162	149	-
4	35	29	28	34	23	147	149	-
5	32	28	32	28	29	145	149	-
6	32	38	27	27	25	150	149	-
7	27	35	23	36	28	145	149	-
8	28	18	31	34	38	146	149	-
9	31	36	33	37	12	159	149	-
10	35	28	28	29	29	151	149	-

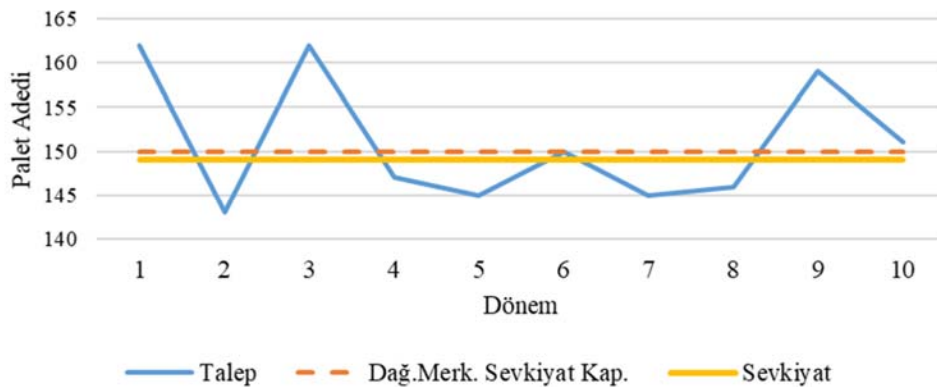
Matematiksel model verilmeden önce model ile ilgili varsayımlar, modelde kullanılan indeksler, parametreler ve değişkenler aşağıda verilmiştir.

Tablo 2. Mağazalara ait on dönemlik talep bilgisi-palet (Ten-period demand information of stores-pallets)

Dönem	Mağazalar					Top. Talep
	1	2	3	4	5	
1	37	30	33	34	28	162
2	33	26	29	29	26	143
3	30	34	33	35	30	162
4	35	29	26	34	23	147
5	32	28	28	28	29	145
6	32	33	33	27	25	150
7	27	31	23	36	28	145
8	28	27	31	34	26	146
9	31	34	33	37	24	159
10	35	30	28	29	29	151

Tablo 3. Mağazalara ait stok bilgisi-palet (Inventory information of stores-pallets)

	Mağaza-1	Mağaza-2	Mağaza-3	Mağaza-4	Mağaza-5
Başlangıç stoğu	5	10	5	10	8
Stok Kapasitesi	40	36	35	40	32



Şekil 4. Depo sevkiyat kapasitesi, haftalık talep ve sevkiyatı grafiği

Varsayımlar

Model aşağıdaki varsayımlar çerçevesinde geliştirilmiştir:

- Tüm ürün grupları için mağazalardaki başlangıç stoğunun ve mağaza kapasitesinin önceden bilindiği ve sabit olduğu varsayılmaktadır.
- Tüm ürün grupları için tahmini taleplerin önceden bilindiği varsayılmaktadır.
- DM'ler her ürün grubu için yeteri kadar stoğa sahip olduğu varsayılmaktadır.
- Talepler haftalık alınmakta ve sevkiyatlar haftalık yapılmaktadır.
- Ürün raf ömürlerinin mağazaya teslimi ile başladığı varsayılmaktadır.
- Raf ömrü bitip atılan ürünler ile ilgili maliyet ihmal edilmiştir.
- Yok satma maliyetinin tüm ürün grupları için eşit olduğu varsayılmıştır.

İndisler

- i : Ürün grupları $i=\{1,2,\dots,I\}$
 j : Mağazalar $j=\{1,2,\dots,J\}$
 k, l : Haftalar $k,l=\{1,2,\dots,K\}$ (k haftasından l haftasına, hafta başını ifade etmektedir)

Parametreler

- O_i : i ürün grubunun ömrü (hafta)
 C_{ij} : j mağazasının i ürün grubu cinsinden kapasitesi
 F_{ij} : j mağazasının i ürün grubu cinsinden başlangıç stoğu
 D_{ijl} : j mağazasının i ürün grubu l hafta talebi

Değişkenler

- U : Planlama ufku boyunca depodan yapılan azami haftalık sevkiyat
 L : Planlama ufku boyunca depodan yapılan asgari haftalık sevkiyat
 I_{ijk} : k haftası için j mağazasına gönderilen i ürün grubunun toplam miktarı
 α_{ijl} : j mağazasının i ürün grubu cinsinden l hafta talebinin başlangıç stoğundan karşılanan miktarı
 x_{ijkl} : j mağazasının l haftadaki i ürün grubu talebini k hafta başında karşılamak üzere yapılan sevkiyat miktarı

Tam Sayılı Doğrusal Model

$$\text{Min. } z = (U - L) \quad (1)$$

Kısıtları altında

$$\sum_j \sum_i \sum_{l=k}^{k+O_i-1} x_{ijkl} \leq U \quad \forall k \quad (2)$$

$$\sum_j \sum_i \sum_{l=k}^{k+O_i-1} x_{ijkl} \geq L \quad \forall k \quad (3)$$

$$I_{ijk} + (F_{ij} - \sum_{l=1}^k \alpha_{ijl}) \leq C_{ij} \quad \forall i, j; \forall k \leq O_i \quad (4)$$

$$I_{ijk} \leq C_{ij} \quad \forall i, j; \forall k > O_i \quad (5)$$

$$\alpha_{ijl} + \sum_{k=l-O_i+1}^l x_{ijkl} = D_{ijl} \quad \forall i, j; \forall l \leq O_i \quad (6)$$

$$\sum_{k=l-O_i+1}^l x_{ijkl} = D_{ijl} \quad \forall i, j; \forall l > O_i \quad (7)$$

$$\sum_{m=k-O_i+1}^k \sum_{n=k}^{k+O_i-1} x_{ijmn} = I_{ijk} \quad \forall i, j; \forall k > O_i \quad (8)$$

$$\sum_{l=1}^{O_i} \alpha_{ijl} \leq F_{ij} \quad \forall i, j \quad (9)$$

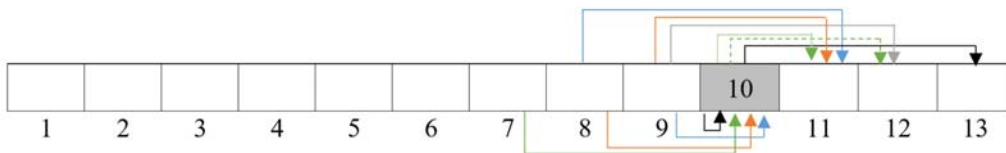
$$x_{ijkl}, \alpha_{ijl}, \beta_{ijl}, I_{ijk} \geq 0, \text{ tam sayı} \quad \forall i, j, k, l \quad (10)$$

Eş. 1, enküçüklenmeye çalışılan amaç fonksiyonudur. Bu fonksiyon ile planlama ufku boyunca DM'den yapılan azami ve asgari sevkiyat miktarları arasındaki fark en küçüklenmeye çalışılmaktadır. Böylece depo iş yükünü haftalar arası dalgalanması, mümkün olan en az seviyeye indirilmiş olacaktır. Her hafta DM'den yapılan sevkiyatın azami sevkiyat miktarı U 'dan küçük veya eşit olması Eş. 2 ile, asgari sevkiyat miktarı L 'den büyük veya eşit olması Eş. 3 ile sağlanmaktadır. Eş. 4 ve Eş. 5 ile her k haftası için, her j mağazasındaki i ürün grubunun mevcut miktarının, ilgili mağazanın bu ürün grubu için ayrılan kapasiteyi (C_{ij}) aşmaması sağlanmaktadır. j mağazasının k . hafta i ürün grubu mevcut miktarı (eşitsizliğin sol tarafı); sipariş üzerine DM'den k haftası için gelen toplam miktar (I_{ijk}) ile başlangıç stoğundan ilgili k haftası için kalan miktarın ($F_{ij} - \sum_{l=1}^k \alpha_{ijl}$) toplamından oluşmaktadır. Eş. 4'te planlanan k haftası, ilgili ürün grubunun raf ömründen ($k \leq O_i$) küçük veya eşit ise devreye girmektedir. Aksi takdirde beşinci denklem aktif olmaktadır. Bu şekilde bir ürün raf ömründen fazla mağazada tutulamayacağı durum göz önünde bulundurulmaktadır. Eş. 6 ve Eş. 7 ile l haftasının talebi ile başlangıç stoğundan karşılanan miktar (α_{ijl}) ve dağıtım merkezinden gelen partiler halinde ilgili l haftası için gelen toplam miktar eşitlenmektedir. l haftası talebini karşılayabilmek için sevkiyat, i ürün grubunun raf ömrü kadar önce başlayabilmektedir ($l - O_i + 1$). Eş. 7'de l haftasına raf ömründen daha uzun bir süre ($l > O_i$) önce ürün gönderilemeyeceği ifade edilmiştir ve altıncı denklemde yer alan α_{ijl} ifadesi bu denklemden çıkarılmıştır. Eş. 8 ile k haftasının talebini karşılamak için dağıtım merkezinden partiler halinde gönderilen toplam miktar (I_{ijk}) hesaplanmaktadır. Bu kısıtın işleyişini anlatmak için aşağıda küçük bir örnek verilmiştir (Şekil 5).

Şekil 5'te 10. hafta başında bir j mağazasında bulunan ve raf ömrü 4 hafta farz edilen i ürün grubuna ait ürünlerin dağılımı ifade edilmiştir:

- 10. hafta talebi için 7, 8, 9 ve 10. haftadan gönderilen ürünler
- 11. hafta talebi için 8, 9 ve 10. haftadan gönderilen ürünler
- 12. hafta talebi için 9 ve 10. haftadan gönderilen ürünler
- 13. hafta talebi için 10 haftadan gönderilen ürünler

Eş. 9 ile her i ürünü için, ürünün raf ömrü boyunca (O_i) başlangıç stoğundan karşılama miktarının ($\sum_{l=1}^{O_i} \alpha_{ijl}$), planlama anındaki başlangıç stoğunu (F_{ij}) geçmemesi sağlanmaktadır (Raf ömrünü aşan ürünler imha edilmektedir). Eş. 10 değişkenlerin sıfırdan büyük değerler alabileceğini göstermektedir.



Şekil 5. 8 numaralı kısıtın işleyişi (The operation of constraint 8)

6. Önerilen Sezgisel Yaklaşımlar (Proposed Heuristic Approaches)

Model eldeki gerçek hayat verileri için çalıştırılmış (300 ürün grubu, 100 mağaza, 30 hafta) ancak 16 GB'lık RAM'e sahip bir bilgisayar çözüm için yetersiz kalmış ve GUROBI çözücü verilen koşum süresi dolmadan "Out of memory" hatası vermiştir. Bu problemi aşmak için GUROBI'nin fonksiyonları yardımı ile RAM yerine Hard disk kullanılmaya çalışılmış ancak bilgisayarın sabit diski de yeterli olmadığından sorun aşılamamıştır. Çözüm için iki farklı sezgisel önerilmiştir. Ayırıştırma yaklaşımı olarak isimlendirilen ilk metotta, belirli düzenlemeler yapılarak model her mağaza için ayrı ayrı uygulanmıştır. İkinci olarak problem çok ürünlü ulaştırma modeline dönüştürülerek iki aşamalı bir yaklaşım önerilmiştir.

6.1. Ayırıştırma Yaklaşımı-AY (Decomposition Approach)

Bu yaklaşımda, model mağazalar bazında parçalanmış ve her bir j mağazası için model ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu yaklaşım ile model boyutu ciddi ölçüde küçüldüğünden verilen süre zarfında problem GUROBI tarafından çözülebilir hale gelmiştir. Bunun için karar değişkenleri ve parametrelerden j (mağaza) indisi çıkarılmıştır. Ayrıca 2 ve 3 numaralı denklemler modelden çıkarılmıştır ve amaç fonksiyonu (1), aşağıdaki Eş. 11 ile değiştirilmiştir.

$$\text{Min. } Z = \sum_i \sum_k \sum_{l=k}^{k+O_i-1} x_{ikl} * w_k \quad (11)$$

Eş. 11'de i ürün grubu için k . haftadan l . haftanın talebi için gönderilen miktarın (x_{ikl}) ağırlıklı toplamı minimize edilmektedir. Tanımlanan bu amaç fonksiyonunda i ürününün, raf ömrü (O_i) kadar sonraki dönemin talebinin karşılanabileceği durum dikkate alınmıştır. w_k , sevkiyatın yapıldığı k haftası için, her iterasyondan sonra hesaplanan ağırlığı ifade eder. k haftasında yapılan sevkiyatın, toplam sevkiyat içerisindeki oranını ifade eden w_k değeri, her mağaza için model koşulmadan önce aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$w_k = \frac{w_{sk}}{\sum_k w_{sk}} * 100 \quad (12)$$

w_{sk} , j' mağazası için model koşulmadan önce, her k haftası için daha önceki her j mağazasına yapılan sevkiyatın (w_{skj}) toplam miktarını ifade etmekte ve aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$w_{sk} = \sum_1^{j'} w_{skj} \quad \forall k \quad (13)$$

Tanımlanan amaç fonksiyonu ile fazla sevkiyat yapılan k haftası, w_k katsayısı ile cezalandırılarak dengeli bir sevkiyat planının oluşturulması sağlanmaktadır.

6.2. Ulaştırma Modeli Temelli Sezgisel Yaklaşım-UMtSY (Transportation Model Based Heuristic Approach)

Yöneylem araştırmasında iyi bilinen bir problem olan ulaştırma problemi, malları üreticilerden tüketicilere minimum nakliye maliyeti ile ulaştırmanın en uygun yolunu bulmaya çalışır. Bu çalışmada ele alınan sevkiyat planlama problemi, k arz haftasından l talep haftasına i farklı ürününün transfer edildiği çok-ürünlü ulaştırma problemi şeklinde kurgulanmış ve Tablo 5'te görüldüğü gibi bir ulaştırma tablosu oluşturulmuştur.

Her j mağazası için ayrı ayrı oluşturulan bu tablonun satırlarında, sevkiyatın yapıldığı haftalar (k) ve her hafta için sevkiyatı yapılan ürünler (i) bulunmaktadır. Ayrıca satırlarda mağazadaki mevcut stoklar da ayrı bir arz noktası (*Inven.*) olarak tanımlanmıştır. Sütunlarda talep noktası haftalar (l) bulunmaktadır. Ayrıca arz fazlasını dengelemek için kukla bir mağaza (DY) olarak tanımlanmıştır. Kukla mağazanın talep miktarı, büyük bir değer (M) olarak belirlenmiştir. Diğer talep noktaları için talep miktarı (D_l), ilgili haftaya ait tüm ürünlerin toplam talep miktarı olarak hesaplanmıştır. Ele alınan problemde dengeli sevkiyat planı oluşturulması amaçlandığından, DM'nin arz kapasitesi, tüm talebi karşılayacak büyüklükte (S) olduğu varsayılmaktadır. Bu yüzden yok satmayı ifade edecek kukla bir mağaza, ulaştırma tablosunda tanımlanmamıştır. Mağaza içi stoğu ifade eden arz noktalarının (*Inven.*) arz kapasitesi, mağaza içi stok (F_i) kadar tanımlanmıştır. Tüm ürünler, k haftasından raf ömrü kadar (O_i) sonraki l haftasının talebi için sevk edilebilmektedir. Bu doğrultuda k arz haftasından l talep haftasına yapılacak sevkiyatın maliyeti (C_{kl}) ise şu şekilde belirlenmektedir:

- Talebi, mağaza içi stoktan karşılanmanın maliyeti, ilgili ürünün raf ömrü kadar süre için 0, bunun dışında sevkiyatı engellemek için büyük bir değer olan M kadardır. Ayrıca mağaza içi stoktan kukla mağazaya sevkiyatın maliyeti de M olarak belirlenmiştir. Çünkü kukla mağazaya yapılan sevkiyat, ürünün raf ömrünü doldurması ve çöpe atılması anlamına geldiğinden, maliyet yüksek tutularak bunun önüne geçilmeye çalışılmaktadır.

Tablo 5. j mağazası için oluşturulan çok-ürünlü ulaştırma tablosu (Multi-item delivery table created for store j)

l		DY	17	18	19	...	Arz	O_i
k	i							
Stok	1	M	0	0	M	M	F_1	2
	2	M	0	0	0	M	F_2	3
	⋮	M	0	0	0	0	$F_{..}$	⋮
17	1	0	C_{17}	C_{17}	M	M		2
	2	0	C_{17}	C_{17}	C_{17}	M	S	3
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮
18	1	0	M	C_{18}	C_{19}	M		2
	2	0	M	C_{18}	C_{18}	M	S	3
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮
19	1	0	M	M	M	M		2
	2	0	M	M	C_{19}	M	S	3
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
Talep		M	D_{17}	D_{18}	D_{19}	$D_{..}$		

- Geri bir tarihe yönelik sevkiyat yapılmasını engellemek için (örneğin 19. haftadan 18.haftaya) yine maliyet M olarak belirlenmiştir.
- Yukarıda belirtilen durumların dışında, arz haftalarından (k) talep haftalarına (l) sevkiyatın maliyeti, raf ömrü kadar süre (O_i) için C_{kl} , bundan fazla süreler için M olarak belirlenmiştir. Tablo 5'te raf ömrü 2 hafta ve 3 hafta olan iki ürüne ait örnek verilmiştir. Arz haftasından kukla mağazaya yapılan sevkiyat, arz fazlasının dengelenmesini ifade etmektedir ve 0 olarak tanımlanmıştır.
- C_{kl} değeri Eş. 12'ye göre her mağaza için güncellenmektedir. Stokta tutma maliyeti veya raflarda sunulan ürünlerin tazeliği gibi durumlar dikkate alınmadığından, Eş. 12 ile hesaplanan maliyet ürün ömrü içerisindeki tüm haftalar için aynıdır. Çalışmanın devam eden kısımlarında C_{kl} yerine C_k ifadesi kullanılacaktır.

Çok-ürünlü ulaştırma problemine dönüştürülen problemin çözümü için iki aşamalı bir sezgisel geliştirilmiştir. İlk aşamada ürün grupları ihmal edilerek, haftalık toplam talep ve stok (F) değerleriyle her mağaza için klasik bir ulaştırma tablosu oluşturulmuştur. Her mağaza için haftalık yapılacak toplam sevkiyat miktarı belirlendikten sonra yine her mağaza için bu kez ürün grupları bazında ulaştırma modeli oluşturulmuştur. İkinci aşamada, önceki aşamada bulunan haftalık toplam sevkiyat miktarları aşılmadan, her ürün grubu için sevkiyat miktarları (haftalık) bulunmaktadır. İlk aşama için oluşturulan ulaştırma tablosu Tablo 6'a da verilmiştir. Bu tabloda ürün grupları ihmal edildiğinden i kolonu bulunmamaktadır. Talep (D_k) ve mağaza içi stok (F) değerleri tüm ürün grupları için toplam değerdir. Ayrıca bu tabloda ürün ömürlerine göre maliyetlendirme kaldırılmış, bunun yerine her $l \geq k$ için C_k olarak belirlenmiştir.

İlk aşama için, Şekil 6'da tanımlanan gösterim kullanılmıştır. Dizinin her hücrelerinde bir mağazanın kodu bulunmaktadır. J uzunluğundaki dizi, soldan sağa okunarak ilgili mağaza için yukarıda tanımlanan ulaştırma modeli yapısı uygulanmıştır.

Mağaza ID

999183	989145	487525	698145	785149	...
--------	--------	--------	--------	--------	-----

Şekil 6. Birinci aşma problemin gösterimi
(Representation of the first stage problem)

Sahte kodu Tablo 7'de verilen bu süreç durdurma kriteri sağlanan kadar tekrar edilmektedir. Her iterasyonda, dizi rassal bir şekilde yeniden oluşturulmuştur. Sürece ait detaylar şu şekildedir:

Ele alınan problemde DM'nin arz kapasitesi, sınırsız bir şekilde artırılıp azaltılabileceği varsayılmaktadır. Amaç, sevkiyat planının düzgün yapılması olduğundan her haftanın arz kapasitesinin (S) belirlenmesi çözüm kalitesi bakımından kritik bir öneme sahiptir. Küçük bir S değeri yok satmaya, büyük belirlenen S değeri optimuma yakınsamayı olumsuz etkilemektedir. Örneğin S değeri ortalama talebin iki katı gibi bir sabit değer belirlendiğinde, oluşan yakınsama grafiği Şekil 7'de verilmiştir. Çözüm kalitesini değerlendirmek için, standart sapmanın ortalama oranını ifade eden varyasyon katsayısı (VK) kullanılmıştır (Eş. 14). VK birimlerden bağımsız bir şekilde, karşılaştırılabilir olmayan ölçüm değerlerinin dağılımları arasında karşılaştırmaya izin verir. Genelde yüzde olarak ifade edilen VK ne kadar yüksek olursa, ortalama etrafındaki dağılım seviyesi o kadar büyük olur.

$$\text{Varyasyon katsayısı (VK) (\%)} = \frac{\sqrt{\frac{(ws_i - ws)^2}{K-1}}}{ws} * 100 \quad (14)$$

Bu durumu düzeltmek için S değeri her iterasyondan sonra kademeli bir şekilde (θ kadar), yok satmaya sebep olmayacak bir seviyeye (S') kadar küçültülmüştür. S' ilgili mağaza için hiçbir hafta yok satmanın yaşanmayacağı arz kapasitesidir. Yeni yakınsama grafiği Şekil 8'deki gibi olmuştur. Bu aşamada bulunan haftalık sevkiyat miktarları, ikinci aşamadaki maliyet hesabında (C_k) kullanılmaktadır.

Tablo 6. Birinci aşama için hazırlanan ulaştırma tablosu (Transportation table prepared for the first stage)

l	DY	17	18	19	...	Arz	l	DY	17	18	19	...	Arz
k							k						
Stok	M	0	0	0	0	F	Stok	M	0	0	M	M	F_i
17	0	C_{17}	C_{17}	C_{17}	C_{17}	S	17	0	C_{17}	C_{17}	M	M	S_i
18	0	M	C_{18}	C_{18}	C_{18}	S	18	0	M	C_{18}	C_{18}	M	S_i
19	0	M	M	C_{19}	C_{19}	S	19	0	M	M	C_{19}	C_{19}	S_i
Talep	M	D_{17}	D_{18}	D_{19}	$D_{..}$		Talep	M	D_{17}	D_{18}	D_{19}	$D_{..}$	

a) Birinci aşama j mağazası için

b) İkinci aşama i ürün grubu için

Tablo 7. Ulaştırma modeli temelli sezgisel: Aşama-1 sözde kodu (Transportation model-based heuristic: Phase-1 pseudocode)

Ulaştırma modeli temelli sezgisel: 1. aşama

j : Mağaza

S , S' ve θ parametrelerini belirle

do

$\overrightarrow{str} \leftarrow (j_3, j_5, \dots, j_1)$ Rastgele mağaza dizisi oluştur

for each j in \overrightarrow{str}

Ulaştırma tablosunu oluştur (w_k)

Kuzeybatı köşe yöntemini uygula

$w_{SS_{kj}} \leftarrow$ Atlama taşı yöntemini uygula

w_k değerini güncelle ($w_k = \frac{w_{S_k}}{\sum_i w_{S_k}} * 100$)

end

S değerini güncelle: $S = S - \theta$

Uygunluk değerini hesapla

while $S > S'$

Return $w_{SS_{kj}}$

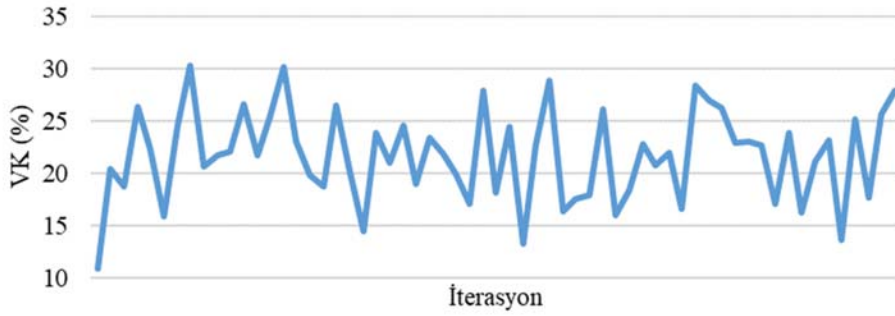
İkinci aşamada her mağaza ve her ürün grubu için ulaştırma tablosu oluşturulmuştur (Tablo 6b). Ürün grupları raf ömürlerine göre küçükten büyüğe sıralanarak her ürün grubu için bu tablo oluşturulmaktadır. Önceki aşamada olduğu gibi DM'nin sevkiyat kapasitesi yok satmaya izin vermeyecek seviyede olduğu kabul edilmiştir. Bu yüzden her k haftasından l haftasına, i ürün grubundan yapılabilecek sevkiyat miktarı (S_i : arz kapasitesi) yüksek bir değer belirlenmiştir. Bu aşamada düzenli (istikrarlı) sevkiyat planının oluşturulması C_k maliyet değerlerine bağlıdır ve bu değerler yukarıda maddeler halinde verilen tanımlamaya ilaveten şu şekilde hesaplanmıştır. j mağazası ve her i ürün grubu için hazırlanan ulaştırma modeli çözüldükten sonra k haftasından yapılmış sevkiyatlar toplamı ($\sum_i \sum_l x_{ijkl}$), ilgili k haftası için birinci aşamada belirlenen toplam sevkiyat değerinden (wss_{kj}) fazla ise M, aksi takdirde Eş. 15'teki orana göre belirlenmektedir. Birinci durumda M gibi büyük bir maliyet tanımlayarak, önceki aşamada ilgili j mağazası ve k haftası için belirlenen sevkiyat miktarı (wss_{kj}) aşılmamaya çalışılır. Birinci

aşamada belirlenen sınıra (wss_{kj}) yakınsadıkça k haftasından yapılan sevkiyatın maliyeti de arttırılmakta ve böylece dengeli bir atama yapılması sağlanmaktadır. İkinci aşamaya ait sahte kod Tablo 8'de sunulmuştur.

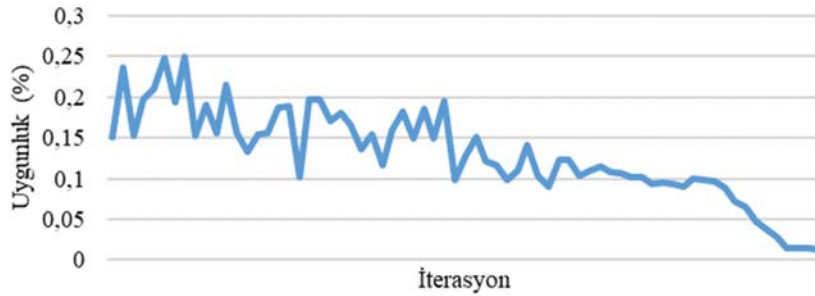
$$c_k = \frac{\sum_i \sum_l x_{ijkl}}{wss_{kj}} \quad \forall k, j \quad (15)$$

7. Sayısal Analiz (Numerical Analysis)

Bu bölümde ele alınan problem için önerilen üç yaklaşımın performanslarını değerlendirmek için yapılan testler sunulmuştur. Bunun için gerçek hayat verilerinden çeşitli boyutlarda kesitler alınarak test problemleri oluşturulmuştur. Boyutuna (I/J/K) göre 14 farklı test problemi oluşturulmuştur. Test problemleri orta boyut ve büyük boyut olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Burada I indeksi ürün grubu sayısını, J mağaza sayısını ve K planlama ufku (hafta) ifade



Şekil 7. Sabit ve büyük S değeri için yakınsama grafiği (Convergence plot for constant and large S value)



Şekil 8. Azalan S değeri için yakınsama grafiği (Convergence plot for decreasing S value)

Tablo 8. Ulaştırma modeli temelli sezgisel: Aşama-2 sözde kodu (Transportation model-based heuristic: Phase-2 pseudocode)

Ulaştırma modeli temelli sezgisel: 2. aşama	
i:	Ürün grubu
wss_{kj} :	Birinci aşamada belirlenen toplam sevkiyat değeri
\vec{j} :	$\langle j_1, j_2, \dots \rangle$ Mağaza listesi
\vec{l} :	$\langle l_1, l_2, \dots \rangle$ j mağazası talepleri (Ürün grubu bazında)
	for each j in \vec{j}
	for each i in \vec{l}_j
	Ulaştırma tablosunu oluştur (c_k)
	Kuzeybatı köşe yöntemini uygula
	$x_{ijkl} \leftarrow$ Atlama taşı yöntemini uygula
	c_k değerini güncelle ($c_k = \frac{\sum_i \sum_l x_{ijkl}}{wss_{kj}}$)
	end
	End
	Return x_{ijkl}

etmektedir. Tablo 9’da test problemlerine ilişkin diğer detaylar sunulmuştur.

Tablo 9. Test problemleri (Test problems)

	I	J	K	Top Sip. (Palet)	Max-Min	VK (%)	
Orta Boyut	1	57	64	13	32.756	45.159	20,28
	2	70	64	12	40.858	54.995	19,83
	3	90	64	13	52.380	109.758	28,54
	4	90	90	13	74.277	63.049	19,78
	5	90	90	18	110.530	91.107	19,78
	6	90	100	18	123.420	102.739	25,42
	7	90	100	28	188.504	170.979	29,91
Büyük Boyut	8	120	100	28	253.587	246.586	29,88
	9	150	100	28	319.077	298.014	24,15
	10	180	100	28	402.345	389.147	18,42
	11	220	100	28	471.298	453.299	24,46
	12	280	100	28	510.478	575.896	25,32
	13	320	100	28	680.215	602.145	21,35
	14	350	100	28	755.245	735.619	24,53

İlgili tabloda dördüncü kolonda toplam sipariş adedi verilmiştir. 5 ve 6. kolonda tahmini talebin dalgalanmasına ilişkin iki farklı veri paylaşılmıştır. İlkinde haftalık toplam talep bazında en yüksek değer ile en düşük değer arasındaki fark, ikincisinde varyasyon katsayısı (Eş. 14) sunulmuştur. Örnek olarak Şekil 9’da, mağazalardan DM’ye

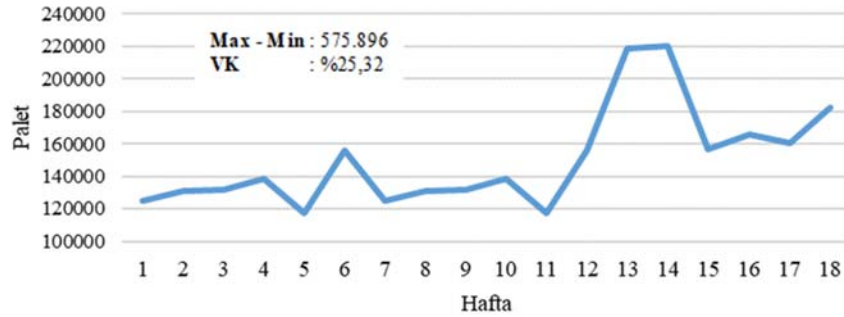
gelen 18 haftalık tahmini toplam talebe ilişkin grafik sunulmuştur (Test problemi 6).

Test Problemi 6’nın her üç yaklaşım ile çözülmesi sonucu oluşan sevkiyat planına ilişkin grafikler Şekil 10 ve Şekil 11’de verilmiştir. Şekil 10’da tahmini talep grafiği ile (Şekil 9) aynı ölçekte (100K-240K), Şekil 11’de daha detaylı görünüm için odaklanılarak, daha dar aralıklı bir ölçekte (139K-144K) hazırlanan sevkiyat planları sunulmuştur.

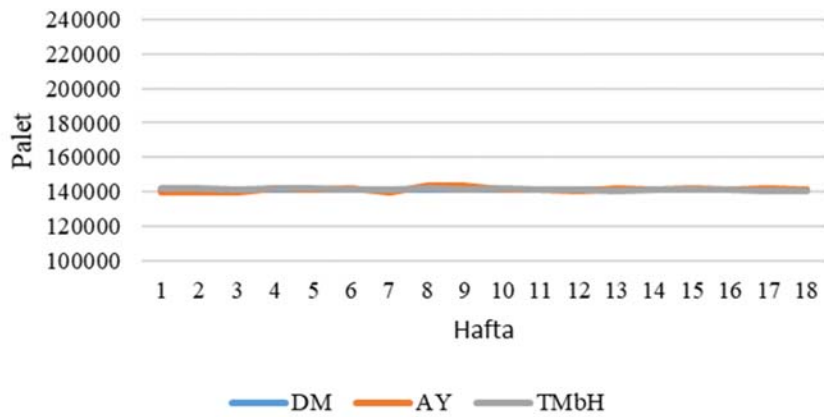
Diğer test problemlerinin çözümü ile elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı bir şekilde Tablo 10’da sunulmuştur. DM ve AY en fazla 3600 saniye (bir saat) çalıştırılmıştır.

Tablo 10’da üç blok halinde sırasıyla; Max-Min değerleri, VK değerleri ve işlem süreleri (saniye) sunulmuştur. Max-Min değeri, DM’den ilgili planlama ufku içerisinde yapılan en yüksek sevkiyat miktarı ile en düşük sevkiyat miktarı arasındaki palet cinsinden farkı göstermektedir. Eş. 14’te nasıl hesaplandığı verilen VK ise sevkiyattaki dalgalanmayı oransal bir şekilde ifade etmektedir.

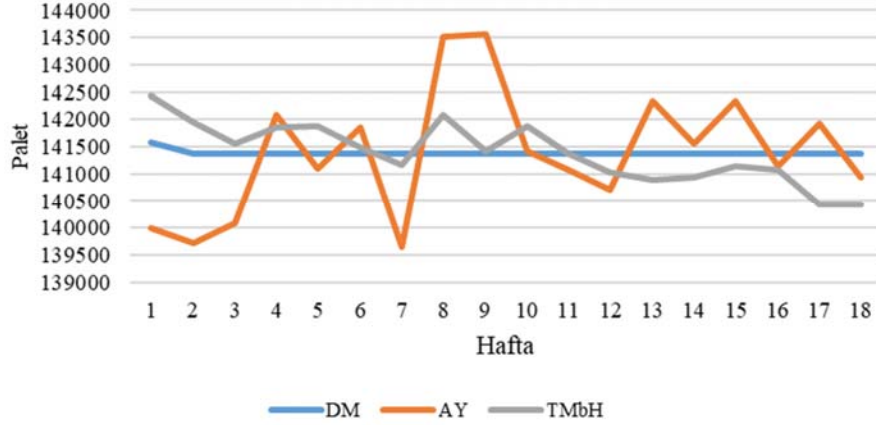
Orta boyutlu problemler için TDM ile optimum çözüme ulaşılmıştır. Orta boyutlu test problemlerinin çözümü sonucu elde edilen karşılaştırmalı sonuçlara bakıldığında hem ayrıştırma yaklaşımı hem de ulaştırma modeli temelli yaklaşım optimuma oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Büyük boyutlu problemler için, TDM ile önceden tanımlanan süre zarfında (3600 sn) sonuç alınamamıştır. Hatta Test Problemi 14 için hafıza yetersizliğinden dolayı GUROBI, “Out of memory” hatası vermiş, model dahi oluşturulamamıştır. Ayrıştırma yaklaşımı ile ancak ilk iki büyük boyutlu problem için sonuç alınabilmiştir. 350 ürün grubunun yer aldığı 100 mağazaya ait 28 haftalık talep tahmini verisini (755.245 satır) içeren Test Problemi 14



Şekil 9. Test problemi 6’ya ait haftalık talep tahmini-palet (Weekly demand forecast for test problem 6-boxes)



Şekil 10. Haftalık sevkiyat miktarları geniş ölçekli görünüm-Test Prob.6 (Large-scale view of weekly shipment quantities-Test Probe.6)



Şekil 11. Haftalık sevkiyat miktarları dar ölçekli görünüm-Test Prob.6 (Narrow-scale view of weekly shipment quantities-Test Probe.6)

Tablo 10. Karşılaştırmalı sonuçlar (Comparative results)

	Max-Min			VK %			CPU (sn.)			
	TDM	AY	UMtSY	TDM	AY	UMtSY	TDM	AY	UMtSY	
Orta Boyut	1	14.441	15.548	15.643	7,39	8,01	8,37	51	20	9
	2	1	4.614	6.140	0	1,63	2,69	98	41	26
	3	62.749	65.159	75.084	19,50	19,83	20,96	219	56	27
	4	1	4.848	6.513	0	0,89	1,59	385	98	58
	5	203	3.566	4.109	0,04	0,78	0,74	860	214	65
	6	275	3.924	2.002	0,03	0,79	0,36	981	252	72
	7	92.146	96.703	104.787	18,78	17,37	18,34	2445	621	122
Büyük Boyut	8	-	140.350	154.622	-	17,29	18,1	3600	1134	171
	9	-	20.438	29.050	-	3,17	4,83	3600	3347	230
	10	-	-	36.519	-	-	2,01	3600	3600	295
	11	-	-	48.223	-	-	3,88	3600	3600	377
	12	-	-	37.514	-	-	1,87	3600	3600	517
	13	-	-	96.875	-	-	3,05	3600	3600	603
	14	-	-	102.301	-	-	3,63	3600	3600	682

kabul edilebilir zamanda (682 sn), %3,63 VK değerine sahip kaliteli çözüm üretmiştir.

8. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Bu çalışmada Türkiye’de faaliyet gösteren zincir marketlere ait bir gerçek hayat problemi ele alınmıştır. Şirket klasik (r,Q) stok politikasına göre tedarik zincirini yönetmektedir. Yani mağazalardan gelen talepler doğrultusunda depolardan belirli periyotlarla sevkiyat yapmaktadır. Ancak bu yaklaşım ile mağazalardan gelen düzensiz talepler, depoların iş yükü kullanımının da düzensizliğine sebep olmaktadır. Bu durum depo iş gücü kapasitesinin bazı günler atıl kalmasına, bazı günler de yoğunluk sebebiyle sevkiyatların zamanında yapılamamasına ve mağazalarda yok satmaya sebep olmaktadır. Hem yok satmaları hem de işe alım ve çıkarmadan kaynaklı maliyetleri en azlamak adına şirket yöneticileri, talep tahminlerine ve mağazalardan gelen güncel veriye göre mağaza stoklarının depolardan yönetileceği bir yapıya geçmek istemişlerdir. Tedarikçi (depo) yönetimli stok yönetimi diye nitelendirilen bu yapı ile talepleri zamanında karşılayacak daha düzgün bir sevkiyat planı hazırlamak amaçlanmıştır. Bu doğrultuda problemin tam sayılı doğrusal modeli hazırlanmıştır. Ancak yüzbinlerce satırlık talepten oluşan problemin devasa yapısı nedeni ile model büyük boyutlu gerçek hayat problemi için kabul edilebilir zamanda sonuç vermemiştir. Bunun üzerine iki farklı sezgisel yaklaşım önerilmiştir. İlk sezgisel yaklaşım, modelin ayrıştırılması esasına dayanmaktadır. İkinci yaklaşımda problem ulaştırma probleminde benzetilmiş ve

ulaştırma modeli temelli bir yaklaşım ortaya konmuştur. Her ne kadar ayrıştırma yaklaşımı uzun süre koşum neticesinde sonuç verse de ulaştırma modeli temelli yaklaşım, çözüm süresi bakımından açık ara üstünlük sağlamıştır. Orta boyutlu test problemleri ile elde edilen sonuçlara bakıldığında çözüm kalitesi bakımından, herhangi ticari bir çözücüye ihtiyaç duymadan, optimuma çok yakın sonuçlar vermiştir. Bu çalışmada DM’lerin arz kapasitesinin sınırsız olduğu varsayılarak düzgün (dalgalı olmayan) bir sevkiyat planı oluşturulması amaçlanmıştır. DM sevkiyat kapasitesinin sınırlı ve yok satma maliyetinin her ürün grubu için farklı olduğu bu problemin farklı bir versiyonu gelecek çalışma olarak düşünülmektedir. Covid-19 krizi ile hızla artan e-sipariş karşılama konsepti tedarik zincirinde yeni zorluklarını beraberinde getirmiştir. DM’lerin mağazalara sevkiyatının yanı sıra direkt müşteriye sevkiyat yapması ile DM’lerin etkin bir şekilde planlanması, şirketlerin hayatlarını devam ettirebilmesi açısından kilit rol almıştır. Ortaya çıkan bu yeni zorlukların çözüm sürecine dahil edildiği çalışmalar da gelecek çalışma kapsamında değerlendirilmektedir.

Kaynaklar (References)

- Potter A., Mason R., Lalwani C., Analysis of Factory Gate Pricing in the UK Grocery Supply Chain, International Journal of Retail & Distribution Management, 35 (10), 821–834, 2007.
- Corsten D., Gruen T., Desperately Seeking Shelf Availability: An Examination of the Extent, the Causes, and the Efforts to Address Retail Out-of-stocks, International Journal of Retail & Distribution Management 31 (12), 605–17, 2003.

3. Aastrup J., Kotzab H., Forty Years of Out-of-stock Research – And Shelves are Still Empty, *The International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, 20 (1), 147–164, 2009.
4. Fernie J., Sparks L., *Logistics and Retail Management: Insights into Current Practice and Trends from Leading Experts*. London: Kogan Page, 2004.
5. Fernie J., Grant D. B., On-shelf availability: the case of a UK grocery retailer, *International Journal of Logistics Management*, 19 (3), 293–308, 2008.
6. Derrouiche R., Neubert G., Bouras A., Supply chain management: a framework to characterize the collaborative strategies, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21 (4), 426-439, 2008.
7. Poursoltan L., Mohammad Seyedhosseini S., Jabbarzadeh A., A two-level closed-loop supply chain under the contract Of vendor managed inventory with learning: A novel hybrid algorithm, *Journal of Industrial and Production Engineering*, 38 (4), 254-270, 2021.
8. Zhao R., A review on theoretical development of vendor-managed inventory in supply chain, *American Journal of Industrial and Business Management*, 9(4), 999-1010, 2019.
9. Govindan K. Vendor-managed inventory: a review based on dimensions, *International Journal of Production Research*, 51, 3808-3835, 2013.
10. Marqués G., Thierry C., Lamothe J., Gourc D., A review of vendor managed inventory (VMI): from concept to processes, *Production Planning and Control*, 21 (6), 547-561, 2010.
11. Kauremaa J., Smáros J., Holmström J., Patterns of Vendor-Managed Inventory: Findings from a Multiple-Case Study, *International Journal of Operations & Production Management*, 29 (11), 1109–1139, 2009.
12. Han J., Lu J, Zhang G., Tri-level decision-making for decentralized vendor-managed Inventory, *Information Sciences*, 421, 85-103, 2017.
13. Yao Y., Dong Y., Dresner M. Analyzing information-enabled stockout management under vendor-managed inventory. *Information Technology and Management*, 8, 133-145, 2007.
14. Claassen M.J.T., van Weele A.J., van Raaij E.M., Performance outcomes and success factors of vendor managed inventory (VMI), *Supply Chain Manage.* 13, 406-414, 2008.
15. Kim H.-S., Revisiting "retailer- vs. vendor-managed inventory and brand competition, *Management Science*, 54, 623-626, 2008.
16. Rad R.H., Razmi J., Sangari M.S., Ebrahimi Z.F., Optimizing an integrated vendor-managed inventory system for a single-vendor two-buyer supply chain with determining weighting factor for vendor's ordering cost, *International Journal of Production Economics*, 153, 295-308, 2014.
17. Mishra B.K.R.S., Retailer- vs. vendor-managed inventory and brand competition, *Management Science*, 50, 445-457, 2004.
18. Yao Y., Evers P.T., Dresner M.E., Supply chain integration in vendor-managed inventory, *Decision Support Systems*, 43 (2), 663–674, 2007.
19. Zavanella L., Zaroni S. A., One-vendor multi-buyer integrated production-inventory model: the 'consignment stock' case, *Int. J. Product. Econ.* 118, 225-232, 2009.
20. Pasandideh S., Niaki S., Roozbeh Nia A., An investigation of vendor-managed inventory application in supply chain: the EOQ model with shortage, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49, 329-339, 2010.
21. Yao Y., Dong Y., Dresner M., Managing supply chain backorders under vendor managed inventory: An incentive approach and empirical analysis, *European Journal of Operations Research* 203, 350-359, 2010.
22. Chakraborty A., Chatterjee A.K., Mateen A., A vendor-managed inventory scheme as a supply chain coordination mechanism, *International Journal of Production Research* 53, 13-24, 2015.
23. Lee J-Y., Cho R.K., Contracting for vendor-managed inventory with consignment stock and stockout-cost sharing, *International Journal of Production Economics* 151, 158-173, 2014.
24. Nagarajan M., Rajagopalan S., Contracting under vendor managed inventory systems using holding cost subsidies, *Production Operations Management*, 17, 200-210, 2008.
25. Torun H., Canbulut G., Analysis of two stage supply chain coordination under fuzzy demand, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (3), 1315-1328, 2019.
26. Ashraf Z., Malhotra D., Muhuri P. K., Lohani Q.M., Interval type-2 fuzzy vendor managed inventory system and its solution with particle swarm optimization, *International Journal of Fuzzy Systems*, 23 (7), 2080-2105, 2021.
27. Çömez-Dolgan N., Moussawi-Haidar L., Jaber M.Y.A., Buyer-vendor system with untimely delivery costs: Traditional coordination vs. VMI with consignment stock. *Computers & Industrial Engineering*, 154, 107009, 2021.
28. Wang C.X., Random yield and uncertain demand in decentralised supply chains under the traditional and VMI arrangements, *International Journal of Production Research*, 47 (7), 1955-1968, 2009.
29. Bichescu C. B., Michael J. F. Vendor-managed inventory and the effect of channel Power *OR Spectrum*, 31, 195-228, 2009.
30. Chen J.-M., Lin I.C., Cheng H.-L., Channel coordination under consignment and vendor-managed inventory in a distribution system, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 46 (6), 831–843, 2010.
31. Baboli A., Fondrevelle J., Tavakkoli-Moghaddam R., Mehrabi A., A replenishment policy based on joint optimization in a downstream pharmaceutical supply chain: centralized vs. decentralized replenishment, *Int J Adv Manuf Technol*, 57, 367-378, 2011.
32. Fang X., K. C. So, Y. Wang, Component Procurement Strategies in Decentralized Assemble-to-Order Systems with Time-Dependent Pricing, *Management Science* 54 (12), 1997–2011, 2008.
33. Gümüş M., Jewkes E.M., Bookbinder J.H., Impact of consignment inventory and vendor-managed inventory for a two-party supply chain. *Int.J.Prod.Econ.* 13 (2),502–517, 2008.
34. Bookbinder J.H., Gumus M., Jewkes E.M., Calculating the benefits of vendor managed inventory in a manufacturing-retailer system, *Int.J.Prod.Res.* 48 (19), 5549–5571, 2010.
35. Hu B., Meng C., Xu D., Son Y.J., Supply chain coordination under vendor managed inventory-consignment stocking contracts with wholesale price constraint and fairness, *International Journal of Production Economics*, 202, 21-31, 2018.
36. Gerchak Y., Wang Y., Revenue-sharing and wholesale-price contracts in assembly systems with random demand, *Production and Operations Management*, 13 (1), 23–33, 2004.
37. Zhua X., Xiea L., Lina G., Mab X., Decision analysis of individual supplier in a vendor-managed inventory program with revenue-sharing contract, *International Journal Of Industrial Engineering Computations*, 2022.
38. Guan R., Zhao X., On contracts for VMI program with continuous review (r, Q) policy, *European Journal of Operational Research*, 207 (2), 656–667, 2010.
39. Cai J., Hu X., Tadikamalla P. R., Shang J., Flexible contract design for VMI supply chain with service-sensitive demand: Revenue-sharing and supplier sub- sidy, *European Journal of Operational Research*, 261 (1), 143–153, 2017.
40. Gerchak Y., Khmel'nitsky E., Robinson L., Untruthful probabilistic demand forecasts in vendor-managed revenue-sharing contracts: Coordinating the chain, *Naval Research Logistics*, 54, 742–749, 2007.
41. Wang D., Wang Z., Zhang B., Zhu L., Vendor-managed inventory supply chain coordination based on commitment-penalty contracts with bilateral asymmetric information, *Enterprise Information Systems*, 1-18, 2020.
42. Chaouch B.A., Stock levels and delivery rates in vendor managed inventory programs, *Prod. Oper. Manag.* 10 (1), 31–44, 2001.
43. Fry M. J., Kapuscinski R., Olsen T. L., Coordinating production and delivery under a (z, Z)-type vendor managed inventory contract, *Manufacturing Service Operations Management*, 3 (2), 151–173, 2001.
44. Shah J., Goh M., Setting operating policies for supply hubs, *Int. J. Prod. Econ.* 100, 239–252, 2006.
45. Darwish M.A., Odah O.M., Vendor managed inventory model for single-vendor multi-retailer supply chains, *Eur. J. Oper. Res.*, 204 (3), 473–484, 2010.
46. Verma N.K., Chatterjee A.K., A multiple-retailer replenishment model under VMI: accounting for the retailer heterogeneity, *Comput. Ind. Eng.*, 104, 175–187, 2017.
47. Wong W.K., Qi J., Leung S.Y.S., Coordinating supply chains with sales rebate contracts and vendor-managed inventory, *Int. J. Production Economics*, 120 (2009) 151–161, 2009.
48. Holmstrom J., Implementing vendor-managed inventory the efficient way: A case study of partnership in the supply chain, *Production and Inventory Management Journal*, 39 (3), 1, 1998.
49. Lee H.G., Clark T., Tam K.Y., Research report. Can EDI benefit adopters?, *Information Systems Research*, 10 (2), 186-95, 1999.

50. Vergin R. C., Barr K., Building Competitiveness in Grocery Supply Through Continuous Replenishment Planning: Insights from the Field. *Industrial Marketing Management*, 28 (2), 145-153, 1999.
51. Clark T. H., Stoddard D. B., Interorganizational business process redesign: merging technological and process innovation. *Journal of Management Information Systems*, 13 (2), 9-28, 1996.
52. Ji J., Wang Y., Jia H., Shi M. Distribution network planning and inventory management in a multi-retailing supply chain, In *Journal of Physics: Conference Series* 1903 (1), 012009, IOP Publishing, 2021, April.
53. Vazquez-Noguerol M., Comesaña-Benavides J.A., Riveiro-Sanroman S., Prado-Prado J.C., A mixed integer linear programming model to support e-fulfillment strategies in warehouse-based supermarket chains, *Central European Journal of Operations Research*, 1-34, 2021.
54. Alajkovic A., Brcic M., Ivandic V., Bubalo L., Koncic M., Kovac M., Delivery pattern planning in retailing with transport and warehouse workload balancing, *Croatian Operational Research Review*, 13 (1), 99-111., 2022
55. De la Fuente R., Gatica J., Smith R. L., A simulation model to determine staffing strategy and warehouse capacity for a local distribution center, In *2019 Winter Simulation Conference (WSC)*, 1743-1754. IEEE, 2019, December.
56. Teng L., Zhang Z., Li P., Gong D. Integrated inventory-transportation problem in vendor-managed inventory system, *IEEE Access*, 7, 160324-160333, 2019.
57. Weraikat D., Zanjani M. K., Lehoux N., Improving sustainability in a two-level pharmaceutical supply chain through Vendor-Managed Inventory system, *Operations Research for Health Care*, 21, 44-55, 2019.
58. Nabuurs F.P.A., Forecasting and replenishing promotions in a Dutch grocery retail supply chain (Doctoral dissertation, master's thesis), 2017.
59. Achabal D.D., McIntyre S.H., Smith S.A., Kalyanam K., A decision support system for vendor managed inventory, *Journal of Retailing*, 76 (4), 430-454, 2000.
60. Dong A. H., Leung S. Y. S., A simulation-based replenishment model for the textile industry. *Textile Research Journal*, 79 (13), 1188-1201, 2009.
61. Nachiappan S. P., Jawahar N., A Genetic Algorithm for Optimal Operating Parameters of VMI System in a Two-Echelon Supply Chain, *European Journal of Operational Research*, 182 (3), 1433-1452, 2007.
62. Wolsey L. A. *Integer programming*, John Wiley & Sons. Sayfa 11, 1998.