

BOZULABİLİR ÜRÜNLER İÇİN BİRLEŞİK ÜRETİM VE DAĞITIM PLANLAMA*

INTEGRATED PRODUCTION AND DISTRIBUTION PLANNING FOR PERISHABLE PRODUCTS

Elif BİLGİN** 
Necdet ÖZÇAKAR*** 

Öz

Bir ürünün geçtiği aşamalar, ilk tedarikçisinden başlayarak fabrikadaki üretim hattında işlenmesi, dağıtımcular ve perakendeciler yolunu izleyerek müşteriye ulaşması olarak sıralanabilir. Bu zincirin planlanmasında yazında ve uygulamada genel kanı olarak üretim ile dağıtım ayrı planlama aşamaları olarak kabul edilmiş, buna bağlı olarak kurulan modeller de üretimi ve dağıtımını ayrı modeller altında ele almıştır. Oysa dağıtım ve üretim birbirlerini zincirleme olarak etkileyen kararlar olduğundan birleşik bir üretim-dağıtım planlaması çok daha sağlıklı ve verimli sonuçlar verecektir. Özellikle de planlaması yapılan ürün zamanla kalitesi ve değeri azalan, yani bozulabilir bir ürün ise; ürünün ne zaman, ne kadar üretildiği ile ne zaman, nasıl dağıtılacağı birbirini zincirleme olarak etkileyecektir. Bu çalışmada, bir fabrikada, birden fazla bozulabilir ürünün üretimi ve birden fazla dağıtım merkezine birden fazla araç ile dağıtımını birleşik ele alan bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Modelin amacı, toplam üretim, dağıtım ve stok maliyetlerini (sabit ve değişken üretim, fabrikadaki ve dağıtım merkezlerindeki stok ile araçların sabit dağıtım maliyetleri toplamını) en az yapmaktır.

Anahtar Kelimeler: Birleşik Üretim ve Dağıtım Planlama, Bozulabilir Ürün, Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama

* “Bozulabilir ürünler için birleşik üretim ve dağıtım planlama” isimli bu çalışma Elif BİLGİN’in 612378 Sayılı doktora tezinden (İstanbul Üniversitesi, Aralık 2018) üretilmiştir.

** Marmara Üniversitesi, İşletme Bölümü, ebilgin@marmara.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5823-3822

*** İstanbul Üniversitesi, İşletme Bölümü, necdet@istanbul.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2829-2909

Abstract

The stages a product completes can, generally, be sorted as, beginning from the first supplier, its process on the production line in a plant and the path it reaches to customers through distributors and retailers. The studies and practices, so far, have accepted distribution and production as separate planning stages, hence the models have discussed production and distribution under separate models. Whereas distribution and production decisions affect each other successively a combined production-distribution planning would yield more reliable and productive results. Especially if the planned product loses its quality and value in time, in other words if it is a perishable product, the decisions for when and how much to produce and when and how to distribute will affect each other. This study suggests a mixed integer linear programming model which handles production and distribution of multiple perishable products, in a plant, to multiple distribution centers by multiple vehicles. The aim of the model is to minimize total production, distribution, and inventory costs (total costs of fixed production, variable production, inventory in the plant, inventory in the distribution center and fixed transportation costs of using the vehicle)

Keywords: Integrated Production and Distribution Planning, Perishable, MILP

1. Giriş

Bir ürünün geçtiği aşamaları en genel şekliyle, ilk tedarikçisinden başlayarak fabrikadaki üretim hattında işlenmesi, bazı durumlarda ara depolar, dağıtımıcılar, perakendeciler yolunu izleyerek müşteriye ulaşması olarak sıralayabiliriz. Her bir üretim aşaması, kendi bulunduğu adımdaki üretimin planlanması sorununu ele alır. Kaynakların kısıtlı, üretim maliyetlerinin kârlılık üzerinde etkisinin büyük olması sebebiyle üretimin planlanması ciddiyle çalışılan bir konudur.

Koşulların gelişmesiyle üretim maliyetlerinin yanında dağıtım maliyetlerinin de toplam maliyet içinde büyük yer tutmaya başlamasıyla üretilen ürünün minimum maliyetle kullanıcıya ulaştırılmasına yönelik dağıtım planlaması çalışmaları, üzerinde çalışılan bir konu haline gelmiştir. Dağıtım planlaması, maliyetler bakımından önemli olduğu kadar ürün kalitesi ve müşteri beklentilerinin karşılanması açısından da önemlidir. Üretimi ve dağıtımını yapılan ürün çabuk bozulmayan bir ürün olduğunda yalnızca maliyetleri etkileyen dağıtım planlaması, planlaması yapılan ürün bozulabilir nitelikte bir ürün olduğunda yalnızca maliyetleri değil aynı zamanda dağıtımın hızı ve etkinliği vasıtasıyla da ürünün kalitesini ve bazen buna bağlı olarak fiyatını dahi etkileyebilmektedir.

Bugüne kadarki çalışmalarda ve uygulamada genel kanı olarak üretim ile dağıtım ayrı ayrı planlama aşamaları olarak kabul edilmiş, buna bağlı olarak kurulan modeller de üretimi ve dağıtımını ayrı modeller altında ele almıştır. Oysa dağıtım ve üretim birbirlerini zincirleme olarak etkileyen kararlar olduğundan birleşik bir üretim-dağıtım planlaması çok daha sağlıklı ve verimli sonuçlar verecektir. Özellikle de planlaması yapılan ürün zamanla kalitesi ve değeri azalan, yani bozulabilir bir ürün ise; ne zaman, ne kadar üretildiği ile ne zaman, nasıl dağıtılacağı birbirini bütünlük olarak etkileyecektir.

Literatürde üretim ve dağıtım planlamanın ayrı ayrı ele alındığı yaklaşım uzun yıllardır çalışılmaktadır. Ancak bu çalışmalar büyük oranda geleneksel (bozulabilir olmayan) ürünlere yöneliktir. Bozulabilir ürünlere yönelik üretim ve dağıtım planlama çalışmaları bu bütün içinde nispeten az sayıda yer almaktadır. Oysa gıda ürünleri, tarım ürünleri, organ, canlı hayvan, hazır beton vb. pek çok bozulabilir ürünün üretim ve dağıtımının planlaması, yaşanacak gecikmelerde ürünlerin kısımen veya tamamen değerlerini yitirmelerine yol açacağından, çok daha büyük önem arz etmektedir.

Birleşik üretim ve dağıtım planlamasına ilişkin çalışmalar, yazında yakın dönemde yer almaya başlamış, bozulabilir ürünler için birleşik üretim ve dağıtım planlaması ise çok daha az sayıda çalışılmıştır.

Bu çalışmada bozulabilir ürünlerin birleşik üretim ve dağıtım planlama modeli ile toplam üretim, dağıtım ve stok maliyetlerini (sabit üretim, değişken üretim, fabrikadaki stok, dağıtım merkezlerindeki stok ve araç kullanmanın sabit ulaştırma maliyetleri toplamı) aynı anda en az yapan sistem optimizasyonu hedeflenmektedir.

Bu amaçla tasarlanan çalışma şu şekilde organize edilmiştir: Giriş kısmının ardından ikinci bölümde yazın taraması yapılmış, yazındaki birleşik üretim ve dağıtım planlaması üzerine çalışmalar bozulabilir ve bozulabilir olmayan ürünler için ayrı ayrı incelenmiştir. Üçüncü bölümde üretim ve dağıtım planlamasını bütünleşik olarak ele alan karma tam sayılı model tanımlanmış ve uygulama yapılan işletmeye dair bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde model GAMS programı ile çözülmüş, çıktılar yorumlanmış ve farklı senaryolar için model denenerek mevcut metot iyileştirilmeye çalışılmıştır. Son bölümde ise çalışmanın genel bir değerlendirilmesi sunulmuştur.

2. Yazın Taraması

2.1. Geleneksel (bozulabilir olmayan) Ürünler İçin Birleşik Üretim ve Dağıtım Problemi

Yazındaki araştırmaların büyük kısmı ürünün ömrünü dikkate almaksızın birleşik üretim ve dağıtım problemini ele alan çalışmalardır. Birleşik model farklı karar seviyeleri (stratejik, taktik, operasyonel) için değişiklik gösteren detaylar içermektedir.

Pankaj Chandra & Marshall L. Fisher (1994), üretim ve dağıtım planlamasını birleştirmenin değerini hesaplamaya yönelik öncü bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında ele aldıkları senaryo, birden fazla ürün üreten bir fabrika ve bitmiş ürünlerin fabrikada stoklanması durumudur. Ürünler bir kamyon filosu ile birden fazla perakendeciye dağıtılmaktadır. Ürünlerin planlama dönemi boyunca her dönemki talebi kesin olarak bilinmektedir. Çalışmada karşılaştırılan iki yöntemden ilki ürünlerin üretim planlaması ile dağıtımlarının araç rotalama probleminin ayrı ayrı çözülmesi, diğeri ise tek bir modelde birlikte çözülmesidir. Her iki yöntem 132 farklı örnek için modelde planlama dönemi, ürün sayısı, perakendeci sayısı, hazırlık, stok tutma ve araç seyahat maliyetleri vb. temel parametreler

değiştirilerek çalıştırılmıştır. Çalışma sonunda toplam maliyetlerin birleşik çözümde ayrı ayrı çözüme oranla %3 ile %20 arasında değişen oranlarda daha düşük çıktığı görülmüştür. Mingyuan Chen & Weimin Wang (1997), bir çelik şirketinde bütün planlama faaliyetini: hammadde alımı, yarı mamul alımı ve üretimi ile tamamlanmış ürün üretimi ve dağıtımının yanı sıra kapasite dağıtımı gibi bir dizi yakın ilişkili alt fonksiyonları dâhil eden birleşik bir süreç olarak dikkate almışlardır. Optimal üretim planlamasını bulma amacıyla kullandıkları matematiksel programlama modeli, üretim maliyetlerini, ürün çevrim hızı, müşteri talepleri, satış fiyatları ve fabrika kapasitesini hesaba katan bir modeldir. Hesaplama ve analiz sonuçları, birleşik yöntemin çelik üretim planlaması için uygun bir yaklaşım olduğunu göstermiştir. Fumero & Vercellis (1999), Kapasite yönetimi, stok tahsisi ve araç rotalama gibi önemli ve birbiriyle ilişkili lojistik kararlarında en uygun koordinasyonun sağlanması amacıyla yönelik üretim ve dağıtım planlaması için birleşik bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Clarisse Dhaenens-Flipo & Gerd Finke (2001), birden fazla fabrika, ürün ve dönemli bir eşzamanlı üretim ve dağıtım planlama maliyet minimizasyonu optimizasyon problemi ele almışlardır. Vaidyanathan Jayaraman & Hasan Pirkulb (2001), çok-kademeli bir ortamda üretim ve dağıtım tesislerinin yerleşim planlaması için birleşik lojistik bir modeli üzerinde çalışmışlardır. Böyle bir lojistik sistemi tasarlamak stratejik ve operasyonel olmak üzere iki önemli karar gerektirmektedir. Stratejik kararlar, fabrika yeri, depo yeri vb. seçimi; operasyonel kararlar fabrikalardan müşterilere depolar aracılığıyla dağıtım kararlarını kapsamaktadır. Young Hae Lee & Sook Han Kim (2002), çalışmalarında verili zaman aralığı içinde tüm bayilerin talebini karşılamaya yönelik çok dönemli, çok bayili birleşik bir tedarik zinciri üretim ve dağıtım modeli önermişlerdir. Üretim, dağıtım, stok tutma ve stoksuzluk maliyetleri toplamını minimize etmeye yönelik kurdukları model ile her dönem için müşteri talebini karşılayacak en iyi işlem süresi hesaplandıktan sonra bu süreye dayalı en iyi üretim-dağıtım planı elde edilmiştir. Y.B. Park (2005) çalışmasında birden fazla fabrika, bayi, ürün ve dönemli bir lojistik sisteminde toplam net kârı maksimize etmeye yönelik birleşik bir üretim-dağıtım planlama modeli sunmuş ve birleşik modellerin ayrı modellere kıyasla etkinliğinin daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Boudia, Louly, & Prins, (2008) tek ürün çok dönem için üretim ve dağıtım planlamasının koordinasyonunun değerini araştırmıştır. Amaç, tüm dönemlerin toplam üretim ve dağıtım maliyetlerini minimize edecek her dönemin üretilecek miktar ve sevkiyat dolaşımını belirlemektir. Seyed Hessa-meddin Zegordi & Mohammad Ali Beheshti Nia (2009), iki kademeli bir tedarik zincirinde siparişlerin tedarikçilere atanmasında üretim ve nakliye planlaması entegrasyonu üzerine çalışmışlardır. İlk aşama, farklı coğrafi bölgelere dağılmış birden fazla tedarikçi; ikinci aşama ise farklı hız ve taşıma kapasitelerine sahip birden fazla araç ve birden fazla malzemenin fabrikaya taşınmasını kapsamaktadır. Bilgen & Günther (2010) toplam üretim ve taşıma maliyetlerini minimize etmeye yönelik bir karma tam sayılı doğrusal optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Ayrıca söz konusu model oluşturulurken blok-planlama yaklaşımı da sunulmuştur. S. A. Torabi & M. Moghaddam (2012) toplam geliri maksimize ve aynı zamanda teslim süresini minimize etmeye yönelik iki amaçlı bir fuzzy hedef programlama modeli üzerine çalışmışlardır. Farklı bölgelerdeki fabrikalarda üretim yaparak yine

farklı bölgelerdeki müşterilere dağıtımını konu alan çalışmada talebin belirsiz olması nedeniyle karşılanamayan talep veya elde stok kalması söz konusu olabilir. Üretim planlamada orta dönemli bütünlük üretim planlama (aggregate planning) kapsamında, stokları elde tutma maliyeti, geciken sipariş, fazla mesai, geçici işçi vb. ek kapasite maliyetleri ve dağıtım maliyetleri toplamının azaltılmasıyla gelir maksimizasyonu hedeflenmiştir. K. Sarrafha, A. Kazemi & A. Alinezhad (2014), birden fazla tedarikçi, fabrika, dağıtım merkezi ve perakendeciden oluşan bir tedarik zinciri ağında toplam maliyetleri ve perakendecilere dağıtım süresini eşzamanlı olarak minimize etmeyi amaçlayan birçok amaçlı karma tam sayılı programlama modeli önermişlerdir. Modeli hayali bir senaryo için sayısal olarak çözmüş ve çıktılarını yorumlamışlardır. Moon, Jeong & Saha (2016), tedarikçi, üretici, dağıtım merkezi ve perakende mağazasından oluşan dört kademeli bir tedarik zincirinin karbon emisyonu kısıtı ile tasarımı konusunda çalışmışlardır. Önerdikleri çok amaçlı bir karma tam sayılı programlama modelinde ilk amaç, ürün satış gelirinden dört kademe için hammadde, üretim, dağıtım ve stok tutma maliyetleri farkını minimize etmektir. Çok amaçlı modelin ikinci hedefi ise tüm planlama dönemi boyunca stoksuzluk maliyetinin minimizasyonudur. Modelin yazına en önemli katkısı, alışlageldiği üzere sadece gelir ve maliyetlere odaklanmanın yanında hammaddenin ve ürünün üretim, dağıtım ve stoklanması aşamalarındaki karbon salınımını da dikkate almasıdır. Üretim ve dağıtım planlama modelinin çıktılarının karbon salınımını kısıt olarak eklenmesi halinde nasıl değişeceğini duyarlılık analizi ile yorumlamışlardır. Son dönemde firmaların faaliyetlerinin çevreye verdiği zararın azaltılmasına yönelik düzenlemeler konulması, firmaların tedarik zinciri faaliyetlerinin çevreye zararlı etkilerini gözden geçirmelerine yol açmıştır. A. Aktaş & İ. Temiz,(2020), çalışmalarında çok ürünülü çok kademeli bir tedarik zincirinde birleşik üretim ve dağıtım planlamasında kârı arttırırken malzeme ve ürün dağıtımından kaynaklı karbon salınım miktarını azaltmaya yönelik hedef programlama modeli sunmuşlardır.

2.2. Bozulabilir Ürünler İçin Birleşik Üretim ve Dağıtım Problemi

Üretim ve dağıtım ortak modelde ele alan çalışmalar içinde bozulabilir ürünlere odaklananların sayısı çok daha azdır ve diğerine kıyasla yeni çalışılan bir alandır. Genel olarak daha kısa raf ömürlü ürünlere odaklanılmıştır. Bu alandaki çalışmaların ilk dönemlerde yoğunlaştığı konu bozulabilir ürünün stoktaki değer kaybı ve sisteme stok kararlarının dâhil edilmesidir. İlerleyen yıllarda orta seviye stok kararlarından daha geniş bir karar çerçevesine geçilmiş ve yalnızca stoktaki ürünlerin dağıtımını üzerine değil; üretimin ilk aşamasından dağıtıma dek zincir bütün olarak ele alınmaya başlanmıştır.

Federgruen, Prastacos & Zipkin (1986) makalelerinde bozulabilir ürünler için bölgesel bir dağıtım merkezinden rassal talepli birden fazla bölgeye birleşik dağıtım planı üzerinde çalışmışlardır. Merkezdeki stoğun tahsisıyla dağıtımın nasıl yapılacağını birleştiren bir model incelenmiştir. Her talep merkezine ayrı seferler yapılması veya aracın yaptığı dağıtım rotasının farklı talep merkezi duraklarını içermesi olmak üzere iki farklı dağıtım politikası karşılaştırılmış ve sayısal çıktıları tartışılmıştır. V. Sirelson & E. Brodheim, (1991) makalelerinde hastane kan bankalarındaki trombosit stokları

ile bölgesel bir kan merkezinden planlanan günlük gönderileri birlikte modelleyerek sabit bir stok yenileme seviyesi hesaplama yöntemi önermişlerdir. Amaç, stoksuzluk oranı ve son kullanım süresi geçen ürünlerin oranı toplamını en az yapmaktır. Ekşioğlu & Mingzhou (2006) makalelerinde bozulabilir stoklu dinamik iki seviyeli tedarik zinciri için üretim ve dağıtım planlamasında karma tam sayılı programlama modeli geliştirilmişlerdir. Ele alınan tedarik zincirinde birden fazla fabrika ve perakendeci bulunmaktadır. Son ürün bozulabilir üründür ve sınırlı bir raf ömrüne sahiptir. Problemi sabit ücret bedeli fonksiyonlu bir şebeke olarak modellemişlerdir. Geismar vd. (2008), çalışmalarında kısa raf ömürlü bir ürün için üretim-dağıtım planlama problemi kullanmışlardır. Raf ömrünün kısa olmasından dolayı fabrikada stok tutulmamakta, üretim tamamlanır tamamlanmaz doğrudan müşterilere dağıtılmaktadır. Modelin amacı, geniş bir coğrafi bölgedeki müşterilerin talebini karşılarken üretim ve dağıtım süreleri toplamını en az yapmaktır. Rong, Akkerman & Grunow (2011), gıda tedarik zincirinde üretim ve dağıtım planlamasında karma tam sayılı doğrusal programlama modeline gıda kalitesindeki bozulmayı dâhil ederek bir model geliştirmişlerdir. Chen Hsueh & Chang (2009) bozulabilir ürünler için doğrusal olmayan zaman pencereli matematiksel bir üretim planlama ve araç rotalama modeli geliştirmişlerdir. Perakendecilerdeki taleplerin rassal değiştiği ve bozulabilir ürünlerin üretiminin tamamlandığı andan itibaren bozulmaya başladığı varsayılmıştır. Perakendeciye ulaştığındaki ürünün kalitesine ve miktarına göre değeri değiştiğinden dolayı tedarikçinin kârı belirsizdir. Modelin amacı tedarikçinin toplam beklenen kârını en fazla yapmaktır. Optimal üretim miktarı, üretime başlama zamanı ve araç rotaları modelde eşzamanlı olarak hesaplanmıştır. Sila Çetinkaya, Halit Üster, Gopalakrishnan Easwaran, Burcu Baris Keskin (2009), yayınlarında bir gıda firmasının ürünlerinin dağıtım tedarik zincirinde stok ve dağıtım kararlarının eşzamanlı optimizasyonunu incelemişlerdir. Birden fazla ürün için geniş kapsamlı bir birleşik stok parti büyüklüğü planlama ve araç rotalama karma tam sayılı modeli kurmuşlardır. Stok tutma, araç yükleme ve sevk maliyetleri toplamını en az yapmayı amaçlayan model; üretim, stok ve araç taşıma kapasite kısıtları için, fabrikadan mağazaya ve fabrikalar arası dağıtım alternatifleri için farklı olarak kurulmuştur. Çözüm aşamasında modeli stok ve rotalama olarak iki aşamaya bölüp yinelemeli çözüm yaklaşımıyla her iki alternatifin sonuçları karşılaştırılmıştır. Aiyong Rong & Martin Grunow (2010), çalışmalarında gıda güvenliği problemini de içeren bir birleşik üretim dağıtım planlama modeli önermişlerdir. Önerdikleri model tek kademeli, dinamik, kapasite sınırsız parti büyüklüğü belirleme modeline dayanmaktadır. Ürün kalitesindeki bozulma ve güvenlik riski modele eklenmiştir. Changyuan Yan, Avijit Banerje & Liangbin Yang (2011), iki kademeli bir tedarik zincirinde bozulabilir ürün için birleşik üretim-dağıtım modeli geliştirmişlerdir. Tedarikçinin üretim parti büyüklüğü, müşterinin kendi belirlediği sevk parti büyüklüğünün tam sayı katı ile sınırlanmıştır. Her iki firma için ayrı ayrı hesaplanan parti büyüklükleri kullanılarak tedarik zincirindeki tüm süreçlerin maliyetleri toplamının minimize edilmesi amaçlanmıştır. Omar Ahumada & J. Rene Villalobos (2011), tarım ürünlerinin üretim ve dağıtım planlamasında üretici kârını maksimize etmeye yönelik bir karma tam sayılı programlama modeli sunmuşlardır. Önerilen modelde geleneksel ürünler için kullanılan fiyat tahmini ve kaynak kısıtlarına ek olarak ürünün bozulma oranı, transfer ve stok bulundurma maliyetleri de dikkate alınmıştır. Ürünün bozulması modele iki şekilde dâhil edilmiştir: amaç fonksiyonuna gider

olarak ve depolama kısıtı olarak. Meneses vd. (2011), önerdikleri modelde bozulabilir ürünler için geleneksel parti büyüklüğü planlamayla zaman pencereli araç rotalama problemini birleştirmişlerdir. Parti büyüklüğü ile araç rotalamanın ayrı ayrı hesaplanmasıyla birleşik hesaplanmasının sonuçlarını sayısal örnekler ile karşılaştırmışlardır. Amorim vd. (2012), sabit ve değişken (*loose*) raf ömürlü bozulabilir ürünler için toplam maliyeti minimize ederken dağıtım merkezlerine ulaşan ürünlerin kalan raf ömürlerini maksimize etmeye yönelik birçok amaçlı birleşik üretim ve dağıtım planlama modeli geliştirmişlerdir. GM. Kopanos, L. Puigjaner & MC. Georgiadis'in (2012) çalışması, gıda sektöründe tek ve çok tesisli kesikli üretim ve lojistik süreçlerinin planlamasına ilişkin bir çalışmadır. Kesikli ve sürekli zamanlı birer karma tam sayılı model geliştirmişlerdir. Çalışmanın en ayırt edici yanı, ürünler için değil, ürün aileleri için zaman ve miktar bazında kararlar alınmasıdır. Üretim, stok, taşıma ve hazırlık maliyetlerinin optimizasyonu amaçlanmıştır. P. Farahani, M. Grunow & H. O. Günther (2012), üretim ile dağıtım arasında geçen süreyi kısaltarak catering yemeklerinin kalitesini iyileştirmeyi araştıran bir çalışma yapmışlardır. Kısa dönemli üretim ve dağıtım programlamayı birleştiren bir model önermişlerdir. Üretim programlama problemi, blok planlama formülüne dayanan bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeli ile çözülmüş ve üretim ile dağıtım planlamasını birleştiren bir arayüz kullanmışlardır. Amorim vd. (2013), bozulabilir ürünler için üretim ve dağıtım planlama modelleri üzerine bir literatür tarama çalışması yapmışlardır. Amorim vd. (2013), bozulabilir ürünlerin birleşik üretim ve dağıtım planlamasında yaygın kullanılan siparişe dayalı üretimde partiler halinde üretim yerine üretim parti büyüklüklerinin küçültülmesi – *lot sizing* yöntemini önermişlerdir. Her iki yöntemi karşılaştırmalı olarak örneklerden elde ettikleri sonuç, küçük partiler halinde üretim yönteminin özellikle bozulabilir ürünlerde %6,5'a kadar maliyet iyileştirmesi sağladığıdır. Pauls-Worm vd. (2014), sabit raf ömürlü bozulabilir bir ürün için değişken bir taleple karşı karşıya olan bir gıda üreticisinin üretim planlama problemini incelemişlerdir. Belirsiz talebi karşılamak için FIFO yöntemi kullanılmaktadır. Fabrikada hazırlık, değişken üretim, stok tutma ve çöp maliyetleri toplamını en az yapmak için hangi dönem ne miktarda üretilmesi gerektiğini planlanmaya yönelik bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeliyle istenen talep karşılama düzeyleri için yaklaşık çözüm elde edilmiştir. S. M. Seyedhosseini & S. M. Ghoreyshi (2014), bir fabrikada sabit raf ömürlü bozulabilir bir ürün üreten ve birden fazla dağıtım merkezine eş araçlar kullanılarak gönderimin yapıldığı bir tedarik zinciri için birleşik üretim ve dağıtım planlama modeli önermişlerdir. Modelde her planlama dönemindeki üretim miktarı, hangi dağıtım merkezlerine uğranılacağı ve her birine ne kadar gönderileceği bulunmak istenmektedir. Amaç toplam üretim ve dağıtım maliyetlerini minimize etmektir. Geliştirdikleri modelin çözümü için modeli üretim ve dağıtım olarak iki alt modele bölmüşlerdir. Üretim alt modeli LINGO programı ile çözülmüş, buradan elde edilen sonuçları dağıtım modelinin girdileri olarak kullanmış ve önerdikleri çözüm metodunu farklı sayısal örnekler için test etmişlerdir. P. Devapriya, W. Ferrel & N. Geismar (2016), çalışmalarında toplam üretim ve dağıtım maliyetini minimize etmeye yönelik bir karma tam sayılı model önermişlerdir. Bir fabrikada üretilip birden fazla dağıtım merkezine birden fazla araç ile gönderilen tek bir bozulabilir ürün için önerdikleri modelin karar değişkenleri, araç sayısı, rotası, üretim miktarı ve dağıtım miktarıdır. Tanımladıkları hayali bir senaryo için modeli sezgisel yöntem ile çözmüşlerdir. Buldukları çözüm

optimum çözüm olmamakla birlikte, yaklaşık bir çözüm elde etmişlerdir. M. H. Ngoc & N., Nanonukul (2016), çalışmalarında değişken raf ömürlü bozulabilir bir ürünün toplam üretim ve dağıtım maliyetleri ile, ürünün süre geçtikçe bozulması sebebiyle değer kaybı maliyeti toplamını minimize etmeye yönelik bir birleşik üretim ve dağıtım planlama modeli sunmuşlardır. F. Marandi & S. H. Zegordi (2017), tesadüfi raf ömürlü ürünlerin üretim ve dağıtım arasında geçen sürenin kısaltılmasıyla ürünün kalitesinin nasıl iyileştirilebileceği üzerine çalışmışlardır. Önerdikleri modelde ürünün üretim süresi, üretim ile dağıtım arasındaki süre farkı ile dağıtım maliyeti toplamını minimize etmek amaçlanmaktadır. Lacomme vd. (2018), tesadüfi ve kısa raf ömürlü bozulabilir bir ürünün üretimi tamamlanmasının ardından müşterilere dağıtım süresinin minimizasyonuna yönelik üretim programlama ve araç rotalama modeli önermişlerdir. Li, vd. (2019), bozulabilir bir ürünün birden fazla tesiste gerçekleşen üretim ve paketleme sonrası dağıtımın rotalama problemini ele almışlardır. Bozulabilir ürünlerin kısa raf ömrü ve bu nedenle sıklıkla indirimli satılmak zorunda kalınması problemin esin noktasıdır. Üretim ve dağıtım kararlarına paketleme seçimini de dâhil ederek ürünün indirim zorunluluğunu azaltmaya çalışmışlardır. E. Yılmaz & E. Bilgin (2019) çalışmalarında bütünlüklü üretim ve dağıtım planlamasına geri dönüşümü de ekleyerek bozulabilir bir ürünün fabrikada üretiminden dağıtım merkezlerine birden fazla araç ile dağıtım ve iade ürünlerin geri toplanarak yeniden işleme merkezine satılmasını birleşik ele alan çok kademeli bir tedarik zinciri ağı tasarlamıştır. Çalışmada önerilen karma tam sayılı programlama modelin amacı, toplam üretim, ileri ve geri dağıtım ve stok maliyetlerinin minimizasyonudur. M. Bank, M. Mazdeh & M. Heydari (2020), bozulabilir bir ürünün iki kademeli bir tedarik zincirinde bütünlüklü üretim ve dağıtım planlamasını ele almışlardır. Birden fazla tesiste üretilip farklı bölgelerdeki müşterilere dağıtımında karma tam sayılı programlama ile maliyet minimizasyonu amaçlanmış ve model Karma Benzetimli Tavlama – Hybrid Simulated Annealing (HSA) yöntemi ile çözülmüştür. L. Liu & S. Liu (2020), çalışmalarında ağırlıklı ortalama teslimat süresini azaltmak için üretim planlama ve araç rotalama kararlarına yönelik bütünlüklü bir model önermişlerdir.

3. Modelin Tanımı

Bu çalışmada, bozulabilir birden fazla ürünün, bir fabrikada üretimi, bu fabrikadan birden fazla dağıtım merkezine birden fazla araç ile dağıtımını bütünlüklü ele alan bir karma tam sayılı programlama modeli önerilmektedir.

Modelin amacı: toplam üretim, dağıtım ve stok maliyetlerini (sabit üretim, değişken üretim, fabrikadaki stok, dağıtım merkezindeki stok ve aracı kullanmanın sabit ulaştırma maliyetleri toplamı) aynı anda en az (minimum) yapmaktır.

$t = 1, 2, \dots, 21$: Planlama dönemi kapsamı (Model 10 günlük üretim ve dağıtım planlamayı kapsamaktadır. Ancak zaman-talep stok üst kısıt hesaplamasında son planlama dönemini ve sonrasındaki 10 güne ihtiyaç duyulduğundan planlama evreni 21 gün kabul edilmiştir.)

$i = 0, 1, \dots, 6$: 0 fabrikayı temsil edecek şekilde fabrika ve dağıtım merkezleri

$k = 1, 2, \dots, 5$: Araçlar

$j = 1, 2, \dots, 7$: Ürünler

olmak üzere;

Modelin değişkenleri: önerilen model ile yanıtı aranan üretim ve dağıtım kararları şunlardır:

$Z_{t,j}$: t planlama döneminde j ürününden üretim yapılıyorsa 1; aksi halde 0

$P_{t,j}$: t dönemindeki j ürünü üretim miktarı

$S_{0,t,j}$: Fabrikada t. dönemdeki j ürünü dönem sonu stok miktarı

$S_{i,t,j}$: i dağıtım merkezinde t. dönemdeki j ürünü dönem sonu stok miktarı

$X_{i,k,t}$: t dönemde k aracı i dağıtım merkezine gidiyorsa 1; aksi halde 0

$Y_{k,t}$: t dönemde k aracı kullanıldıysa 1; aksi halde 0

$W_{i,k,t,j}$: t dönemde k aracıyla i dağıtım merkezine j ürününden sevk edilen miktar

Modelin parametreleri:

$d_{i,t,j}$: t dönemde i dağıtım merkezinin j ürününe talebi

fpc_j : j ürününün sabit üretim maliyeti

vpc_j : j ürününün değişken üretim maliyeti

P_{max} : en fazla üretim miktarı

P_{min} : en az üretim miktarı

h_i : fabrika ve dağıtım merkezleri için birim stok maliyeti

sl : bozulabilir ürünün raf ömrü (planlama dönemi birim olarak tanımlanacak)

$u_{0,t,j}$: t dönemde fabrika için j ürününün stok üst seviyesi (bu sayı $\sum_i \sum_{t \leq r \leq t+sl} d_{i,r,j}$ 'ye eşittir)

$u_{i,t,j}$: t dönemde i dağıtım merkezi için j ürününün stok üst seviyesi (bu sayı $\sum_{t \leq r \leq t+sl} d_{i,r,j}$ 'ye eşittir)

A_i : fabrika ve dağıtım merkezlerinin depo alanı

q : araç kapasitesi

ftc_k : k aracını kullanmanın sabit ulaşım maliyeti

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min} \quad \sum_{t,j} fpc_j \cdot Z_{t,j} + \sum_{t,j} vpc_j \cdot P_{t,j} + \sum_{i,t,j} h_i \cdot S_{i,t,j} + \sum_{k,t} ftc_k \cdot Y_{k,t} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$S_{0,t,j} = S_{0,t-1,j} + P_{t,j} - \sum_i \sum_k \sum_j W_{i,k,t,j} \quad \forall i \in N, \forall t \in T, \forall j \in J \quad (2)$$

$$S_{i,t,j} = S_{i,t-1,j} + \sum_k \sum_j W_{i,k,t,j} - d_{i,t,j} \quad \forall i \in N, \forall t \in T, \forall j \in J \quad (3)$$

$$S_{0,t,j} \leq u_{0,t,j} \quad \forall t \in T, \forall j \in J \quad (4)$$

$$S_{i,t,j} \leq u_{i,t,j} \quad \forall i \in N, \forall t \in T, \forall j \in J \quad (5)$$

$$\sum_j S_{i,t,j} \leq A_i \quad \forall i \in N, \forall t \in T, \forall j \in J \quad (6)$$

$$P_{t,j} \leq p_{\max} \cdot Z_{t,j} \quad \forall t \in T, \forall j \in J \quad (7)$$

$$P_{t,j} \geq p_{\min} \cdot Z_{t,j} \quad \forall t \in T, \forall j \in J \quad (8)$$

$$W_{i,k,t,j} \leq q \cdot X_{i,k,t} \quad \forall i \in N, k \in K, t \in T, j \in J \quad (9)$$

$$\sum_i \sum_j W_{i,k,t,j} \leq q \quad \forall k \in K, t \in T, j \in J \quad (10)$$

$$\sum_k X_{i,k,t} \leq 1 \quad \forall i \in N, t \in T \quad (11)$$

$$\sum_i X_{i,k,t} \leq q \cdot Y_{k,t} \quad \forall k \in K, t \in T \quad (12)$$

$$Z_{t,j}, X_{i,k,t}, Y_{k,t} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, k \in K, t \in T, j \in J \quad (13)$$

$$P_{t,j}, S, S_{i,t,j}, W_{i,k,t,j} \geq 0 \quad \forall i \in N, k \in K, t \in T, j \in J \quad (14)$$

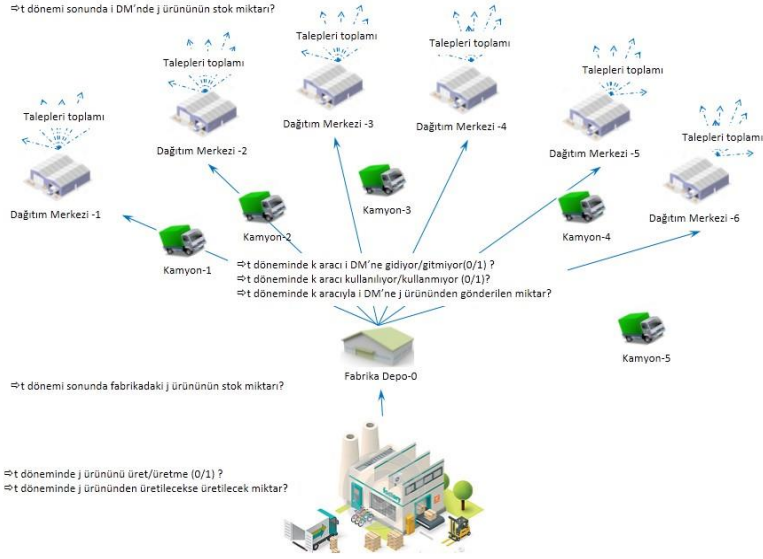
Modelde (1) numaralı denklem, sabit üretim, değişken üretim, fabrikadaki ve dağıtım merkezlerindeki stok ile aracı kullanmanın sabit ulaştırma maliyetleri toplamını minimize etmeye ilişkin amaç fonksiyonunun ifade etmektedir. Denklem(2) fabrikadaki dönem sonu stok miktarını, denklem(3) dağıtım merkezlerindeki dönem sonu stok miktarlarını ifade etmektedir. Denklem(4) fabrika için bozulabilir ürüne özgü, içinde bulunulan planlama dönemi ve akabindeki 10 günün talep miktarı toplamını gösteren stok zaman-talep kapasite kısıtını, denklem(5) dağıtım merkezleri için stok zaman-talep kapasite kısıtını, denklem(6) fabrika ve dağıtım merkezlerinin depolarındaki stok alan kapasite kısıtını göstermektedir. Denklem(4) ve denklem(5), denklem(6)nın sadece yer kısıtını tanımlamasının ötesinde, bozulabilir ürünün raf ömrünü aşmaya sebep olmayacak şekilde en fazla ne miktarda stoklanabileceğini ifade etmektedir. Denklem(7) fabrikanın maksimum üretim kapasite kısıtını, denklem(8) fabrikanın minimum üretim kapasite kısıtını ifade etmektedir. Denklem(9) ile t döneminde i dağıtım merkezine ürün gönderiliyorsa i dağıtım merkezine k aracı gidiş değişkeninin 1, yoksa 0 olması sağlanmaktadır. Denklem(10) aracın maksimum kapasite kısıtını göstermektedir. Denklem(11) t planlama döneminde her dağıtım merkezine en fazla 1 defa gidiş olması koşulunu ifade etmektedir. Denklem(12) aracın t planlama döneminde i dağıtım merkezlerinden en az birisini ziyaret etmesi halinde t döneminde k aracı kullanım değişkeninin 1; aksi halde 0 olmasını sağlamaktadır. Son olarak denklem(13) tam sayılı karar değişkenlerini, denklem(14) ise sürekli karar değişkenlerini tanımlamaktadır.

Modelin varsayımları: Bir fabrikada üretilen, yedi çeşit bozulabilir ürünün, beş kamyon kullanılarak, altı dağıtım merkezine dağıtımı için kurulan modelin varsayımları şöyledir:

- Modelde ürünün hem üretim hem de dağıtım planlaması, kısa dönemli programlama (operasyonel seviye) kapsamında ele alınmıştır.
- Dağıtım merkezlerinin fabrikaya ilettikleri aylık talep ve günlük sipariş miktarları deterministiktir.
- Dağıtım merkezlerinin tüm talebi karşılanmaktadır.
- Dağıtımda kullanılan araçların mülkiyeti üçüncü bir firmada olup, aracın yaptığı mesafeye göre değil, sefer sayısı için ücret ödenmektedir.
- Kullanılan araçlar eşit kapasitededir.
- Dağıtımda frigofrik(soğutucu özelliği olan) araçlar kullanılmakta ve dağıtım süresince ortam koşullarından dolayı bozulma olmadığı kabul edilmiştir.
- Dağıtıma çıkan araç ürünleri aynı gün teslim etmektedir.
- Fabrika ve dağıtım merkezi depolarında süre dışında bozulma nedenleri olmadığı kabul edilmiştir.
- Her planlama döneminde her dağıtım merkezine sadece bir kez gidilmektedir.
- Her planlama döneminde her araç sadece bir sefer yapmaktadır.
- Bozulabilir ürünün sabit raf ömrü vardır ve bu raf ömrü boyunca kullanım değeri değişmemektedir.

Modelin uygulandığı işletmenin tanıtımı:

Uygulama, gıda sektöründe süt ve süt ürünleri üreten bir firmada gerçekleştirilmiştir. Önerilen modelde ihtiyaç duyulan veriler, ikincil ve birincil veriler olarak firma içi kaynakların kullanımı, yüz yüze görüşme ve gözlem ile toplanmıştır. Çalışmaya konu olan modelin uygulama yapılan firma için tasarımı Şekil 1’de özetlenmiştir.



Şekil 1: Modelin ve Firmanın İşleyişi

Firma, sadece bir fabrikada üretim yapmaktadır. Çalışmada modele konu olan aromalı yoğurt ürün grubunda yedi ürün bulunmaktadır. Firmanın önceden belirlemiş olduğu üretim miktarı alt kısıtı 5.000 kg/gün ve üretim hattının günlük en fazla üretim sınırı 30.000 kg'dır. Sabit ve değişken üretim maliyetleri ürünün aromasına göre değişmektedir (bkz. Tablo 1). Birim stok tutma maliyetleri ise ürüne göre değişmemekte; ancak fabrika ve dağıtım merkezleri için farklılık göstermektedir. Kilogram başına günlük stok tutma maliyetleri ile fabrika ve dağıtım merkezlerinin depo alan kısıtları (palet olarak tanımlanan alan kg'a çevrilmiştir) Tablo2'de gösterilmiştir. Ürünlerin fabrika ve dağıtım merkezlerindeki planlama dönemi başı stok miktar bilgileri ise Tablo3'te görülmektedir. Ürünlerin fabrikadan altı dağıtım merkezine dağıtımını beş araç kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Araçların mülkiyeti başka bir firmaya aittir ve maliyet hesabında mesafe değil sefer sayısı dikkate alınmaktadır. Araçların sabit ulaşım maliyeti 115 TL, araç kapasiteleri eşit olup 6600kg'dır. Ürünlerin raf ömrü 30 gündür ancak dağıtım merkezleri ürün kendilerine ulaştığında raf ömrünün en az 2/3'ünün kalmış olmasını istediğinden raf ömrü 10 gün olarak kabul edilmiştir. Şirket dağıtım planını 10 günlük dönemlerde hazırladığından 10 günlük üretim ve dağıtım planı için model kurulmuştur. Ancak modeldeki zaman-talep stok üst kısıt hesaplamasında son planlama dönemini ve sonrasındaki 10 güne ihtiyaç duyulduğundan planlama evreni 21 gün kabul edilmiştir. Dağıtım merkezlerinin talepleri firmaya aylık olarak iletilmektedir. Çalışma kapsamında firma, talep bilgilerini aylık olarak iletmıştır (bkz. Tablo 4) Planlama birimi gün olduğundan aylık talep verileri MS Excel'in rassal sayı üretme fonksiyonu kullanılarak günlere dağıtılmış ve 21 günlük talep değerleri hesaplanarak modele aktarılmıştır (bkz. Tablo 5).

Tablo 1: Sabit ve Değişken Üretim Maliyetleri

	j_1	j_2	j_3	j_4	j_5	j_6	j_7
Sabit üretim maliyetleri fpc(j) TL	330	300	300	310	300	300	270
Değişken üretim maliyetleri vpc(j) (TL/kg)	3,43	2,71	2,75	3,10	3,05	2,97	2,61

Tablo 2: Stok Bulundurma Maliyetleri ve Depo Alanları

	i_0	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6
Stok tutma maliyeti h(i)TL/kg*gün	0,0004	0,000416	0,00042	0,000416	0,000413	0,000413	0,000407
Depo Alanı A(i) (kg)	49.500	1.220	3.800	1.320	1.240	6.660	9.000

Tablo 3: Planlama Dönemi Başında Fabrika ve Dağıtım Merkezlerindeki Stok Miktarları

Dönem başı stok (kg)		Ürünler						
		j_1	j_2	j_3	j_4	j_5	j_6	j_7
Fabrika / Dağıtım Merkezi	i_0	3000	7675	5360	3691	2163	4487	4905
	i_1	84	134	126	59	25	80	112
	i_2	34	123	100	43	50	76	93
	i_3	17	38	31	26	18	40	70
	i_4	21	41	29	27	26	17	46
	i_5	403	870	565	463	299	472	395
	i_6	434	1375	972	612	274	799	906

Tablo 4: Dağıtım Merkezlerinin Ürünler için Aylık Talep Tahminleri (kg)

Aylık Talep (kg)		Ürünler						
		j_1	j_2	j_3	j_4	j_5	j_6	j_7
Dağıtım Merkezleri	i_1	2.100	4.100	3.200	1.900	1.400	2.900	3.500
	i_2	1.600	3.200	2.600	1.450	1.100	2.600	2.900
	i_3	840	1.600	1.200	950	650	1.400	2.100
	i_4	620	1.400	850	800	1.100	1.000	1.600
	i_5	12.400	26.500	16.500	14.000	9.000	14.000	12.000
	i_6	13.340	40.900	28.880	18.200	8.450	24.100	27.500

Tablo 5: Dağıtım Merkezlerinin Ürünler için Tesadüfi Hesaplanan Günlük Talep Tahminleri

		Dönemler																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Dağıtım Merkezleri ve Ürünler	i1.j1	84	52	60	71	78	79	76	86	85	68	86	54	63	63	53	84	74	73	76	90	72
	i1.j2	134	126	135	131	116	137	118	140	126	132	120	132	115	134	121	111	133	130	118	140	115
	i1.j3	126	80	126	95	110	105	126	96	102	118	84	95	118	88	113	81	93	127	109	108	105
	i1.j4	59	52	59	52	52	54	57	54	58	56	58	60	50	52	51	53	59	50	54	55	59
	i1.j5	25	50	39	57	49	47	46	46	57	36	56	34	55	22	59	22	40	35	54	45	50
	i1.j6	80	84	100	80	70	77	82	91	74	95	74	77	79	94	74	85	90	87	85	99	76
	i1.j7	112	110	112	115	113	117	116	114	114	116	120	116	119	116	111	110	110	114	114	114	118
	i2.j1	34	62	34	66	49	57	42	37	35	30	32	50	60	40	68	38	46	37	69	31	63
	i2.j2	123	86	97	97	127	84	114	83	100	80	81	109	94	107	91	87	93	94	97	87	112
	i2.j3	100	93	84	91	85	90	74	94	94	70	90	68	98	88	91	96	76	98	78	97	74
	i2.j4	43	43	42	50	44	41	49	48	48	42	48	42	44	44	50	41	43	49	45	43	40
	i2.j5	50	49	38	49	28	43	48	45	47	48	45	24	41	23	34	31	46	50	20	48	42
	i2.j6	76	81	82	76	91	82	78	73	88	86	87	72	73	85	95	79	76	93	85	81	95
	i2.j7	93	91	94	90	94	92	92	93	93	91	90	92	90	92	95	93	95	92	93	94	93
	i3.j1	17	28	12	13	11	23	18	23	26	20	19	15	27	17	34	18	28	29	24	30	24
	i3.j2	38	49	47	52	58	60	65	64	48	53	37	39	64	52	49	35	59	59	41	55	38
	i3.j3	31	18	41	40	51	61	44	37	59	60	63	34	34	53	61	14	59	50	21	26	53
	i3.j4	26	35	28	27	33	33	29	26	29	35	35	29	25	28	34	29	34	28	30	32	30
	i3.j5	18	6	26	32	23	32	16	10	5	17	18	23	33	35	11	31	33	17	26	15	32
	i3.j6	40	55	33	37	50	43	45	34	42	41	41	27	54	25	52	49	44	52	60	35	45
	i3.j7	70	67	71	64	72	69	65	63	70	69	63	73	73	69	71	70	69	61	73	75	68
	i4.j1	21	25	20	24	24	16	21	25	22	21	25	22	12	25	18	11	20	14	11	25	12
	i4.j2	41	41	36	30	34	33	43	33	36	39	49	34	32	55	33	41	55	45	33	55	47
	i4.j3	29	17	28	16	28	25	30	25	25	26	16	16	18	25	26	18	28	15	24	15	19
	i4.j4	27	25	28	20	22	27	29	25	28	20	22	28	28	20	20	30	26	25	21	25	27
i4.j5	26	51	35	36	13	25	20	19	57	39	26	42	41	11	57	15	35	14	58	24	49	

		Dönemler																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Dağıtım Merkezleri ve Ürünler	i4.j6	17	18	31	41	16	41	43	38	36	34	37	32	19	17	22	25	38	32	44	42	42
	i4.j7	46	55	52	48	53	46	51	54	52	55	45	47	45	50	54	46	54	54	49	52	54
	i5.j1	403	409	395	420	378	416	382	378	398	413	417	403	404	375	403	390	379	389	371	370	394
	i5.j2	870	880	884	879	855	887	880	867	878	883	855	851	855	866	880	878	889	855	873	875	850
	i5.j3	565	543	571	537	562	529	557	547	547	526	553	547	558	558	563	533	554	550	573	561	544
	i5.j4	463	462	463	461	467	466	468	462	462	466	465	462	467	464	464	461	466	461	464	467	469
	i5.j5	299	305	309	320	300	280	320	284	281	307	295	298	295	285	308	308	297	317	313	298	282
	i5.j6	472	451	473	468	453	454	474	454	451	461	465	469	456	452	453	458	473	470	451	467	468
	i5.j7	395	403	405	400	405	398	405	401	401	395	397	404	405	405	395	399	405	405	400	405	402
	i6.j1	434	461	449	447	463	428	430	456	430	455	433	439	442	461	458	457	429	448	452	455	464
	i6.j2	1375	1352	1361	1350	1357	1366	1360	1378	1377	1351	1353	1364	1354	1368	1346	1356	1357	1357	1371	1354	1359
	i6.j3	972	972	964	967	967	949	972	966	959	972	946	968	972	965	948	969	945	970	950	955	947
	i6.j4	612	609	615	612	605	599	602	598	604	596	605	612	615	608	605	610	613	599	605	597	615
	i6.j5	274	289	274	289	284	290	273	279	283	288	277	288	277	278	275	287	280	288	282	272	279
	i6.j6	799	795	800	804	809	810	808	796	798	810	808	798	807	797	793	793	803	793	797	790	802
	i6.j7	906	908	915	909	908	909	910	913	914	914	915	912	906	907	911	908	913	914	914	907	915

4. Çözüm Yöntemi ve Çıktılar

Modelin çözüm aşamasında GAMS (Version 24.1.3) programı kullanılmıştır. Program, Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU T6400 @ 2.00GHz İşlemci ve (RAM) 4,00 GB Belleğe sahip bir bilgisayarda çalıştırılmıştır. 903 adet 0-1 değişken, 5586 adet sürekli değişken ve 7330 kısıttan oluşan minimizasyon modelinin mevcut durum ve farklı senaryoları için program her senaryo için tekrar çalıştırılmış, programın optimum sonucu bulmak için harcadığı işlem süreleri 1,5-5 dakika arası değişmiştir.

Firmanın mevcut durumu için model çözüldüğünde “10 günlük planlama dönemi için” sabit üretim, değişken üretim, stok ve araçların sabit kullanım maliyetleri toplamı için en iyi maliyet 518.664,10 TL olarak hesaplanmıştır. Toplam maliyetin bileşenleri: Sabit üretim maliyetleri toplamı: 4.820 TL, Değişken üretim maliyetleri toplamı: 508.881 TL, Fabrikadaki ve dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı: 363 TL, (Fabrikadaki stok maliyetleri toplamı: 294 TL), (Dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı: 69 TL) Araçların sabit kullanım maliyetleri toplamı: 4.600 TL'dir.

Tablo 6: Mevcut Durum için En Düşük Maliyetli Üretim Dağıtım Planı – Üret/Üretme Kararı

Üret/ üretim (Z _i)		Ürün						
		j1	j2	j3	j4	j5	j6	j7
Planlama Dönemi (t)	1	✓			✓			✓
	2							
	3					✓		
	4			✓			✓	
	5		✓					
	6	✓						
	7							
	8				✓			
	9		✓					
	10							

Tablo 6'dan da görüleceği üzere firma, mevcut durumda 2, 7 ve 10. günler üretim yapmamaktadır. 1.ürün (j1) 1. ve 6. gün, 2.ürün (j2) 5. ve 9. gün, 3.ürün (j3) sadece 4. gün, 4.ürün 1.ve 8., 5.ürün sadece 3., 6.ürün sadece 4. ve 7. ürün sadece 1. gün üretilmekte diğer günler talep stoklardan karşılanmaktadır. Üretim miktarları Tablo 7'de görülmektedir.

Tablo 7: Mevcut Durum için En Düşük Maliyetli Üretim Dağıtım Planı – Üretim Miktarları

Üretim miktarı ($P_{i,j}$)		Ürün						
		j1	j2	j3	j4	j5	j6	j7
Planlama Dönemi (t)	1	5.000			5.000			13.115
	2							
	3					6.544		
	4			1.611			10.562	
	5		10.217					
	6	12.062						
	7							
	8				15.816			
	9		15.223					
	10							

Mevcut durum çözüm sonucuna göre firmanın mevcut beş aracından hepsi sadece birinci ve dokuzuncu gün kullanılmakta, altıncı ve yedinci günler üç araç, beşinci gün iki araç, diğer beş gün ise sadece bir araç kullanılmaktadır.

Duyarlılık analizi; doğrusal programlama parametrelerinin, optimum çözümü değiştiren aralıklarının tespit edilmesi olarak özetlenebilir. Doğrusal programlama teorisi, formüle edilen her problemin gerçekte özgün problem (primal) ve onun ikizi (eşlek-dual) olarak adlandırılan iki problem olduğunu ifade eder. Doğrusal programlamadaki simetri özelliği nedeniyle dual problemin duali primal problem olmakta, primal ve dual problemler arasındaki ilişki ise gölge fiyat vb. yorum imkânı vermektedir. Ancak büyük ölçekli doğrusal programlama veya karma tam sayılı modellerin primal ve dual problemleri ve aralarındaki ilişkinin hesaplanışının oldukça karmaşık olması nedeniyle GAMS yazılımında, karma tam sayılı doğrusal programlama için duyarlılık analizi komutu sunulmamaktadır.

Mevcut modelinin parametrelerindeki değişikliklerin toplam maliyeti nasıl etkileyebileceğini görmek için model farklı senaryolarla yeniden çalıştırılmıştır. Bulunan toplam maliyetler Tablo8'de gösterilmiştir.

Tablo 8: Farklı Araç Sayıları İçin Toplam Maliyetler

	Toplam Maliyet
8 kamyon	522.882,77 TL
7 kamyon	518.546,33 TL
6 kamyon	529.100,33 TL
5 kamyon (mevcut durum)	518.664,10 TL
4 kamyon	519.405,88 TL
3 kamyon	532.361,99 TL
2 kamyon	Çözüm yok

Tablo 9: Büyük Kamyon Kullanılması Durumunda Farklı Araç Sayıları İçin Toplam Maliyetler

	Toplam Maliyet
8 kamyon	540.192.89 TL
7 kamyon	520.023.98 TL
6 kamyon	532.278.97 TL
5 kamyon	520.759.34 TL
4 kamyon	518.405.30 TL
3 kamyon	526.742.50 TL
2 kamyon	520.162.23 TL

Tablo 9'dan da görüleceği üzere büyük dört kamyonla dağıtım yapılması halinde toplam maliyetlerde ilk senaryodan daha iyi bir maliyet azalışı sağlanabilecektir.

Son senaryoda ise mevcut kullanılan veya büyük kamyonların belli doluluğa ulaşmadan sefere çıkmaması koşulu eklendiğinde oluşacak toplam maliyetler hesaplanmıştır. Bu senaryo için matematiksel modele araç minimum doluluk kısıtı eklenmiştir:

$$\sum_i \sum_j W_{i,k,t,j} \geq q_{min} \cdot Y_{k,t} \quad \forall k \in K, t \in T, j \in J \quad (15)$$

Model, hem mevcut büyüklükteki hem de daha büyük kamyon kullanılması durumlarında ve 3-8 kamyon için tekrar çalıştırılmış ve bulunan toplam maliyetler Tablo 10 ve Tablo 11'de Tablo gösterilmiştir.

Tablo 10: Taşıma Alt Kısıtlı Senaryoda Farklı Araç Sayıları İçin Toplam Maliyetler (En az ... ad palet yüklenmeden yola çıkılmaması)

	1 palet: 660 kg	2 palet: 1320 kg	3 palet: 1980 kg	4 palet: 2640 kg	5 palet: 3300 kg
8 kamyon	532.390,46 TL	525.967,60 TL	532.095,30 TL	538.065,56 TL	528.796,68 TL
7 kamyon	525.442,96 TL	523.168,35 TL	521.304,57 TL	533.071,71 TL	519.158,58 TL
6 kamyon	520.679,74 TL	521.142,17 TL	518.730,81 TL	532.744,92 TL	527.577,81 TL
5 kamyon	519.286,87 TL	522.162,21 TL	521.191,36 TL	528.613,35 TL	518.122,11 TL
4 kamyon	527.747,22 TL	517.985,20 TL	520.238,39 TL	540.109,37 TL	518.399,70 TL
3 kamyon	519.001,15 TL	531.306,93 TL	518.896,47 TL	527.295,99 TL	518.707,43 TL

	6 palet: 3960 kg	7 palet: 4620 kg	8 palet: 5280 kg	9 palet: 5940 kg	10 palet: 6600 kg
8 kamyon	535.727,05 TL	518.587,65 TL	517.624,52 TL	540.606,98 TL	Çözüm yok
7 kamyon	526.816,60 TL	533.621,12 TL	524.767,62 TL	523.218,32 TL	526.345,90 TL
6 kamyon	518.123,12 TL	519.249,44 TL	532.666,06 TL	523.314,21 TL	561.730,76 TL
5 kamyon	528.477,86 TL	518.861,20 TL	518.034,17 TL	556.021,24 TL	528.986,66 TL
4 kamyon	525.189,29 TL	518.457,87 TL	541.549,44 TL	518.047,41 TL	525.800,81 TL
3 kamyon	517.857,75 TL	517.750,61 TL	518.027,70 TL	522.346,01 TL	545.660,31 TL

Tablo 11: Taşıma Alt Kısıtlı Senaryo, Büyük Kamyon, Farklı Araç Sayıları için Toplam Maliyetler (En az ... ad palet yüklenmeden yola çıkılmaması)

	1 palet: 660 kg	2 palet: 1320 kg	3 palet: 1980 kg	4 palet: 2640 kg	5 palet: 3300 kg	6 palet: 3960 kg	7 palet: 4620 kg
8 kamyon	519.263,70 TL	529.936,72 TL	518.577,10 TL	526.712,52 TL	526.302,05 TL	527.062,77 TL	517.964,36 TL
7 kamyon	518.132,66 TL	517.869,13 TL	517.718,07 TL	517.461,46 TL	518.843,07 TL	519.736,60 TL	518.237,76 TL
6 kamyon	518.486,99 TL	518.874,52 TL	518.566,66 TL	528.133,81 TL	521.862,61 TL	542.304,29 TL	517.705,34 TL
5 kamyon	518.919,51 TL	5248.28,42 TL	5259.99,40 TL	518.317,33 TL	526.894,20 TL	517.900,13 TL	527.172,10 TL
4 kamyon	549.223,57 TL	518.513,52 TL	522.332,49 TL	529.394,20 TL	528.077,69 TL	522.152,77 TL	526.206,25 TL
3 kamyon	518.992,13 TL	518.277,21 TL	518.100,69 TL	518.100,69 TL	518.748,45 TL	517.671,80 TL	522.727,98 TL

	8 palet: 5280 kg	9 palet: 5940 kg	10 palet: 6600 kg	11 palet: 7260 kg	12 palet: 7920 kg	13 palet: 8580 kg	14 palet: 9240 kg	15 palet: 9900 kg
8 kamyon	526.915,57 TL	523.294,95 TL	519.847,56 TL	520.036,86 TL	527.475,10 TL	522.304,83 TL	517.941,58 TL	547.186,04 TL
7 kamyon	531.125,96 TL	518.899,85 TL	518.579,54 TL	531.304,55 TL	518.584,09 TL	518.714,14 TL	558.280,90 TL	543.536,42 TL
6 kamyon	517.988,85 TL	529.053,06 TL	519.237,88 TL	518.163,40 TL	520.297,99 TL	535.192,38 TL	565.456,28 TL	544.038,63 TL
5 kamyon	520.528,05 TL	519.042,56 TL	518.297,46 TL	549.205,01 TL	517.981,09 TL	518.429,35 TL	524.980,99 TL	545.724,27 TL
4 kamyon	518.437,46 TL	522.120,48 TL	518.173,33 TL	526.297,19 TL	518.303,76 TL	526.663,05 TL	529.626,32 TL	544.144,63 TL
3 kamyon	518.969,92 TL	530.118,17 TL	521.183,75 TL	519.517,79 TL	518.847,39 TL	5188.38,18 TL	518.306,57 TL	543.519,84 TL

Denenen tüm farklı senaryolardan görülmektedir ki firma, mevcut büyüklükteki kamyonlar yerine büyük kamyonlardan yedi tane kullanarak ve kamyonlara dört palet (2640 kg) dolmadan yola çıkmama koşulu uyguladığında üretim ve dağıtım maliyetleri en düşük olacaktır: 517.461 TL. Toplam maliyetin bileşenleri; Sabit üretim maliyetleri toplamı: 4.220 TL, Değişken üretim maliyetleri toplamı: 508.881 TL, Fabrikadaki ve dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı: 400 TL, (Fabrikadaki stok maliyetleri toplamı: 307 TL), (Dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı: 93 TL) ve araçların sabit kullanım maliyetleri toplamı: 3.960 TL. Mevcut yöntem ile önerilen yöntemin toplam maliyetini oluşturan alt maliyetler karşılaştırıldığında görülmektedir ki, fabrikadaki ve dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı 37 TL artmış; fakat buna karşın sabit üretim maliyetleri toplamı 600 TL ve araçların sabit kullanım maliyetleri toplamı 640 TL azalmıştır. Değişken üretim maliyetleri toplamında ise, üretilen miktar değişmediğinden, bir değişim olmamıştır.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada bozulabilir ürünler için birleşik bir üretim ve dağıtım planlama modeli önerilmiştir. Önerilen birleşik üretim ve dağıtım planlama modeli Türkiye’de süt ve süt ürünleri üreten bir firmada uygulanmış, modelin çözüm sonucunda elde edilen çıktılar yorumlanmış ve farklı senaryolar için model denenerek mevcut durumdan daha iyi bir üretim ve dağıtım planı bulunmuştur.

Bir fabrikada üretilen, yedi çeşit bozulabilir ürünün, beş kamyon kullanılarak, altı dağıtım merkezine dağıtımı için kurulan modelin amacı toplam üretim, dağıtım ve stok maliyetlerini (sabit üretim, değişken üretim, fabrikadaki stok, dağıtım merkezindeki stok ve aracı kullanmanın sabit ulaştırma maliyetleri toplamı) aynı anda en az (minimum) yapmaktır. Modelde cevap aranan değişkenler; her bir planlama döneminde her bir üründen üretilip üretilmeyeceği, eğer üretim yapılması kararı verildiyse o üründen o planlama döneminde ne miktarda üretileceği, her bir planlama döneminde her bir aracın kullanılıp kullanılmayacağı ve her bir planlama döneminde her bir üründen her bir dağıtım merkezine hangi araç ile ne kadar gönderileceğidir.

Önerilen karma tam sayılı programlama modeli, GAMS programı ile firmanın mevcut durumu için çözülmüş ve “10 günlük planlama dönemi için” sabit üretim, değişken üretim, stok ve araçların sabit kullanım maliyetleri toplamı için en iyi maliyet 518.664 TL olarak hesaplanmıştır. Karma tam sayılı programlamama modelleri duyarlılık analizine uygun olmadığından, mevcut modelin parametrelerindeki değişikliklerin toplam maliyeti nasıl etkileyebileceğini görmek için model farklı senaryolarla yeniden çalıştırılmıştır.

İlk grup senaryoda işletmenin kamyon kısıtı farklı sayılar için denenmiştir, Mevcut durumdaki beş kamyon yerine eş kapasitede yedi kamyon kullanılarak dağıtım yapılması durumunda, kamyonların bir satın alma maliyeti söz konusu olmadığından, toplam üretim ve dağıtım maliyetlerinin azaldığı görülmüştür. Bir diğer senaryo olarak mevcut kamyonlardan daha büyük kamyonların kullanılması halinde oluşacak toplam maliyetler hesaplanmıştır. Büyük dört kamyonla dağıtım yapılması halinde toplam maliyette ilk senaryodan daha iyi bir maliyet azalışı sağlanabilmiştir. Son senaryoda ise mevcut kullanılmakta olan veya büyük kamyonların belli doluluğa ulaşmadan dağıtıma çıkması koşulu eklendiğinde oluşacak toplam maliyetler hesaplanmıştır. Buna göre firma, mevcut büyüklükteki kamyonlar yerine büyük kamyonlardan yedi tane kullanarak ve kamyonlara dört palet dolmadan yola çıkmama koşulu uyguladığında üretim ve dağıtım maliyetleri en düşük olmuştur. Mevcut yöntem ile önerilen yöntemin toplam maliyetini oluşturan alt maliyetler karşılaştırıldığında görülmektedir ki, değişken üretim maliyetleri toplamında, üretilen miktar değişmediğinden, bir değişim olmamıştır. Fabrikadaki ve dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı artmış fakat buna karşın sabit üretim maliyetleri toplamı ve araçların sabit kullanım maliyetleri toplamı azalmıştır.

Üretim ve dağıtımın ayrı modellerle planlanması durumunda, sadece sabit ve değişken üretim ile stok maliyetleri toplamı dikkate alınarak üretim planlaması yapıldığında, stok maliyetlerinin daha düşük olması nedeniyle üretim bölümü ilk senaryoyu tercih edebilecektir. Dağıtım bölümü ise üretimin bu kararını veri olarak ayrı bir modelle dağıtımını planlayacaktır. Oysa çalışmanın sonuçlarından

görülmektedir ki, üretim ve dağıtım aşamaları ortak modelde planlandığında, tedarik zinciri bütününde bazı maliyetlerin bir miktar artması, diğer bazı maliyetlerde çok daha büyük azalma imkânı sunabilmektedir. Bu çalışmanın sonucuna göre, üretim ve dağıtım aşamalarının ayrı modeller yerine önerilen birleşik model ile planlanmaları, tedarik zincirindeki fabrika ve dağıtım merkezlerinin toplam maliyetlerinin azalmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmada, araçlar kullanıldıkları mesafeye göre değil, kullanım sıklıklarına göre ücretlendirildiğinden dağıtım maliyetleri aracı kullanmanın sabit ulaşım maliyetleri ile hesaplanmıştır. İleriki çalışmalarda araçların sabit kullanım maliyetlerine mesafeye göre değişken maliyetler de eklenerek model geliştirilebilir. Ayrıca ileriki çalışmalarda satış operasyonları da dâhil edilerek birleşik üretim, dağıtım ve satış planlama modeli geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

- Ahumada, O. & Villalobos, J. R. (2011). A tactical model for planning the production and distribution of fresh produce. *Annals of Operations Research*. 190 (1), 339-358.
- Aktaş, A. & Temiz, İ. (2020). Goal Programming Model for Production-Distribution Planning by Considering Carbon Emission. *Gazi University Journal of Science*. 33 (1), 135-150.
- Amorim, P., Bello-Filho, M.A.F., Toledo, F.M.B., Almeder, C. & Almada-Lobo, B. (2013). Lot sizing versus batching in the production and distribution planning of perishable goods. *International Journal of Production Economics*. 146 (1), 208-218.
- Amorim, P., Günther, H.O. & Almada-Lobo, B. (2012). Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products. *International Journal of Production Economics*. 138 (1), 89-101.
- Amorim, P., Meyr, H., Almeder, C. & Almada-Lobo, B. (2013) Managing perishability in production-distribution planning: a discussion and review. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 25 (3), 389-413.
- Bank, M., Mazdeh, M. & Heydari, M. (2020). Applying meta-heuristic algorithms for an integrated production-distribution problem in a two level supply chain. *Uncertain Supply Chain Management*. 8 (1), 77-92.
- Bilgen, B. & Guenther, H. O. (2010). Integrated production and distribution planning in the fast moving consumer goods industry: a block planning application. *OR Spectrum*. 32(4), 927-955. DOI 10.1007/s00291.009.0177-4
- Boudia, M., Louly, M. A. O. & Prins, C. (2008). Fast heuristics for a combined production planning and vehicle routing problem. *Production Planning & Control*. 19 (2), 85-96.
- Çetinkaya, S., Üster, H., Easwaran, G. & Baris Keskin, B. (2009). An Integrated Outbound Logistics Model for Frito-Lay: Coordinating Aggregate-Level Production and Distribution Decisions. *Interfaces*. 39 (5), 460-475.
- Chandra, P. & Fisher, M.L. (1994). Coordination of production and distribution planning. *European Journal of Operational Research*. 72 (3), 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*. 36 (7), 2311-2319.
- Chen, M. & Wang, W. (1997). A linear programming model for integrated steel production and distribution planning. *International Journal of Operations & Production Management*. 17 (6), 592-610.

- Devapriya, P., Ferrell, W. & Geismar, N. (2017). Integrated production and distribution scheduling with a perishable product. *European Journal of Operational Research*. 259 (3), 906-916.
- Dhaenens-Flipo, C. & Finke, G. (2001). An integrated model for an industrial production-distribution problem. *IIE Transactions*. 33 (9), 705-715.
- Duni Ekşioğlu, S. & Jin, M. (2006). Cross-Facility Production and Transportation Planning Problem with Perishable Inventory. *Computational Science and Its Applications – ICCSA*. 3982, 708-717
- Farahani, P., Grunow, M. & Guenther, H.O. (2012). Integrated production and distribution planning for perishable food products. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 24 (1), 28-51.
- Federgruen, A., Prastacos, G. & Zipkin, P.H. (1986). An allocation and distribution model for perishable products. *Operations Research*. 34 (1), 75-82.
- Fumero, F. & Vercellis, C. (1999). Synchronized development of production, inventory, and distribution schedules. *Transportation Science*. 33 (3), 330-340.
- Geismar, H. N., Laporte, G. & Le, L. Sriskandarajah, C. (2008). The integrated production and transportation scheduling problem for a product with a short lifespan. *INFORMS Journal on Computing*. 20 (1), 21-33.
- Jayaraman, V. & Pirkul, H. (2001). Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities. *European Journal of Operational Research*. 133 (2), 394-408.
- Kopanos, G.M., Puigjaner, L. & Georgiadis, M.C. (2012). Simultaneous production and logistics operations planning in semicontinuous food industries. *Omega*. 40 (5), 634-650.
- Lacomme, P., Moukrim, A., Quilliot, A. & Vinot, M. (2018). Supply chain optimization with both production and transportation integration: multiple vehicles for a single perishable product. *International Journal of Production Research*. 56 (12), 4313-4336.
- Lee, Y. H. & Kim, S. H. (2002). Production-distribution planning in supply chain considering capacity constraints. *Computers & Industrial Engineering*. 43 (1-2), 169-190.
- Li, Y., Chu, F., Côté, J.F., Coelho, L. & Chu, C. (2019). The multi-plant perishable food production routing with packaging consideration. *International Journal of Production Economics*. 221. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.08.007>.
- Liu, L. & Liu S. (2020). Integrated Production and Distribution Problem of Perishable Products with a Minimum Total Order Weighted Delivery Time. *Mathematics*. 8 (2), 146. <https://doi.org/10.3390/math8020146>.
- Marandi, F. & Zegordi, S. H. (2017). Integrated production and distribution scheduling for perishable products. *Scientia Irenica*. 24 (4), 2105-2118.
- Meneses, A., Amorim, P., Almada-Lobo B. & Almeder, C. (2011). Integrating lot sizing and scheduling with the vehicle routing problem: A special look into perishable products. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Lot Sizing*. Istanbul, Turkey. 55-59.
- Moon, I., Yoon, J. J. & Saha, S. (2016) Fuzzy bi-objective production-distribution planning problem under the carbon emission constraint. *Sustainability*. 8 (8), 798-815
- Ngoc, M. H. & Nananukul, N. (2016). Integrated Production and Distribution with Perishability Management in Logistics System. *Conference Paper: International Conference on Trends in Multidisciplinary Business and Economic Research*. 3. 120-127.
- Park, Y.B. (2005). An integrated approach for production and distribution planning in supply chain management. *International Journal of Production Research*. 43 (6), 1205-1224.

- Pauls-Worm, K.G.J., Hendrix, E.M.T., Haijema, R. & Van der Vorst, J. (2014). An MILP approximation for ordering perishable products with non-stationary demand and service level constraints. *International Journal of Production Economics*. 157, 133-146.
- Rong, A. & Grunow, M. (2010). A methodology for controlling dispersion in food production and distribution. *OR Spectrum*. 32 (4), 957-978.
- Rong, A., Akkerman, R. & Grunow, M. (2011). An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain. *International Journal of Production Economics*. 131 (1), 421-429.
- Sarrafa, K., Kazemi, A. & Alinezhad, A. (2014) A multi-objective evolutionary approach for integrated production-distribution planning problem in a supply chain network. *Journal of Optimization in Industrial Engineering (JOIE)*. 7 (14), 89-102.
- Seyedhosseini, M. & Ghoreyshi, S. M. (2014). An integrated model for production and distribution planning of perishable products with inventory and routing considerations. *Mathematical Problems in Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2014/475606>.
- Sirelson, V. & Brodheim, E. (1991). A Computer Planning Model for Blood Platelet Production and Distribution, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 35 (4), 279-291 DOI: 10.1016/0169-2607(91)90006-F
- Torabi, S. A. & Moghaddam, M. (2012). Multi-site integrated production-distribution planning with transshipment: a fuzzy goal programming approach. *International Journal of Production Research*. 50 (6), 1726-1748.
- Yan, C., Banerjee, A. & Yang, L. (2011). An integrated production-distribution model for a deteriorating inventory item. *International Journal of Production Economics*. 133 (1), 228-232.
- Yılmaz, E. & Bilgin, E. (2019). Çok kademeli bir tedarik zinciri ağı için üretim-dağıtım ve tersine lojistik planlaması. *R&S-Research Studies Anatolia Journal*. 2(4), 55-71.
- 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*. 44 (9), 928-939.

INTEGRATED PRODUCTION AND DISTRIBUTION PLANNING FOR PERISHABLE PRODUCTS*

Elif BİLGİN^{**} 
Necdet ÖZÇAKAR^{***} 

The product goes through many phases from raw material to the customer. In all of these phases, which we can list as raw material supplier, producer, distribution, retail and customer, cost arises as much as value is created. In order to minimize production and distribution costs, both phases are separately planned, and it is aimed to minimize their costs. While production planning deals with the production of requested quantity and quality of the product at the requested time with minimum cost, distribution planning is concerned with the delivery of the finished product to the customer at the requested time and quantity with minimum cost. Distribution planning is important for costs as well as product quality and meeting customer expectations. When the product produced and distributed is perishable, then distribution planning can affect not only the costs but also the quality and sometimes the price of the product through the speed and effectiveness of the distribution. Production and distribution have been accepted as separate planning phases in the literature and practice so far, and these two phases have been tackled as separate models. However, since these are two decisions that affect each other dependently, an integrated production-distribution planning will yield much healthier and more efficient results. Particularly when the subjected product is a perishable product of which quality and value decrease over time, such as food products, agricultural products, blood, ready-mixed concrete, etc. when and how much it will be produced and when and how it will be distributed will affect each other conjointly.

The purpose of this study is to provide an integrated production and distribution planning model that minimizes total production, distribution, and inventory costs (total costs of fixed production,

* This article is derived from the PhD thesis “Integrated production and distribution planning for perishable products” of Elif BİLGİN (Istanbul University, December 2018, Nr. 612378)

** Marmara University, Department of Business Administration

*** Istanbul University, Department of Business Administration

variable production, inventory in the plant, inventory in distribution centers and fixed transportation costs of using the vehicle) for perishable products simultaneously.

In the study, following the introduction section, a literature review is done and the studies on the integrated production and distribution planning in literature were studied separately for perishable and non-perishable products. In the third section a mixed integer linear programming model for the integrated production and distribution planning is formulated. The proposed model considers a supply chain consisting of a production facility and multiple distribution centers. The facility produces multi perishable products with fixed shelf-life and delivers using equal capacity vehicles to distribution centers.

The objective of the model is to minimize the total costs of production, distribution, and inventory (total costs of fixed production, variable production, inventory in the plant, inventory in distribution centers and fixed transportation costs of using the vehicle) simultaneously. In the model, there are seven different kind of perishable products which are produced in one facility and distributed to six distribution centers by using five vehicles.

The decisions variables in the model are, whether to produce from each product in each planning period or not, if it is produced then the production quantities of each sort of product, whether to use each vehicle in each planning period, how much to send to each distribution center from each product in each planning period by using each vehicle.

In ordinary models for non-perishable products, the inventory levels are only restricted by the physical storage capacities, while in the proposed model, there are both a perishability constraint and a physical storage capacity constraint. This distinctive perishability constraint is defined through upper limits for inventory levels at production facility and distribution centers for each product and period. This inventory upper limit for production facility in planning period t for product j is equal to the sum of all distribution centers' demands for that product in that period and the next shelf-life planning periods. Similarly, the inventory upper limit for product j in distribution center i in planning period t is equal to the sum of its demands in that period and next shelf-life planning periods.

Proposed integrated production and distribution planning model has been practiced in a company that produces milk and dairy products in Turkey. This mixed integer linear programming model is solved using GAMS.

The model was initially solved for the current state of the company and the minimum total costs of fixed production, variable production, inventory, and the fixed usage of the vehicles is calculated for the "10-day planning period".

Since the mixed integer linear programming models are not appropriate to sensitivity analysis, the model has been re-run for different scenarios to see how the total costs would be affected as the parameters of the model alternate.

In the first group of scenarios, the vehicle constraint was tried for different numbers. In the case that using seven trucks of equal capacity instead of five for distribution, it is observed that the total production and distribution costs decreased because there are no purchasing costs for vehicles. In another group of scenarios, the total costs are computed for the case of using bigger vehicles. This trial resulted in much better cost decrease. As the last group of scenarios, it is added minimum capacity usage constraint for the vehicles. Due to this added constraint, total production and distribution costs could be further decreased.

When the sub-costs that generate the total costs of the proposed method and the current method are compared, it is seen that there is no difference in the total production costs, since the production quantity did not change. Total inventory costs both in production facility and distribution centers are increased. In return, total fixed production cost and transportation costs of using the vehicles are decreased.

In case of production and distribution are planned separately, the production department would prefer the first scenario due to decreased inventory costs. The distribution department would have to plan the distribution with a separate model based on this decision of the production department. However, it can be seen from the results of the study that when the production and distribution phases are planned in an integrated model, increase in some costs might enable further decrease in some cost through the entire supply chain.

According to the result of this study, integrated production and distribution planning will reduce the total costs for factories and distribution centers in the supply chain.