

Yılmaz E., Bilgin E., (2019). "Çok Kademeli Bir Tedarik Zinciri Ağı İçin Üretim-Dağıtım ve Tersine Lojistik Planlaması" Vol: 2 Issue: 4 : pp: 55-71

Anahtar Kelimeler: Birleşik Üretim-Dağıtım ve Tersine Lojistik Planlaması, Karma Tamsayılı Programlama, Gıda Sektörü

Keywords: Integrated Production-Distribution And Reverse Logistics Planning, Food Sector, Mixed Integrated Linear Programming

Makale Türü Arastırma Makalesi

ÇOK KADEMELİ BİR TEDARİK ZİNCİRİ AĞI İÇİN ÜRETİM-DAĞITIM VE TERSİNİ LOJİSTİK PLANLAMASI

Integrated Production-Distribution and Reverse Logistics Planning for a Multi-Echelon Supply Chain Network

Erdal YILMAZ*

Elif BİLGİN**

Geliş Tarihi / The Received Date

Kabul Tarihi / The Accepted Date

23.11.2018

Yayınlanma Tarihi / The Published Date
31.01.2019

ÖZ

Tedarik zinciri genel tanımlıyla; ürün ve hizmetin hammaddeden başlayıp son müşteriye ulaşana kadar geçirdiği talep tahmini, tedarik, üretim, stok, dağıtım, geri dönüşüm vb. işlemlerin, bilgi ve fiziksel ürün akışının bütününe içeren sistemdir. Tedarik Zinciri Ağında yer alan işlemlerin ayrı ayrı planlanması, her planlama adımdındaki kararların diğerini zincirleme etkilemesi nedeniyle yanlış kararlara neden olabilmektedir. Oysa ağ üzerinde bir ürünün ne zaman, ne miktarda üretilceği, hangi araçla ne miktarda dağıtılaceği ve ne zaman nereden ne miktarda geri toplanacağı birlikte planlandığında maliyet ve kalite bakımından daha doğru kararlar verilebilecektir.

Bu çalışmada, bozulabilir bir ürünün, bir fabrikada üretimi, bu fabrikadan birden fazla dağıtım merkezine birden fazla araç ile dağıtım ve iade ürünlerin geri toplanarak yeniden işleme merkezine satılmasını birleşik ele alan çok kademeli bir tedarik zinciri ağı tasarlanmıştır. Çalışmada önerilen karma tamsayılı programlama modelin amacı, toplam üretim, ileri ve geri dağıtım ve stok maliyetlerini (sabit üretim, değişken üretim, fabrikadaki stok, dağıtım merkezindeki stok ve aracı kullanmanın ve geri dönüşüm merkezine uğramanın sabit ulaştırma maliyetleri toplamı) en az yapmaktadır.

ABSTRACT

As a general definition, supply chain is the system that includes the whole of the transactions that the product and service pass through from raw material to the end customer such as demand forecast, supply, production, inventory management, distribution, reverse logistic, etc. and flow of information and physical product. The separate planning of the processes in the Supply Chain Network may lead to wrong decisions due to the fact that the decisions made in each planning stage are chained to the other. However, if it is planned integrated when, where and how much a product on the network should be produced, when, how much and to where it should be distributed, and when, how much and from where should be collected, the more accurate decisions will be made in terms of cost and quality.

In this study, an integrated production-distribution and reverse logistics planning model for a multi-echelon supply chain network is formulated. The proposed model considers a network consisting of a production facility and multiple distribution centers. The facility produces a single perishable product. A homogenous fleet of vehicles delivers the product from facility to distribution centers and collects return product from distribution centers to recycling center. The objective of the proposed mixed integer linear model is to minimize the total cost of production, inventory holding at facility and distribution centers and towards and reverse distribution.

* Dr. Öğr. Üyesi, Marmara Üniversitesi, erdalyilmaz@marmara.edu.tr

** Öğr. Gör. Dr. Marmara Üniversitesi, ebilgin@marmara.edu.tr

1. GİRİŞ

Maliyetlerin düşürülmesi yanında ekolojik ayak izlerinin azaltılması yönünde giderek artan baskılar ve bunun yanında küresel pazarlarda rekabet gücünü elde tutabilme çabaları şirketlerin 'kuruluş chapında optimizasyon' sağlamaya yönelik çalışmalarının önemini günden güne artırmaktadır. Özellikle raf ömrü süresi kısa olan süt ürünleri üretiminde tedarik zinciri boyunca malzeme tedariki, ürünlerin üretim ve dağıtım süreçlerinin koordinasyonu ön plana çıkmaktadır. Süreçlerin optimizasyonu söz konusu olduğunda temel odak noktası; kâr, kaynak kullanımı, müşteri memnuniyeti maksimizasyonu veya maliyetlerin, stok seviyelerinin, ekolojik ayak izinin minimizasyonu olmaktadır (Grossmann, 2012). Söz konusu süreçlerdeki uyum ve optimizasyon çabalarının yanı sıra ürünlerin geri dönüşümü de, özellikle çevresel kaygılarla, önemi hızla artan bir başlık olarak karşımıza çıkmaktadır. Artan ve teşvik edilen geri dönüşüm çabaları, sürdürilebilir tedarik zinciri ve yeşil tedarik alanında yürütülmekte olan çalışmalar 'tersine' lojistiği kritik bir çalışma alanı haline getirmiştir. Müşterilerin 'yeşil' uygulamalar konusunda artan hassasiyeti, yasal düzenlemeler ve olası ekonomik yararlar göz önüne alındığında şirketlerin üretim – dağıtım ve tersine lojistik süreçlerinin bütünsel bir şekilde, optimizasyonunu sağlayacak planlama çalışmaları anlaşılabılır hale gelmektedir (Ilgin ve Gupta, 2010).

Üretim planlama, kaynakların etkin kullanımını sağlamak amacıyla hangi ürünün, ne miktarda ve ne zaman üretilmesi sorularına odaklanırken giderek bu çalışmalar sadece dar anlamda üretimin gerçekleştirildiği tesis kaynaklarının optimizasyonu çabalarının ötesine geçmiştir. Dağıtım, üretim süreçlerinin devamında müşteriye doğru akan ürünlerin taşınması ve depolanması çabalarını içermektedir. Üretim planlama aşamasında yanı aranan sorulara verilen cevaplar zincirleme olarak dağıtım faaliyetlerinin de performansını doğrudan etkileyecektir. Dolayısıyla üretim planlarının, dağıtım planları ile birlikte ve uyum içerisinde oluşturulması sistemin bütünsel olarak optimizasyonunu sağlamak açısından bir avantaj yaratacaktır. Benzer şekilde tersine lojistik faaliyetleri de dağıtım süreçlerinin tamamlayıcısı nitelikte, müşteriden üreticiye doğru tersine bir akış meydana getirecektir. Dağıtım ağının bir parçası olarak tasarlanacak tersine lojistik faaliyetlerinin de dağıtım planları ile birlikte ele alınması yine sistemin bütünsel anlamda optimizasyonunu sağlamak açısından kritik bir öneme sahiptir.

Yaygın uygulamada; bir ya da birkaç fabrikada üretimi gerçekleştirilen ürünler, (ara kademe stok birimleri olarak da kullanılan) dağıtım merkezlerine, oradan perakendecilere, son aşamada ise tüketicilere ulaştırılırlar. Bu akış, süreç boyunca, ters yönde bir başka akış eşlik etmektedir: Tersine Lojistik. Tersine lojistik, yeniden değerlendirme, geri dönüştürme ya da uygun bir şekilde yok etme amacıyla malzemelerin müşteriden üreticiye doğru hareketini sağlayacaktır. Büyüyen ekolojik kaygılarla beraber önem kazanan yeşil - temiz üretim ve yeşil tedarik zinciri çalışmalarının bir parçası olarak tersine lojistik alanında yapılan çalışmalar giderek yaygınlaşmaktadır.

Tersine lojistik, konteynir ya da paletler gibi yeniden kullanılabilecek malzemelerin geri taşınmasını ve ürün, malzeme, ekipman, makineler gibi geri dönüştürülecek ya da başka bir üretim sürecinin girdisi haline gelecek malların taşınması faaliyetlerini kapsamaktadır. Yeniden kullanılabilecek malzemeler için tasarlanacak lojistik sistemi kapalı bir sistemdir. Bu sistem denize dökülen bir nehir gibi tek yönlü değil, döngüsel bir akışa sahiptir. Geri dönüştürülecek malzemeler için ise akış, müşteri ile son bulmamakta; bu malzemeler farklı bir üretim sürecinin parçası haline gelerek akışına devam etmektedir.

Dağıtım kanallarının en üst kademesini fabrikalar oluşturmaktadır. Dağıtım merkezleri ara ya da orta seviye birimler olarak, perakendeciler ve nihai müşteriler ise alt seviye birimler olarak tanımlanmaktadır. Ürünler en üst seviyeden en alt seviyeye doğru akarken, yeniden kullanılabilen malzemeler en alttan en üste doğru hareket etmektedir. Dağıtım merkezleri ara kademedede, farklı fabrikalardan farklı perakendecilere gönderilecek olan ürünlerin akışının uyum içerisinde yapılabilmesini sağlamaktadır. Ürünler, dağıtım merkezlerinde geçici olarak stoklanabilmekte ve perakendecilerin talepleri doğrultusunda yeniden paketlenebilmektedir. Bu süreçte ortaya çıkan ve yeniden kullanılabilecek olan nakliye malzemelerinin yanında satılamama, raf ömrünün dolması ya da

bozulma gibi gerekçelerle ürünlerin de ‘yeniden’ üreticilere, geri dönüşüm ya da atık işleme merkezlerinde ‘geri’ taşınması söz konusu olabilmektedir.

Üretim ve dağıtım ağının tasarımda; kaynakların etkin kullanımı, termin süresi, ürünün ulaşılabilirliği ve müşteri tatmini gibi ölçütler belirleyici olmaktadır. Etkin bir şekilde tasarılanarak hayatı geçirilen üretim ve dağıtım ağı pazardaki koşullara göre sürekli iyileştirilmeli ve güncellenmelidir. Üretim planlama; kısa dönemli çizelgeleme, stok yönetimi ve üretim kaynak dağıtımını kapsarken (Dondo ve diğerleri, 2009), dağıtım; kullanılacak nakliye araçlarının tür, kapasite ve rota planları ile dağıtım merkezlerinin stok kararlarını kapsamaktadır.

Bu çalışmada fabrika, dağıtım merkezleri ve yeniden işleme merkezinden oluşan tipik bir tedarik zinciri ağı kesiti içerisinde üretim- dağıtım ve tersine lojistik faaliyetlerinin uyumlu bir şekilde planlanması ile sistem optimizasyonu hedeflenmektedir.

Bu amaçla tasarlanan çalışma şu şekilde organize edilmiştir: Giriş kısmının ardından ikinci bölümde yazın taraması yapılmış, üçüncü bölümde üretim-dağıtım ve tersine lojistik planlarını bütünlük olarak ele alan karma tamsayılı model tanımlanmış ve uygulama yapılan işletmeye dair bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde model GAMS programı ile çözülmüş ve çıktılar yorumlanmıştır. Son bölümde ise çalışmanın genel bir değerlendirilmesi sunulmuştur.

2. YAZIN TARAMASI

Tedarik zinciri ağının planlanması zinciri oluşturan üretim, dağıtım ve tersine lojistik kademelerinin yanında sıkılıkla birleşik üretim ve dağıtım planlaması, ileri ve tersine lojistik sistemlerinin bütünlendirilmesi şeklinde ikili olarak çalışılmıştır. Tüm kademeleri birlikte modele dahil eden çalışmalar son derece sınırlı sayıdadır (Yi Jing ve Wenchuan Li, 2018), (Sónia R.Cardoso, Ana Paula F.D.Barbosa-Póvoa, Susana Relvas, 2013).

2.1. Birleşik Üretim ve Dağıtım Planlama

Pankaj Chandra ve Marshall L. Fisher'in çalışması (1994) birleşik üretim ve dağıtım planlamanın değerini hesaplamaya yönelik öncü bir çalışma niteliği taşımaktadır. Birden fazla ürün üreten bir fabrikayı ele alan modelde ürünler bir kamyon filosu ile birden fazla perakendeciye dağıtılmaktadır. Ürünlerin üretim ve dağıtımlarına ilişkin araç rotalama probleminin ayrı ayrı çözülmesi ile tek bir modelde birlikte çözülmesinin toplam maliyetleri hesaplamışlar ve birleşik çözüm halinde toplam maliyetin %3 ile %20 arasında değişen oranlarda daha düşük çıktığını göstermişlerdir.

Young Hae Lee, Sook Han Kim(2002) , çalışmalarında planlama dönemi içinde tüm bayilerin talebini karşılamaya yönelik çok dönemli, çok bayılı birleşik üretim ve dağıtım modeli önermişlerdir. Çözüm aşamasında analitik ve simülasyonu birlikte içeren karma bir yöntem kullanılmışlardır. Üretim, dağıtım, stok tutma maliyetlerine diğer çalışmalarдан farklı olarak stoksuzluk maliyetleri toplamını da ekleyerek toplam maliyeti minimize etmeye yönelik bir analitik model kurmuşlar, ayrıca stok ve işlem süreleri kısıtlarını da modele dahil etmişlerdir. Makine işlem ve dağıtım süre kısıtları modelin olasılık faktörleridir. Bu olasılık değişkenlerin hesaplanması simülasyon yöntemini kullanarak optimum bir üretim ve dağıtım planın önermişlerdir.

Literatürdeki çalışmalar genellikle toplam maliyeti minimize etmeye odaklanırken, Y.B. Park (2005) birden fazla fabrika, birden fazla bayiden oluşan bir tedarik zincirinde birden fazla ürün ve birden fazla dönem için toplam net kârı maksimize etmeye yönelik birleşik bir üretim-dağıtım planlama modeli sunmuştur. Çalışmada, birleşik planlamanın ayrı planlamaya kıyasla etkinliği hesaplandığında üretim ve dağıtım kademelerinin birleşik modellenmesinin ayrı modellenmelerine göre etkinliğinin daha yüksek olduğu sonucu elde edilmiştir.

Seyed Hessameddin Zegordi, Mohammad Ali Beheshti Nia (2009) , farklı coğrafi bölgelerdeki birden fazla tedarikçiye siparişlerin gönderiminde farklı hız ve taşıma kapasitesine sahip birden fazla araç kullanılması halinde dağıtım planı ve birden fazla ürünün üretildiği fabrikada üretim planını birleştiren bir model önermişlerdir.

Üretim ve dağıtım kararlarının birlikte modellenmesinin maliyet azaltıcı etkisinin yanında, ürün bozulabilir bir ürün olması halinde kalite bakımından zorunlu olduğu durumlar da söz konusudur.

Ekşioğlu ve Mingzhou(2006) sınırlı raf ömrü olan bir bozulabilir ürünün birden fazla fabrika ve birden fazla perakendecili bir tedarik zincirinde üretim ve dağıtım planlamasını birlikte ele alan bir karma tamsayılı model sunmuşlardır.

Bozulabilir ürünler için modellerde maliyet kadar hız da önem taşımaktadır. H. Neil Geismar, Gilbert Laporte, Lei Lei, Chelliah Sriskandarajah(2008) , raf ömrünün kısa olmasından dolayı fabrikada stok tutulmayan üretim tamamlanır tamamlanmaz doğrudan müşterilere dağıtıldığı bir tedarik zincir tasarlamışlardır. Bu kısa raf ömürlü bozulabilir ürün için üretim ve dağıtım modelinde amaç, geniş bir coğrafi bölgeye dağılmış müşterilerin talebi karşılanırken üretim ve dağıtım zamanları toplamının minimizasyonudur.

Perakendecilerin taleplerinin deterministik olmaması gerçekte çok sık karşılaşılan bir durumdur. Bozulabilir ürünler üretim tamamlandığı andan itibaren bozulmaya başladıkları için perakendeciye ulaştıklarındaki değerleri ürünün kalitesine ve miktarına göre değiştiğinden dolayı tedarikçinin kârı belirsizdir. Chen vd. (2009) bozulabilir ürünler için tedarikçinin toplam beklenen kârının maksimizasyonuna yönelik doğrusal olmayan zaman penceredeli matematiksel bir üretim planlama ve araç rotalama modeli geliştirmiştir. Önerdikleri modelde karar değişkenleri olan üretime başlama zamanı, üretim miktarı ve araç rotaları eşzamanlı olarak hesaplanmıştır.

Tarım ürünü üreten bir çiftçinin hasat dönemindeki kârını maksimize etmeye yönelik bir kısa dönemli üretim ve dağıtım planlama modelinde Omar Ahumada, J. Rene Villalobos (2011) çiftçinin toplam kârını etkileyen başlıca faktörler işçilik, toplanan ürünün bozulmadan saklanma ve ulaştırma maliyetleri kullanılmış ve bu maliyetler toplamının minimize edilmesi hedeflenmiştir.

Sabit raf ömürlü bozulabilir bir ürünün bir fabrikada üretilip depolandığı ve birden fazla dağıtım merkezine gönderildiği bir tedarik zincirinde birleşik bir üretim dağıtım planı S. M. Seyedhosseini and S. M. Ghoreyshi (2014) tarafından çalışılmıştır. Her planlama dönemindeki üretim miktarları, hangi dağıtım merkezlerine uğranylacağı ve ne kadar gönderileceğini bulmaya yönelik modelin amacı toplam üretim ve dağıtım maliyetlerini minimize etmektir. Modelin çözümü için modeli üretim ve dağıtım olarak iki alt modele bölünerek kademeli olarak çözülmüştür.

Bozulabilir ürünlerin üretim ve dağıtım planlamasının birlesik olarak yapılması, üretim ve dağıtım arasındaki zamanı azaltmakta etkili olduğundan ürün kalitesi de arttırlabilmektedir (F. Marandi ve S.H. Zegordi, (2017). Bu gibi durumlarda fabrikada stok tutulmaması, sipariş partisinin üretimi tamamlandığı anda en kısa dağıtım süresinde müşteriye ulaştırılması müşterinin ürünü kabul edeceği son teslim süre şartını aşmamak için de zorunlu olmaktadır.

2.2. İleri ve Tersine Lojistik ve Kapalı Döngü TZY

Tersine Lojistik kavramı yeni bir kavram değildir. Metal hurda ticareti, atık kâğıtların geri dönüştürülmesi, içeceklerin depozitolu şişelerde satılması ve geri toplanması gibi pek çok örnek uzun zamandır hayatımızda yer almaktadır. Bu örneklerde kullanılan ürünlerin geri kazanılması, ortadan kaldırılmasına göre daha ekonomik olduğu için tercih edilmektedir (Fleischmann, M., ve diğerleri, 1997, 1). Oysa her geçen gün, ekonomik fayda yaratmasının yanı sıra çevre kirliliğini ve iklim değişikliğini önleme çabalarının yaygınlaşması, tüketicilerin bu yönde bilişlenmesi, sivil toplum kuruluşlarının uyguladıkları baskı ve devletlerin yayladıkları yönetmelikler Tersine Lojistik faaliyetlerinin yaygınlaşmasında en önemli etken olmuştur. Örneğin bugün dünyanın dört bir yanında, pek çok hükümet "Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu" (Extended Producer Responsibility – EPR) prensiplerini uygulamaktadır. OECD'ye göre EPR, üreticilere, kullanımının ardından ürünlerin geri kazanılması veya imha edilmesi için finansal ve fiziksel sorumluluklar verildiği bir yaklaşımdır (OECD, 2018). Bu çerçevede ortaya konulan yönlendirme ve zorunluluklarla beraber üreticiler giderek daha yaygın bir şekilde; ileri lojistik faaliyetlerini tersine lojistik faaliyetleri ile geleneksel tedarik zinciri uygulamalarını ise sürdürilebilir yaklaşımalarla farklılaşımaktadır. Bu iki yaklaşım bir araya geldiğinde ise Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Kavramı ortaya çıkmıştır (De Brito vd., 2005, 243; Fortes, 2009, 51; Govindan and Soleimani, 2017, 371; Guide vd., 2003, 3; Kannan vd., 2012; Narayana vd., 2014, 379; Stindt vd., 2016, 113). Araştırmacıların, uygulamacıların ve paydaşların kapalı döngü tedarik zinciri

yönetimine ilgileri artmış, karar süreçlerinde ekonomik değer yaratma çabalarına ekolojik ve toplumsal boyutlar da eklenmiştir.

Şirketler, ürün geri dönüşlerinin ve etkin bir kapalı döngü tedarik zinciri uygulamalarının önemli bir rekabet avantajı sağlayabileceğini de fark etmiştir (Stock ve Mulki, 2009, 33). Wu ve Cheng (2006) yayıncılık sektöründe tersine lojistiğin olası avantajlarını incelerken, Kumar ve Craig (2007) Dell'in bilgisayar montaj hattı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Lau ve Wang (2009) Çin'de elektronik sanayiini incelemiş ve tersine lojistik uygulamalarında karşılaşılan sorunları ortaya koymuşlardır. Subramanian ve dig. (2014) yine Çin'de imalar sektöründe çalışmış, Jayaraman ve dig. (2003), içecek konteynırlarının geri dönüşümü ve yeniden kullanımı için tersine lojistik sistemlerini ele almıştır. Tersine lojistik uygulamalarına yönelik çalışmalar pek çok sektörde gerçekleştirılmıştır: Biehl ve dig. (2007) halı sanayiinde, Bernon ve dig. (2011) perakendecilik sektöründe, Gonzales Torre ve dig. (2004) şişelemede, Ravi ve Shankar (2006) kağıt sanayiinde, Gonzales Torre ve Adenso Diaz (2006) paketleme şirketlerinde, Rathore ve dig. (2011) cep telefonu sektöründe, Narayana ve dig. (2014) ilaç sanayiinde ve Wang ve dig. (2014) pil geri dönüşüm alanında, vb.

İyi tasarılanmış ve birbirleri ile bütünlendirilmiş ileri ve tersine lojistik süreçleri eko-verimli süreçlerdir ve hem ekonomik hem de çevresel etkinliği dengeli bir şekilde hayatı geçirebilirler. Kısa raf ömrüleri ile bozulabilir ürünlerin etkin bir ileri ve tersine lojistik bütünlendirilme çabaları için önemli bir uygulama sahası olmalarına karşın bu alanda yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Rahimi ve dig. (2016) stok rotalama problemini bozulabilir ürünlerde ele almış, çok amaçlı matematiksel model yardımıyla bir yandan ileri ve tersine lojistik maliyetlerini minimize etmeyi amaçlarken bir yandan da iş kazaları ve son kullanma tarihi geçen ürün miktarının en aza indirmeyi hedeflemiştir. Böylelikle sadece ekonomik değil aynı zamanda sosyal ve ekolojik faktörleri de modellerine dahil etmişlerdir. (Rahimi ve dig., 2016, 949) Guo, ve dig. (2017) ise Shanghai için taze gıda e-ticaret şirketlerine yönelik yaptıkları çalışmalarında, problemi Genetik Algoritma ve Parçacık Süre Optimizasyonu Algoritması yardımı ile çözmüşlerdir. Çözümde, ileri ve tersine lojistik ağ ve rotalama optimizasyonu ile maliyetlerle beraber karbon emisyon miktarlarını da en aza indirmeyi hedeflemiştir. (Guo ve dig., 2017, 351). Banasik ve dig. (2017) bozulabilir, tarımsal bir gıda ürünü olarak mantar üretimi için kapalı döngü tedarik zinciri ağı tasarımı için bir model geliştirmiştir. Bu amaçla çok amaçlı tam sayılı programlama kullanarak ekonomik ve çevresel göstergelerin optimizasyonunu hedeflemiştir. (Banasik ve dig., 2017, 409).

Aynı zamanda pek çok araştırmacı da tersine lojistik alanında kapsamlı yazın taramaları yaparak yayinallyaşlardır (Fleischmann ve dig., 1997; Carter ve Ellram, 1998; Dowlatshahi, 2000; Prahinski ve Kocabasoğlu, 2006; Fleischmann ve dig. 2000; Akçalı ve dig., 2009; Chanintrakul ve dig. 2009; Sheriff ve dig. 2012; Agrawal ve dig., 2015; Braz ve dig., 2018).

3. MODELİN TANIMI

Bu çalışmada, bozulabilir bir ürünün, bir fabrikada üretimi, bu fabrikadan birden fazla dağıtım merkezine birden fazla araç ile dağıtım ve iade ürünlerin geri toplanarak yeniden işleme merkezine satılmasını birlikte ele alan karma tamsayılı programlama modeli önerilmektedir.

Modelin amacı: Model bir minimizasyon modelidir Üretim, dağıtım ve iade miktarları ile dağıtımda ve tersine lojistikte kullanılan araçların sefer sayıları hesaplanmak istenmektedir. Buna yönelik kurulan modelin amacı; toplam üretim, ileri ve geri dağıtım ve stok maliyetlerinden (sabit üretim, değişken üretim, fabrikadaki stok, dağıtım merkezindeki stok ve aracı kullanmanın ve geri dönüşüm merkezine gitmenin sabit ulaştırma maliyetleri toplamı) iade ürünlerin yeniden işleme merkezine satış geliri düşüldüğünde kalan tutar toplamını en az yapmaktadır.

$t = 1, 2, \dots, T$: Planlama dönemi kapsamı

$m = 0, 1, \dots, M$: 0 fabrikayı temsil edecek şekilde fabrika ve dağıtım merkezleri

$a = 1, 2, \dots, A$: İleri dağıtım için araçlar

$ay = 1$ Geri dönüşüm merkezine giden araç olmak üzere;

Modelin değişkenleri:

- Z_t : t planlama döneminde üretim yapılıyorsa 1; aksi halde 0
 P_t : t dönemindeki üretim miktarı
 $S_{0,t}$: Fabrikada t. dönemdeki kullanılabılır ürün dönem sonu stok miktarı
 $S_{m,t}$: m dağıtım merkezinde t. dönemdeki kullanılabılır ürün dönem sonu stok miktarı
 $BS_{m,t}$: m dağıtım merkezinde t. dönemdeki iade edilecek ürün dönem sonu stok miktarı
 $GS_{m,t}$: m dağıtım merkezinde t. dönemdeki kullanılabılır ve iade edilecek ürünler toplamı dönem sonu stok miktarı
 $X_{m,a,t}$: t döneminde a aracı m dağıtım merkezine ürün götürüyorsa 1; aksi halde 0
 $F_{m,ay,t}$: t döneminde ay aracı m dağıtım merkezinden iade alıyorsa 1; aksi halde 0
 $Y_{a,t}$: t döneminde a aracı kullanıldıysa 1; aksi halde 0
 $R_{ay,t}$: t döneminde ay aracı geri dönüşüm merkezine gidiyorsa 1; aksi halde 0
 $W_{m,a,t}$: t döneminde a aracıyla m dağıtım merkezine sevk edilen miktar
 $V_{m,ay,t}$: t döneminde ay aracının m dağıtım merkezinden iade aldığı miktar

Modelin parametreleri:

- $d_{m,t}$: t döneminde m dağıtım merkezinin talebi
 $b_{m,t}$: t döneminde m dağıtım merkezindeki iade ürün miktarı
 fpc : sabit üretim maliyeti
 vpc : değişken üretim maliyeti
 p_{max} : en fazla üretim miktarı
 p_{min} : en az üretim miktarı
 h_m : fabrika ve dağıtım merkezleri için birim stok maliyeti
 sl : bozulabilir ürünün raf ömrü
 $u_{0,t}$: t döneminde fabrika için stok üst seviyesi (bu sayı $\sum_m \sum_{t \leq r \leq t+sl} d_{m,r}$ 'ye eşittir)
 $u_{m,t}$: t döneminde m dağıtım merkezi için stok üst seviyesi (bu sayı $\sum_{t \leq r \leq t+sl} d_{m,r}$ 'ye eşittir)
 $ub_{m,t}$: t döneminde m dağıtım merkezi için iade ürün stok üst seviyesi (bu sayı $\sum_{t \leq r \leq t+sl} b_{m,r}$ 'ye eşittir)
 $Alan_m$: fabrika ve dağıtım merkezlerinin depo alanı
 q : araç kapasitesi
 ftc : a aracını kullanmanın sabit ulaşım maliyeti
 frc : geri dönüşüm merkezine gitmenin sabit ulaşım maliyeti
 g : iade edilen ürünlerin yeniden işleme merkezine satış geliri

Amaç

Fonksiyonu:

$$\text{Min } Z = \sum_t fpc \cdot Z_t + \sum_t vpc \cdot P_t + \sum_m \sum_t h_m \cdot GS_{m,t} + \sum_a \sum_t ftc \cdot Y_{a,t} + \sum_t frc \cdot R_{ay,t} - \sum_m \sum_t g \cdot V_{m,ay,t} \quad (1)$$

$$\text{Kısıtlar: } S_{0,t} = S_{0,t-1} + P_t - \sum_m \sum_a W_{m,a,t} \quad \forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T \quad (2)$$

$$S_{m,t} = S_{m,t-1} + \sum_a W_{m,a,t} - d_{m,t} \quad \forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T, m \neq 0 \quad (3)$$

$S_{0,t} \leq u_{0,t}$	$\forall t \in T$	(4)
$S_{m,t} \leq u_{m,t}$	$\forall m \in M, \forall t \in T, m \neq 0$	(5)
$BS_{m,t} = BS_{m,t-1} + b_{m,t} - V_{m,ay,t}$	$\forall m \in M, \forall t \in T$	(6)
$BS_{m,t} \leq ub_{m,t}$	$\forall m \in M, \forall t \in T$	(7)
$GS_{m,t} = BS_{m,t} + S_{m,t}$	$\forall m \in M, \forall t \in T$	(8)
$GS_{m,t} \leq Alan_m$	$\forall m \in M, \forall t \in T$	(9)
$P_t \leq p_{max} \cdot Z_t$	$\forall t \in T$	(10)
$P_t \geq p_{min} \cdot Z_t$	$\forall t \in T$	(11)
$\sum_a W_{m,a,t} \leq q$	$\forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T$	(12)
$W_{m,a,t} \leq q \cdot X_{m,a,t}$	$\forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T$	(13)
$\sum_a X_{m,a,t} \leq 1$	$\forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T$	(14)
$\sum_m X_{m,a,t} \leq q \cdot Y_{a,t}$	$\forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T$	(15)
$V_{m,ay,t} \leq q \cdot F_{m,ay,t}$	$\forall m \in M, \forall t \in T$	(16)
$\sum_m F_{m,ay,t} \leq q \cdot R_{ay,t}$	$\forall m \in M, \forall t \in T$	(17)
$Z_t, X_{m,a,t}, F_{ay,t}, R_{ay,t}, Y_{a,t} \in \{0, 1\}$	$\forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T$	(18)
$P_t, S_{0,t}, S_{m,t}, BS_{m,t}, GS_{m,t}, W_{m,a,t}, V_{m,ay,t} \geq 0$	$\forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T$	(19)

Modelde (1) numaralı denklem sabit üretim, değişken üretim, fabrikadaki stok, dağıtım merkezindeki stok, aracı kullanmanın ve geri dönüşüm merkezine uğramanın sabit ulaşırma maliyetleri toplamı ile iade ürünlerden elde edilen gelirin farkını minimize etmeye ilişkin amaç fonksiyonunun ifade etmektedir.

Denklem(2) fabrikadaki kullanılabilir ürün dönem sonu stok miktarnı, denklem(3) dağıtım merkezlerindeki kullanılabilir ürün dönem sonu stok miktarnı ifade etmektedir. Denklem(4) fabrika için kullanılabilir ürün stok zaman-talep kapasite kısıtını, denklem(5) dağıtım merkezleri için kullanılabilir ürün stok zaman-talep kapasite kısıtını, denklem(6) dağıtım merkezlerindeki iade ürün dönem sonu stok miktarnı, denklem(7) dağıtım merkezleri için iade ürün stok zaman-talep kapasite kısıtını ifade etmektedir. Denklem(8) ile fabrika ve dağıtım merkezlerindeki kullanılabilir veya iade ürünlerin toplam miktarı gösterilmektedir. Denklem(9) fabrika ve dağıtım merkezlerinin depolarındaki toplam stok alanı kapasite kısıtını göstermektedir.

Denklem(10) fabrikanın maksimum üretim kapasite kısıtını, denklem(11) fabrikanın minimum üretim kapasite kısıtını ifade etmektedir.

Denklem(12) a aracının maksimum doluluk kapasite kısıtını ifade etmektedir.

Denklem(13) ile t döneminde m dağıtım merkezine ürün gönderiliyorsa m dağıtım merkezine a aracının ürün dağıtımını için gidiş değişkeninin 1, yoksa 0 olması sağlanmaktadır. Denklem(14) t planlama döneminde her dağıtım merkezine ürün götürmek için en fazla 1 defa gidiş olmasını ifade etmektedir.

Denklem(15) ile t döneminde a aracı ürün dağıtımını için kullanıldıysa araç kullanım değişkeninin 1, yoksa 0 olması sağlanmaktadır.

Denklem(16) ile t döneminde m dağıtım merkezinden iade ürün alındıysa m dağıtım merkezine ay aracının iade alımı için gidiş değişkeninin 1, yoksa 0 olması sağlanmaktadır.

Denklem(17) aracın t planlama döneminde dağıtım merkezlerinden en az birisini iade ürün almak için ziyaret etmesi halinde t döneminde ay aracının iade için kullanım değişkeninin 1; aksi halde 0 olmasını sağlamaktadır.

Son olarak denklem (18) 0-1 karar değişkenlerini, denklem (19) ise sürekli karar değişkenlerini tanımlamaktadır.

Modelin varsayımları:

Bir fabrikada üretilen bozulabilir ürünün, üç araç kullanılarak, beş dağıtım merkezine dağıtımlı ve başka bir araçla iadelerin dağıtım merkezlerinden geri toplanarak yeniden işleme merkezine götürülmesine ilişkin kurulan modelin varsayımları şöyledir:

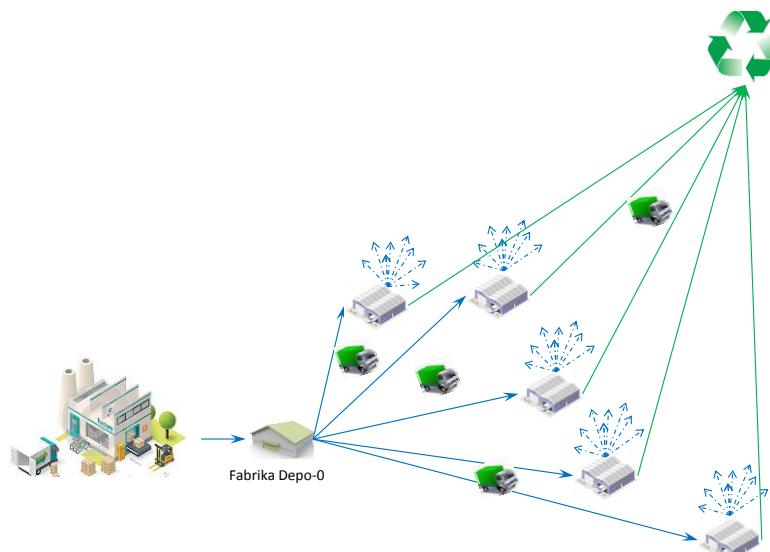
- Modelde ürünün birleşik üretim, dağıtım ve tersine lojistik planlaması, kısa dönemli programlama (operasyonel seviye) kapsamında ele alınmıştır.
- Dağıtım merkezlerinin fabrikaya ilettikleri günlük talep miktarları deterministikdir.
- Dağıtım merkezleri iade ürünleri kendi perakendecilerinden toplamaktadır ve iade miktarları deterministikdir.
- Bozulabilir ürünün sabit bir raf ömrü vardır ve bu raf ömrü boyunca kullanım değeri değişmemektedir.
- İade ürünlerin kullanılabilirliği perakendecilerden iade alınırken dağıtım merkezlerinin planlama aşamasında kontrol edilmekte ve ele alınan model devamındaki 3 günlük süreyi içermektedir. Bu süre içinde iade ürünlerin yeniden işleme değeri değişmemektedir.
- Dağıtım merkezlerinin tüm talebi karşılanmaktadır.
- Dağıtımda ve geri toplamada kullanılan araçların mülkiyeti üçüncü bir firmada olduğundan aracın yaptığı mesafeye göre değil; sefer sayısı için ücret ödenmektedir.
- Kullanılan tüm araçlar eşit kapasitededir.
- Dağıtımda frigofrik(soğutucu özelliği olan) araçlar kullanılmakta ve dağıtım süresince ortam koşullarından dolayı bozulma olmadığı kabul edilmiştir.
- Dağıtıma çıkan araç ürünleri dağıtım merkezlerine aynı gün teslim etmekte ve iade alınan ürünler aynı gün yeniden işleme merkezine teslim edilmektedir.
- Fabrika ve dağıtım merkezlerinin depolarında zaman haricinde bozulma nedenleri olmadığı kabul edilmiştir.
- Her gün her dağıtım merkezine ürün götürmek için en fazla bir kez gidilebilmektedir.
- Her gün her dağıtım merkezine iade ürün almak için en fazla bir kez gidilebilmektedir.
- Her gün her araç en fazla bir sefer yapmaktadır.

Modelin Uygulandığı İşletmenin Tanıtımı:

Uygulama, günlük süt üreten bir firmada gerçekleştirilmiştir. Önerilen modelde kullanılacak veriler, birincil ve ikincil veriler olarak yüz yüze görüşme ve firma içi kaynaklardan elde edilmiştir.

Uygulamanın yapıldığı firmanın dâhil olduğu tedarik zinciri ağının işleyişi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1. Tedarik Zinciri Ağının İşleyişi



Uygulamanın yapıldığı firma, bir fabrikada üretim yapmakta, tek çeşit ürün (günlük süt) üretmekte ve ürünlerini 3 araç kullanarak 5 dağıtım merkezine göndermektedir. Firma iade alımında başka bir araç kullanmakta ve dağıtım merkezlerinin kendi perakendecilerinden toplamış olduğu iade ürünlerini alıp yeniden işleme merkezine götürmektedir.

Firmanın ürettiği günlük sütün raf ömrü 15 gündür; fakat dağıtım merkezleri ürün kendilerine ulaştığında raf ömrünün en az yarısının kalmış olmasını istedikinden raf ömrü 8 gün kabul edilmiştir. Firma dağıtım planını 8 günlük dönemlerde hazırladığından 8 günlük üretim ve dağıtım planı için model kurulmuştur. Ancak modeldeki zaman-talep stok üst kısıt hesaplamasında son planlama dönemini ve sonrasında 8 güne ihtiyaç duyulduğundan planlama evreni 16 gün kabul edilmiştir. İade ürünlerde ise son kullanım süresi 3 gündür.

Firmanın önceden belirlemiş olduğu minimum üretim miktarı 20.000 lt/gün ve maksimum üretim miktarı ise 66.000 lt'dir. Sabit üretim maliyeti 150 TL, değişken üretim maliyeti ise litre başına 1,25 TL'dir. Günlük stok tutma maliyetleri ile fabrika ve dağıtım merkezlerinin depo alan kısıtları Tablo 1'de, kullanılabilir ve iade ürünlerin fabrika ve dağıtım merkezlerindeki planlama dönemi başı stok miktar bilgileri ise Tablo 2'de gösterilmiştir.

Araçların mülkiyeti başka bir firmaya aittir ve maliyet hesabında mesafe değil sefer sayısı dikkate alınmaktadır. Araçları dağıtımında kullanmanın sabit maliyeti 255 TL, araç kapasiteleri eş ve 19.800lt'dır. İade ürünlerini toplayarak yeniden işleme merkezine götürmenin ise sabit ulaşım maliyeti 300 TL ve iade ürünlerini yeniden işleme merkezine satmanın getirişi 0,25 TL/lt'dır. Dağıtım merkezlerinin talepleri firmaya günlük iletilmektedir. Uygulamanın yapıldığı döneme ait talep ve iade miktarları Tablo 3 ve Tablo 4'te görülmektedir.

Tablo 1. Stok Bulundurma Maliyetleri ve Depo Alanları

	m₀	m₁	m₂	m₃	m₄	m₅
Stok tutma maliyeti h(m) TL/lt*gün	0,00042	0,00037	0,00038	0,00035	0,00035	0,00037
Depo Alanı Alan(m) (lt)	380.000	100.000	60.000	90.000	80.000	40.000

Tablo 2. Dönem Başı Stok Miktarları (lt)

	m₀	m₁	m₂	m₃	m₄	m₅
Kullanılabilir Ürünler	6200	1200	7100	3000	9400	4300
İade Ürünler	-	1200	400	1000	800	300

Tablo 3. Dağıtım Merkezlerinin Günlük Talep Miktarları (lt) ($d_{m,t}$)

Planlama dönemi (gün)	m₁	m₂	m₃	m₄	m₅
1	900	6.800	1.500	8.900	4.000
2	9.800	5.300	900	4.700	4.400
3	5.900	4.600	3.400	400	2.900
4	6.500	6.700	2.800	7.700	2.100
5	4.500	7.000	200	3.000	1.600
6	4.900	7.500	11.800	7.100	1.100
7	3.100	2.100	2.000	2.200	5.100
8	1.900	7.700	3.300	7.600	4.500
9	18.500	6.300	2.100	2.500	1.900
10	13.700	2.400	7.400	1.300	2.200
11	12.800	1.300	9.900	2.400	2.600
12	17.500	4.600	5.500	700	6.400
13	13.100	7.400	4.400	3.000	2.900
14	6.800	1.900	3.300	3.700	3.300
15	5.900	7.000	5.800	8.200	5.600
16	1.900	1.700	11.200	500	7.000

Tablo 4. Dağıtım Merkezlerinin Günlük İade Miktarları (lt) ($b_{m,t}$)

Planlama dönemi (gün)	m₁	m₂	m₃	m₄	m₅
1	1.500	500	900	1.700	900
2	1.800	400	1.000	1.500	600
3	2.000	700	1.300	1.800	800
4	100	400	600	1.800	500
5	1.000	100	700	1.300	1.200
6	300	700	400	300	400
7	1.500	700	1.200	100	600
8	100	200	800	300	1.000
9	1.300	700	500	100	600
10	300	0	300	400	800
11	1.900	600	800	1.300	800
12	900	600	800	1.300	700
13	1.200	100	1.400	900	800
14	1.600	200	1.300	1.700	0
15	700	400	900	0	100
16	300	100	1.000	1.200	600

4. ÇÖZÜM YÖNTEMİ VE ÇIKTILAR

Modelin çözüm aşamasında GAMS programı kullanılmıştır. GAMS (The General Algebraic Modeling System), matematiksel programlama ve optimizasyon için tasarlanan yüksek seviyeli bir dildir. Program Cplex, Lingo, Dicotp gibi çözücü algoritmaları bünyesinde bulundurarak bu çözüçüler üzerinden doğrusal, doğrusal olmayan, karma tamsayı vb. problemleri çözebilmekte ve çözüm yöntemini değiştirebilmektedir.

Uygulamanın yapıldığı firmanın birleşik üretim-dağıtım ve tersine lojistik planlaması için önerilen karma tamsayılı model GAMS programı ile çözüldüğünde aşağıdaki çıktılar elde edilmiştir:

8 günlük planlama dönemi için üretim, ileri ve geri dağıtım ve stok maliyetlerinden iadelerin yeniden işleme merkezine satış geliri çıkarıldığında kalan minimum maliyet toplamı;

Min Z= **470.118 TL** olarak hesaplanmıştır.

Sabit üretim maliyetleri toplamı: 2.400 TL

Degisken üretim maliyetleri toplamı: 467.250 TL

Fabrikadaki ve dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı: 78 TL

Araçların ileri dağıtım için sabit ulaştırma maliyetleri toplamı: 12.240 TL

Geri dönüşüm merkezine gitmenin sabit ulaştırma maliyetleri toplamı: 4.800 TL

İade ürünlerin geri toplanarak yeniden işleme merkezine satılmasının toplam getirisi: 16.650TL

Planlama dönemi (gün)	Üretim Miktarı
1	20.000
2	20.000
3	20.000
4	20.000
5	20.000
6	20.000
7	20.000
8	20.000

Planlama dönemi (gün)	İadeleri toplayıp yeniden işleme merkezine gitmiş	Araçların ileri dağıtımda kullanılması		
		1. araç	2. araç	3. araç
1	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓

Planlama dönemi (gün)	Dönem Sonu Stok Miktarı (kullanılabilir ürün için)					
	Fabrika	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5
1	-	300	1300	1500	6900	20100
2	-	-	-	1800	2200	20000
3	-	-	-	7900	1800	17100
4	-	-	-	6000	-	15000
5	-	-	-	11300	-	13400
6	-	-	-	-	-	12300
7	-	-	-	5400	4500	7900
8	-	-	-	2100	2500	3400

Planlama dönemi (gün)	Dönem Sonu Stok Miktarı (iadeler için)				
	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-

Daha sonra yeni bir senaryo önerilmiştir. Buna göre firma iadelerin toplanmasında ayrı bir araç kullanmak yerine dağıtımda kullandığı 3 aracı iadelerin toplanıp yeniden işleme merkezine götürülmesinde de kullanacaktır. Bu durumda aracın iade ürünleri, ürünleri dağıtmasının ardından yeniden işleme merkezine götürmesi durumunda yeniden işleme merkezine gidişin sabit maliyeti 80 TL olarak değişecektir.

Yeni senaryo için karma tamsayılı model bazı değişkenlerin yeniden tanımlanması ve ek teknik kısıtlar yazılması ile şu şekilde güncellenmiştir:

$t = 1, 2, \dots, T$: Planlama dönemi kapsamı

$m = 0, 1, \dots, M$: 0 fabrikayı temsil edecek şekilde fabrika ve dağıtım merkezleri

$a = 1, 2, \dots, A$: Araçlar

olmak üzere;

Modelin değişkenleri:

Z_t : t planlama döneminde üretim yapılıyorsa 1; aksi halde 0

P_t : t dönemindeki üretim miktarı

$S_{0,t}$: Fabrikada t . dönemdeki kullanılabilir ürün dönem sonu stok miktarı

$S_{m,t}$: m dağıtım merkezinde t . dönemdeki kullanılabilir ürün dönem sonu stok miktarı

$BS_{m,t}$: m dağıtım merkezinde t . dönemdeki iade edilecek ürün dönem sonu stok miktarı

$GS_{m,t}$: m dağıtım merkezinde t . dönemdeki kullanılabilir ve iade edilecek ürünler toplamı dönem sonu stok miktarı

$X_{m,a,t}$: t döneminde a aracı m dağıtım merkezine ürün götürüyorsa 1; aksi halde 0

$F_{m,a,t}$: t döneminde a aracı m dağıtım merkezinden iade alıyorsa 1; aksi halde 0 **

$Y_{a,t}$: t döneminde a aracı kullanıldıysa 1; aksi halde 0 **

$R_{a,t}$: t döneminde a aracı geri dönüşüm merkezine gidiyorsa 1; aksi halde 0 **

$W_{m,a,t}$: t döneminde a aracıyla m dağıtım merkezine sevk edilen miktar

$V_{m,a,t}$: t döneminde a aracının m dağıtım merkezinden iade aldığı miktar **

$E_{m,a,t}$: t döneminde a aracının m dağıtım merkezine uğradıktan sonraki yük miktarı *

*modele yeni eklenmiştir

** indisleri değiştirilmiştir

Modelin parametreleri:

Model parametrelerinin tanımlanmasında herhangi bir değişiklik gerekmemiştir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } Z = \sum_t fpc \cdot Z_t + \sum_t vpc \cdot P_t + \sum_m \sum_t h_m \cdot GS_{m,t} + \sum_a \sum_t ftc \cdot Y_{a,t} + \sum_a \sum_t frc \cdot R_{a,t} - \sum_m \sum_a \sum_t g \cdot V_{m,a,t} \quad (20)$$

Kısıtlar:

$$S_{0,t} = S_{0,t-1} + P_t - \sum_m \sum_a W_{m,a,t} \quad \forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T \quad (21)$$

$$S_{m,t} = S_{m,t-1} + \sum_a W_{m,a,t} - d_{m,t} \quad \forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T, m \neq 0 \quad (22)$$

$$S_{0,t} \leq u_{0,t} \quad \forall t \in T \quad (23)$$

$$S_{m,t} \leq u_{m,t} \quad \forall m \in M, \forall t \in T, m \neq 0 \quad (24)$$

$$BS_{m,t} = BS_{m,t-1} + b_{m,t} - \sum_a V_{m,a,t} \quad \forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T \quad (25)$$

$$BS_{m,t} \leq ub_{m,t} \quad \forall m \in M, \forall t \in T \quad (26)$$

$$GS_{m,t} = BS_{m,t} + S_{m,t} \quad \forall m \in M, \forall t \in T \quad (27)$$

$$GS_{m,t} \leq Alan_m \quad \forall m \in M, \forall t \in T \quad (28)$$

$$P_t \leq p_{\max} \cdot Z_t \quad \forall t \in T \quad (29)$$

$$P_t \geq p_{\min} \cdot Z_t \quad \forall t \in T \quad (30)$$

$$E_{m,a,t} = E_{m-1,a,t} - W_{m,a,t} + V_{m,a,t} \quad \forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T, m \neq 0 \quad (31)$$

$$E_{0,a,t} = \sum_m W_{m,a,t} \quad \forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T \quad (32)$$

$$E_{m,a,t} \leq q \quad \forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T \quad (33)$$

$$W_{m,a,t} \leq q \cdot X_{m,a,t} \quad \forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T \quad (34)$$

$$\sum_a X_{m,a,t} \leq 1 \quad \forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T \quad (35)$$

$$V_{m,a,t} \leq q \cdot F_{m,a,t} \quad \forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T \quad (36)$$

$$\sum_a F_{m,a,t} \leq 1 \quad \forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T \quad (37)$$

$$\sum_m F_{m,a,t} \leq q \cdot R_{a,t} \quad \forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T \quad (38)$$

$$\sum_m X_{m,a,t} + \sum_m F_{m,a,t} \leq q \cdot Y_{a,t} \quad \forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T \quad (39)$$

$$Z_t, X_{m,a,t}, F_{a,t}, R_{a,t}, Y_{a,t} \in \{0, 1\} \quad \forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T \quad (40)$$

$$P_t, S_{0,t}, S_{m,t}, BS_{m,t}, GS_{m,t}, W_{m,a,t}, V_{m,a,t}, E_{m,a,t} \geq 0 \quad \forall m \in M, \forall a \in A, \forall t \in T \quad (41)$$

Modele yeni eklenen denklemler:

Denklem(31) t döneminde a aracının m dağıtım merkezine uğradıktan sonraki doluluk miktarını ifade etmektedir. Denklem(32) ise t döneminde aracının fabrikadan çıktığındaki doluluğunu göstermektedir. Denklem(33) araç maksimum kapasite kısıtını göstermektedir.

Denklem(39) ise t planlama döneminde aracın dağıtım merkezlerinden en az birisini iade ürün almak veya ürün götürmek için ziyaret etmesi halinde t döneminde a aracı kullanım değişkeninin 1; aksi halde 0 olmasını sağlamaktadır.

Denklem (20), (36), (37), (38) önceki modeldeki kullanımları aynı kalmakla birlikte indisleri değiştirilmiştir. Diğer denklemler ise aynen kullanılmıştır.

Bu yeni önerilen senaryo için GAMS programında model yeniden çözüldüğünde elde edilen çıktılar ise şöyledir:

8 günlük planlama dönemi için üretim, ileri ve geri dağıtım ve stok maliyetlerinden iadelerin yeniden işleme merkezine satış geliri çıkarıldığında kalan minimum maliyet toplamı;

Min Z= **458.680 TL** olarak hesaplanmıştır.

Sabit üretim maliyetleri toplamı: 900 TL

Degisken üretim maliyetleri toplamı: 467.250 TL

Fabrikadaki ve dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı: 260 TL

Araçların ileri dağıtım için sabit ulaştırma maliyetleri toplamı: 6.120 TL

Geri dönüşüm merkezine gitmenin sabit ulaştırma maliyetleri toplamı: 800 TL

İade ürünlerin geri toplanarak yeniden işleme merkezine satılmasının toplam getirisи: 16.650TL

Planlama dönemi (gün)	Üretim Miktarı
1	-
2	59.000
3	-
4	-
5	63.000
6	66.000
7	-
8	-

Planlama dönemi (gün)	Araçların kullanılması					
	1. araç		2. araç		3. araç	
	dağıtım	iade	dağıtım	iade	dağıtım	iade
1						
2	✓	✓			✓	✓
3			✓	✓	✓	
4	✓		✓			
5	✓		✓	✓	✓	✓
6			✓	✓	✓	
7	✓					
8					✓	

Planlama dönemi (gün)	Dönem Sonu Stok Miktarı (kullanılabilir ürün için)						
	Fabrika	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	
1	6.200	300	300	1.500	500	300	
2	25.600	-	100	6.200	6.100	5.000	
3	5.800	6.500	900	2.800	7.700	2.100	
4	-	-	-	-	-	-	
5	7.900	4.200	-	18.400	1.100	15.100	
6	35.700	-	-	6.600	12.400	25.600	
7	15.900	-	-	11.900	17.500	20.500	
8	-	5.000	-	9.900	9.900	1.600	

Planlama dönemi (gün)	Dönem Sonu Stok Miktarı (İadeler için)				
	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5
1	2700	900	1900	2500	1200
2	-	-	-	-	-
3	200	700	1300	-	800
4	2100	1100	1900	1800	1300
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	1500	700	1200	100	600
8	1600	900	2000	400	1600

5.SONUÇ ve ÖNERİLER

Modelin çıktıları göstermektedir ki, tedarik zinciri ağı birleşik olarak planlandığında toplam üretim, dağıtım, stok ve tersine lojistik kararlarındaki hatalar çok daha net biçimde görülebilmekte, maliyet tasarrufu sağlayacak yeni senaryoların etkinliği karşılaştırmalı olarak hesaplanabilmektedir. İleriki çalışmalarda bütünsel tasarılanan sistemin karbon ayak izinin de dâhil edilerek modelin genişletilmesi planlanmaktadır.

Tedarik zinciri ağı elemanlarından üretim, dağıtım ve tersine lojistiğin birlikte planlandığı bu çalışmada yeniden işleme merkezi sadece sabit ulaştırma maliyeti ve yeniden işlemenin birim getiri ücreti ile modele dâhil edilmiştir. İleriki çalışmalarda yeniden işleme merkezinin kendi stok ve üretim planları da katılarak model genişletilebilir. Ayrıca, mevcut çalışmada dağıtım, sabit rotalar ile yapıldığı varsayılarak sabit ulaştırma maliyetleri kullanılmıştır. Modele dağıtımda kullanılan araçların rotalarının planlanması da eklenerken ileriki çalışmalarda bu varsayımdan genişletilebilir.

KAYNAKÇA

Ahumada, O., Villalobos, J.R., 2011, "Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products" International Journal of Production Economics, Volume 133, Issue 2, pages 677–687

Banasik A., Kanellopoulos A., Claasen G.D.H., Bloemhof-Ruwaard M. ve von der Vorst J.G.A.J., 2017, Closing loops in Agricultural Supply Chains Using Multi-Objective Optimization: A Case Study of an Industrial Mushroom Supply Chain, International Journal of Production Economics, 183:409–420.

Bertron M, Rossi S, Cullen J., 2011, Retail Reverse Logistics: A Call and Grounding Framework for Research. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management; 41(5):484–510.

.Biehl M, Prater E, Realff MJ., 2007, Assessing Performance and Uncertainty in Developing Carpet Reverse Logistics Systems, Computer & Operational Research;34(2):443–463.

Cardoso, R.S., Barbosa-Póvoa, A.P. F.D., Relvas S. , 2013, "Design and planning of supply chains with integration of reverse logistics activities under demand uncertainty", European Journal of Operational Research, Volume 226, Issue 3, Pages 436-451

Chandra P., Fisher, M.L., 1994, "Coordination of production and distribution planning", European Journal of Operational Research, Volume 72, Issue 3, Pages 503–517

Chen, H.K., Hsueh, C.F., Chang, M.S., 2009, "Production scheduling and vehicle routing with time windows for perishable food products", Computers & Operations Research, Volume 36, Issue 7, pp 2311

De Brito, M.P., Dekker, R., Flapper, S.D.P., 2005. Reverse Logistics: A Review of Case Studies. In: Fleischmann, B. (Ed.), Distribution Logistics. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 243 – 281.

- Ekşioğlu, S.D, Jin, M., 2006, "Cross-Facility Production and Transportation Planning Problem with Perishable Inventory", Computational Science and Its Applications – ICCSA, Volume 3982, pp 708
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Dekker, R. van der Laan, E., van Nunen, A.E.E.J., Van Wassenhove, L. (1997). "Quantitative Models for Reverse Logistics: A Review". European Journal of Operational Research. 103. 1-17
- Fortes, J., 2009. Green Supply Chain Management: A Literature. Otago Management Graduate Review 7 (1), 51 – 62.
- Geismar, H.N., Laporte, G., Lei, L., Sriskandarajah, C., 2008, "The integrated production and transportation scheduling problem for a product with a short lifespan", INFORMS Journal on Computing, Vol. 20, No. 1, pp. 21–33
- González-Torre PL, Adenso-Díaz B, Artiba H., 2004, Environmental and Reverse Logistics Policies in European Bottling and Packaging Firms, International Journal of Production Economics; 88(1):95–104.
- González-Torre PL, Adenso-Díaz B., 2006, Reverse Logistics Practices in the Glass Sector in Spain and Belgium, International Business Review;15(5):527–546.
- Govindan, K., Soleimani, H., 2017. A Review of Reverse Logistics and Closed-Loop Supply Chains: A Journal of Cleaner Production focus. Journal of Cleaner Production. 142, 371 – 384.
- Guide, V.D.R., Harrison, T.P., Van Wassenhove, L.N., 2003. The Challenge of Closed-Loop Supply Chains. Interfaces, 33 (6), 3 – 6.
- Guo, J., Wang X., Fan S. ve Gen M., 2017, Forward and reverse logistics network and route planning under the environment of low-carbon emissions: A case study of Shanghai fresh food E-commerce enterprises, Computers & Industrial Engineering, 106;351–360.
- Hosseini, M.S., Ghoreyshi, S.M., 2014, "An integrated model for production and distribution planning of perishable products with inventory and routing considerations", Mathematical Problems in Engineering, Volume 2014 , Article ID 475606, 10 pages
- Jayaraman V, Patterson RA, Rolland E., 2003, The Design of Reverse Distribution Networks: Models and Solution Procedures. European Journal of Operational Research;150(1):128–149.
- Kannan G, Palaniappan M, Zhu Q, Kannan D. , 2012, Analysis of Third Party Reverse Logistics Provider Using Interpretive Structural Modeling. International Journal of Production Economics;140(1), 204 – 211.
- Narayana, A.S., Elias, A.A., Pati, K.R., 2014. Reverse Logistics in the Pharmaceuticals Industry: A Systemic Analysis. International Journal Logistikistics Management, 25 (2), 379 – 398.
- Kumar S, Craig S., 2007, Dell Inc.'s Closed Loop Supply Chain for Computer Assembly Plants. Journal Information-Knowledge-Systems Management;6(3):197–214.
- Jing, Y., Li, W., 2018, Integrated recycling-integrated production - distribution planning for decentralized closed-loop supply chain, Journal of Industrial and Management Optimization, Vol.14, No:2
- Lau KH, Wang Y., 2009, Reverse Logistics in the Electronic Industry of China: A Case Study. Supply Chain Management,14(6):447–65.
- Lee, Y.H., Kim, S.H., 2002, "Production-distribution planning in supply chain considering capacity constraints", Computers & Industrial Engineering, Volume 43, Issues 1–2, Pages 169–190
- Marandi F., Zegordi, S.H., 2017, "Integrated production and distribution scheduling for perishable products", Scientia Irenica E, 24(4)

- Narayana SA, Elias AA, Pati RK., 2014, Reverse Logistics in the Pharmaceuticals Industry: A Systemic Analysis, International Journal of Logistics Management; 25(2):379–398.
- Park, Y.B., 2005, “An integrated approach for production and distribution planning in supply chain management”, International Journal of Production Research, Volume 43, Issue 6, pages 1205-1224
- Rahimi, M., Baboli, A. ve Rekik, Y., 2016, Sustainable Inventory Routing Problem for Perishable Products by Considering Reverse Logistic Reverse Logistic Reverse Logistic, IFAC – Papers OnLine; 49(12):949-954.
- Rathore P, Kota S, Chakrabarti A., 2011, Sustainability Through Remanufacturing in India: A Case Study on Mobile Handsets. Journal of Cleaner Production;19(15):1709–1722.
- Ravi V, Shankar R., 2006, Reverse Logistics Operations in Paper Industry: A Case Study, Journal of Advances in Management Research; 3(2):88–94.
- Stindt, D., Sahamie, R., Nuss, C., Tuma, A., 2016. How Transdisciplinarity can Help to Improve Operations Research on Sustainable Supply Chains - A Transdisciplinary Modeling Framework. Journal Business Logistics. 37 (2), 113 – 131.
- Stock JR, Mulki J.P., 2009, Product Returns Processing: An Examination of Practices of Manufacturers, Wholesalers/Distributors and Retailers. Journal of Business Logistics, 30(1): 33 – 62.
- Subramanian N, Gunasekaran A, Abdulrahman M, Liu C., 2014, Factors for Implementing End-of-Life Product Reverse Logistics in the Chinese Manufacturing Sector, The International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 21(3):235–245.
- OECD, 2018, Extended Producer Responsibility, (ulaşım: 03.11.2018)
<http://www.oecd.org/env/tools-evaluation/extendedproducerresponsibility.htm>
- Wang X, Gaustad G, Babbitt CW, Richa K., 2014, Economies of Scale for Future Lithium-Ion Battery Recycling Infrastructure, Resources, Conservation and Recycling;83:53–62.
- Wu CJ, Cheng WP. 2006, Reverse Logistics in the Publishing Industry: China, Hong Kong and Taiwan. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 36(7) : 507 – 523.
- Zegordi, S.H, Nia, M.A.B, 2009, “Integrating production and transportation scheduling in a two-stage supply chain considering order assignment” The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 44, Issue 9, pp 928-939