



Covid-19 Pandemisi Sürecinde Hijyen Ürünleri Üreten Bir Firmada Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı

Şebnem Demirkol Akyol^{1*}

^{1*} Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6106-388X), sebnem.demirkol@deu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 18 Şubat 2022 ve Kabul Tarihi 7 Nisan 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1075942)

ATIF/REFERENCE: Akyol, S.D. (2022). Covid-19 Pandemisi Sürecinde Hijyen Ürünleri Üreten Bir Firmada Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35), 387-394.

Öz

Ekonomik anlamda küreselleşmenin bir sonucu olarak, tedarik zinciri yönetiminin rekabet gücü üzerindeki önemi daha da anlam kazanmıştır. Uygun tedarik zinciri ağı tasarımı sayesinde ciddi avantajlar elde etmek mümkündür. Tedarik zinciri ağ yapısında yer alan ve sevk edilmek üzere bekleyen ürünlerin, fabrika ve dağıtım merkezlerinin lokasyonları arasındaki fiziksel hareketlerinin belirlenmesi, stratejik seviyede ele alınması gereken bir konudur. Stratejik seviyede kararlar alınmadan yönetilen tedarik ağları, yeterli olmayan dağıtım süreçlerine ve dolayısıyla da ekonomik başarısızlıklara yol açmaktadır. Bu bağlamda, tedarik zinciri ağı tasarımı hem günümüz rekabet koşullarında başarılı olmak isteyen işletmeler, hem de bilimsel çalışmalar yapan araştırmacılar tarafından ilgi duyulan bir konudur. Ayrıca, Covid-19 virüsünün hızla tüm dünyaya yayılmasıyla birlikte, 2020 yılında Dünya Sağlık Örgütü tarafından pandemi ilan edilmiştir. Özellikle pandeminin ilk safhaları bilinmezliklerle dolu olduğundan tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de panik havası oluşmuş, hijyen ürünlerine talep dramatik olarak artmış ve tedarik zincirinde aksamalar ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, hijyen ürünleri imalatı yapan bir fabrikanın pandemi sürecinde ortaya çıkan tedarik zinciri ağı tasarımı problemi ele alınmıştır. Ortaya konan problemin amacı, dağıtım ve toplama süreçlerinde ortaya çıkan maliyetleri enküçükmektir. Çalışma kapsamında, İzmir Torbalı'da faaliyet gösteren bir imalat firması, farklı şehirlerdeki tedarikçilerden elde ettiği hammaddelerle üretim yapmakta; sonrasında ise nihai ürünlerini farklı dağıtım merkezlerine sevk etmektedir. Problemin çözümü için bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiş ve Lingo çözücüsü kullanılarak çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar firma yöneticilerine sunulmuş ve firma tarafından uygulanmaya başlanmıştır. İşletme, yeni tasarlanan bu tedarik zinciri ağı yapısını kullanarak maliyetlerinde yaklaşık %3'lük bir azalma sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Tedarik zinciri yönetimi, Optimizasyon, Doğrusal programlama.

Supply Chain Network Design in a Hygiene Product Manufacturing Company During the Covid-19 Pandemic

Abstract

The importance of supply chain management on competitiveness has increased as a result of economic globalization. It is possible to get significant advantages with the proper supply chain network design. Determining the physical movements of products in the supply chain network structure is an issue that needs to be addressed at the strategic level. Supply networks that are managed without decisions at the strategic level lead to inefficient distribution processes and thus to economic failures. In this context, supply chain network design is of interest to both businesses seeking to succeed in today's competitive environment and researchers conducting scientific studies. Moreover, the World Health Organization declared the Covid-19 virus a pandemic in 2020 due to its rapid spread all over the world. Since the early stages of the pandemic were unknown, an atmosphere of panic has occurred in our country as well as all over the world, and demand for hygiene products has increased dramatically, causing supply chain disruptions. The supply chain network design problem that emerged during the pandemic process of a factory producing hygiene products is discussed in this paper. The purpose of the proposed problem is to minimize the costs associated with the distribution and collection processes. In this study, a manufacturing company operating in Torbalı, İzmir is examined. The company produces hygiene products by using raw materials which are obtained from suppliers in different cities. Then, the company ships its finished products to various distribution centers. A linear programming model is developed to tackle with the proposed problem and it is solved via Lingo solver. The obtained results are presented to the company managers, and they are started to be implemented by the company. The company has saved almost 3% of its costs by implementing this newly proposed supply chain network structure.

Keywords: Supply chain management, Optimization, Linear programming.

* Sorumlu Yazar: sebnem.demirkol@deu.edu.tr ; sebnemdemirkol@gmail.com

1. Giriş

Günümüzde müşteriler, hizmet standartları ve ürün özellikleri konusunda çok seçicidirler. Kalitesi yüksek ve fiyatı uygun ürünler, ürün ailelerinin çok çeşitli olması, hızlı ve başarılı hizmet bunlardan sadece bazılarıdır. Bu nedenle firmalar tüm değişkenlerle uyum içerisinde çalışan sistemleri tercih etmektedir. Tedarik zinciri yönetimi (TZY) bu yönetim sistemlerinden biridir. TZYnde gerekli olan tüm faaliyetler müşteri istekleri de göz önünde bulundurularak koordineli bir şekilde yönetilmektedir. Dikkat edilmesi gereken asıl önemli konu firmanın elindeki kaynakları en verimli şekilde kullanarak, müşteri memnuniyetini sağlamaktır. TZY tedarikçiden hammadde temin edilmesinden başlayarak, üretim yerlerinde hammaddeleri nihai ürüne dönüştürmeyi kapsayan ve dağıtım merkezleri aracılığıyla ürünleri müşterilere ulaştıran tüm eylemleri kapsamaktadır.

TZY kavramı ilk defa Oliver ve Webber (1982) tarafından tanımlanmıştır. TZY, en basit haliyle, işletme sınırlarının ötesinde, tedarikçi ile müşteri arasındaki bağlantıyı sağlayan lojistik faaliyetler bütünü olarak ifade edilebilir (Özdemir-Güngör, 2021). Çomaklı Sökmen ve Yılmaz (2021) tarafından yapılan çalışmada web of science veri tabanında yöneylem araştırması ile ilgili yapılan bilimsel çalışmaların bibliyometrik analizi yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucuna göre arama motorunda en çok arana anahtar kelime TZY olarak bulunmuştur. Bu sonuç, TZY konusunun on yıllardır oldukça popüler bir araştırma alanı olduğunu ortaya koymaktadır.

TZY ile ilgili öncül çalışmalardan biri Cohen ve Lee (1989) tarafından yapılmıştır. Yazarlar malzeme kontrol işlemlerinin optimizasyonu, seri üretim süreci, nihai ürün stok durumu ve dağıtım süreci dahil olmak üzere bir çok stokastik alt model geliştirmişlerdir. Bu alt modeller bir dizi değişken kullanılarak birbirine bağlanır ve birbirleriyle ilişkilidir. Çözüm yöntemi olarak karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama uygulamışlardır. Problemin amacı, dağıtım merkezleri ve üretim yerleri için karı enbüyüklemektir. Cohen ve Moon (1991) ise, bir imalat firmasında üretim akışının ve tedarik zincirinin en iyi sonucu için karışık tam sayılı konkav bir model geliştirmişlerdir. İlerleyen yıllarda küresel TZY kavramı gündeme gelmiştir (Amstzen vd., 1995). Yazarlar, kapsamlı dağıtım ve üretim kararlarıyla tedarik zincirleri için çok ürünli malzeme tasarımı içeren karışık tamsayılı doğrusal bir program ortaya koymuşlardır. Önerilen küresel TZY, maliyet, malzeme, vergi, talep gibi girdileri kullanarak envanter, üretim, dağıtım ve malzeme taşıma maliyetlerini enbüyüklemeyi hedeflemektedir. Çalışmanın sonucu olarak, dağıtım merkezlerinin lokasyonları ve sayıları belirlenmiştir. Stenger vd. (2001) tedarik zincirinin performansına etki edebilecek tahmin hatası, planlama sıklığı, süreçlerin iletişimi gibi bazı faktörlerin etkilerini incelemiştir. Simülasyon modeliyle beraber vaka çalışması uyarlaması olan veriler ile birlikte bu üç parametrenin üçünün de tedarik zinciri performansı üzerindeki etkisinin önemli bir boyutta olduğu ortaya çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar, tahmin hatalarının artışı ve sık yapılan planlamalar neticesinde hizmet kalitesinin düştüğünü, yatırımların geri dönüşünün azaldığını ve tekrar süresini arttırdığını göstermiştir. Paksoy (2005) Türkçe yazında öncü bir çalışmaya imza atmış ve malzeme ihtiyaç kısıtı altında TZY dağıtım ağı tasarlamıştır. Yazar, önerilen problemi çözmek amacıyla karma tamsayılı bir matematiksel model geliştirmiştir.

Wang (2009) eğer bir tedarik zincirinde üretim kayıpları bulunuyorsa, bunu *hatalı tedarik zinciri* kavramı olarak

açıklamıştır. Hatalı tedarik zinciri ağ sisteminde ortak seçim ve dağıtım-üretim planlaması problemi geliştirerek karınca kolonisi algoritması ile çözmüştür. Espuna vd. (2012) TZY problemini çözmek amacıyla bir karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Önerdikleri çözüm yaklaşımını, çok ürünli tesisleri, depolama merkezleri ve tüketicilere dağıtımını içeren bir vaka çalışması yaparak anlatmışlardır. McGinnis vd. (2013) uçak kanadı üretimi yapan bir işletme için tedarik zinciri ağı tasarlamışlardır. Önerilen karma tam sayılı doğrusal modelde amaç, ağın maliyetini enbüyüklemektir. Elde edilen sonuçlar, üretim sahalarının lokasyonlarını, kapasitelerini ve ağ içindeki taşıma yollarını ortaya koymuştur. Leal ve Reis (2015), Güney Amerika'da yetiştirilen soya fasulyesinin tedarik zincirini eniyilemişlerdir. Kurguladıkları modelde çeşitli senaryoları deneyerek, alternatifler arasından eniyiyi seçmişlerdir. Baki (2019) Türkiye'de faaliyet gösteren imalat, tekstil, gıda, lojistik gibi farklı sektörlerde görev alan yönetici ve uzmanlarla çalışarak, bilgi teknolojileri ve üst yönetim desteğinin TZY performansını üzerindeki etkisini incelemiştir. Elde edilen sonuçlar, bilgi teknolojilerinin şirket içi entegrasyonu artırdığını, ancak bu entegrasyonun TZY performansı üzerinde önemli bir etkisi olmadığını göstermiştir. Ayrıca, üst yönetim desteği ve bilgi paylaşımının TZY performansına olumlu etkisi olduğu belirtilmiştir. Sanei vd. (2020) maliyet ve kısıt parametrelerinin aralık içerisinde sayılardan oluştuğu, belirsizlik içeren tek ürünli bir sistemi ele almışlardır. Çözüm yöntemi olarak iki aşamalı tedarik zinciri ağı tasarlayarak CPLEX yazılım paketi yardımıyla çözmüşlerdir. Önerilen çözüm yaklaşımı küçük boyutlu problemler için iyi sonuçlar elde etmekle birlikte, büyük boyutlu problemlerin çözümü için uygun değildir. Yazarlar, bu tarz problemler için sezgisel yaklaşımlar geliştirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Gelmez (2020) TZY'nde son yıllarda popüler olan *yeşil* uygulamaları ele almıştır. Yazar, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren işletmeleri inceleyerek yeşil tedarik zinciri uygulamaları, çevresel performans ve işletme performansı arasındaki ilişkileri ortaya koymuştur. Erdil (2021) TZY'ni kalite fonksiyonu açısından araştırmış ve mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede uygulama çalışması yapmıştır.

Yukarıda detayları verilen çalışmalardan da açıkça görüleceği üzere, TZY konusu on yıllardır bilimsel yazında önemle incelenmiştir. Oldukça farklı vakalar üzerinde çalışmalar yapılarak, TZY hemen hemen her sektöre uyarlanmıştır. Özellikle 2020 yılında dünyayı etkisi altına alan Covid-19 pandemisi neticesinde farklı sektörlerde ait tedarik zincirleri farklı şekillerde etkilenmiştir. Chowdhury vd. (2021) Covid-19 pandemisinin farklı tedarik zincirleri üzerindeki etkilerini ortaya koyan bir derleme makalesi sunmuşlardır. 28 Eylül 2020 tarihine kadar yayınlanmış olan 74 adet pandemi koşullarında TZY konulu çalışmayı incelemiştir. Yapılan bu derleme çalışması ile temel tüketim maddeleri ve sağlık ürünlerine olan talebin aşırı artması sonucu oluşan tedarik zinciri sorunlarına çözüm yaklaşımları ortaya konulmuştur. Goodarziyan vd. (2021) Covid-19 pandemisi sürecinde ilaç endüstrisinin tedarik zincirini ele almışlardır. Bozulma riski bulunan Covid-19 ilaçları için çok amaçlı, çok katmanlı ve çok periyotlu bir tedarik zinciri ağı tasarlamışlardır. Önerilen problemin çözümünde karınca kolonisi optimizasyonu, balık sürü algoritması ve ateş böceği algoritması yöntemlerini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar, balık sürü algoritmasının daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Nagurney (2021) Covid-19 pandemisi sürecinde tedarik zincirlerinde işgücünün etkisini araştırmıştır. Yazar, pandemi hastalığa yakalanma korkusu, hastalanma, ölüm, sosyal/fiziksel mesafe zorunluluğu gibi çok çeşitli sebeplerden ötürü işgücü kayıpları

yaşandığını belirtmiştir. Yazar, tedarik zincirlerinde işgücünün ulaşım, depolama ve dağıtımda kullanılan oldukça önemli bir kaynak olduğunu belirtmiş ve verdiği örnek modellerde işgücünü de göz önünde bulundurmıştır.

Bu çalışmada ele alınan işletme cerrahi maske, lateks eldiven, el dezenfektanı, yüzey dezenfektanı ve ıslak mendilden oluşan hijyen kitleri üreten bir firmadır. Pandemi etkisiyle talepte oluşan ani artışı karşılamak amacıyla uygun bir tedarik zinciri ağı tasarlanması problemi ortaya çıkmış olması, bu çalışma için motivasyon olmuştur. Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde problemin formal tanımı verilmiş ve geliştirilen çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Üçüncü bölümde elde edilen sonuçlara yer verilmiş ve bu sonuçlar hakkında yorumlar yapılmıştır. Son olarak, dördüncü bölümde yapılan çalışmanın sonucu ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalar açıklanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Problemin Tanımı

2020 yılında, Covid-19 virüsü nedeniyle, Dünya Sağlık Örgütü tarafından pandemi ilan edilmesiyle birlikte tüm dünyayla beraber ülkemizde de günlük hayat dramatik bir şekilde etkilenmiştir. Özellikle bireylerin yüksek miktarlarda kuru gıda ve hijyen ürünleri satın almasıyla, bu sektörlerde üretim yapan işletmelerin ürünlerine olan talep büyük bir hızla artmış, diğer bir tabirle talep patlaması yaşanmıştır (Kayabaşı, 2020; Chowdhury vd., 2021). Talebin ani şekilde artması piyasa tarafından öngörülemediği için bu sürecin başında zaman zaman bazı ürünlere ulaşmak zorlaşmıştır. Hatırlanacağı üzere, özellikle pandeminin başlarında maske tedarikinde ciddi sıkıntılar yaşanmıştı. Bu yaşanan sorunlar firmaların birçoğuna tedarik zinciri ağlarını gözden geçirmesi gerektiğini hatırlatmış, bu ağları yeni koşullara göre adapte etmeleri gerektiğini göstermiştir. İşte, bu çalışmada, hijyen ürünleri üreten bir işletmenin taleplerinde oluşan dramatik artışa cevap verebilmesini sağlamak amacıyla tedarik zinciri ağı tasarlanmıştır.

Ele alınan işletme, İzmir ilinde faaliyet gösteren ve cerrahi maske, lateks eldiven, el dezenfektanı, yüzey dezenfektanı ile ıslak mendil üreten bir fabrikadır. Şekil 1'de cerrahi maske talebine pandemi döneminin etkisi gösterilmiştir. Firma gerçek sayısal değerlerin paylaşımına izin vermediği için, bu değerler q_1 , p_1 gibi noktalarla ifade edilmiştir.

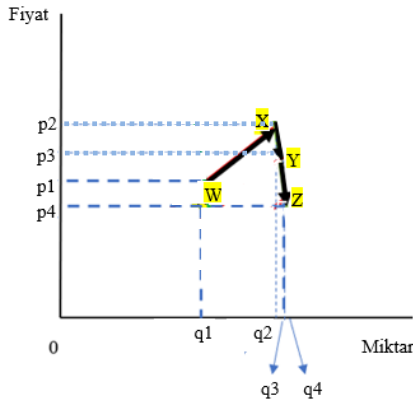
Şekil 1. Pandemi Döneminin Maske Talebine Etkisi (Figure 1. The Effect of the Pandemic on Mask Demand)

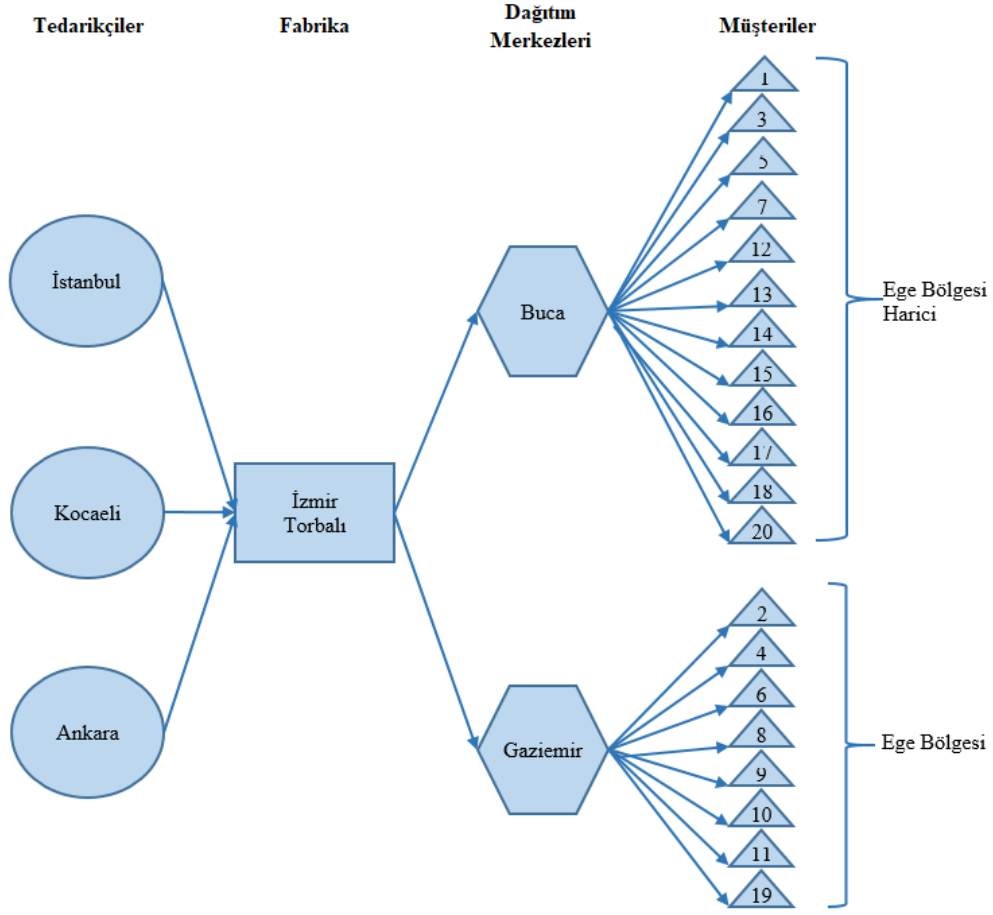
Şekil 1'de düşey eksen cerrahi maske satış fiyatını, yatay eksen ise satış adedini göstermektedir. Covid-19 pandemisi öncesi cerrahi maskeye ait arz-talep noktası W (q_1, p_1) ile ifade edilmiştir. Pandemiyle birlikte ürünün talebinde ani bir yükseliş ortaya çıkmıştır. Pandeminin ilk aylarında ürünün satış fiyatı artarak X (q_2, p_2) noktası ile ifade edilmiştir. Sonraki aylarda ise, ürüne ait yüksek talep değişmezken, ürünün satış fiyatının azaldığı gözlenmiştir. Talepteki bu ani yükselmeyi, maliyet artışına izin vermeden karşılayabilmek amacıyla uygun bir tedarik zinciri ağı tasarımının yapılması gerekliliği doğmuştur.

Probleme ait bilgiler şu şekildedir. Hijyen ürünleri üreten fabrika, İzmir / Torbalı'da yer almakta olup cerrahi maske, lateks eldiven, el dezenfektanı, yüzey dezenfektanı ve ıslak mendil üretebilmek için gerekli olan hammaddeleri İstanbul, Kocaeli ve Ankara'daki tedarikçilerden sağlamaktadır. Bu tedarikçilerden elde edilen malzemeler kullanılarak fabrikada yukarıda sıralanan hijyen ürünleri üretilmektedir. Sonrasında, on adet maske, bir adet el dezenfektanı, bir adet yüzey dezenfektanı, on adet eldiven ve bir adet ıslak mendil bir araya getirilerek ambalajlanmakta ve hijyen kiti adı altında nihai ürün olarak satışa sunulmaktadır.

Fabrikada üretilen nihai ürün olan hijyen kitleri, İzmir'de Buca ve Gazıemir'de yer alan iki adet dağıtım merkezine (DM) sevk edilmektedir. Daha sonra ise, bu DM'lerinden tüm Türkiye'de yer alan çeşitli müşterilere nihai ürünler gönderilmektedir. Gazıemir DM, İzmir ve civar illere hizmet verirken; Buca DM ise, Ege Bölgesi dışındaki müşterilere hizmet vermektedir. Şekil 2'de işletmeye ait dağıtım ağı gösterilmiştir.

İşletme, maliyet değerlerinin sayısal olarak paylaşılmasını istememiştir. Bunun yerine, maliyetler arasında katsayı ilişkileri hesaplanmıştır. Tablo 1'de tedarikçilerden fabrikaya taşınan malzemelere ait maliyetler yer almaktadır. Örneğin, cerrahi maske için gerekli malzemeler eğer İstanbul'daki tedarikçiden temin edilirse maliyet X TL; Kocaeli'ndeki tedarikçiden temin edilirse 2X TL; Ankara'daki tedarikçiden temin edilirse 3X TL kadar maliyet ortaya çıkmaktadır. İşletme yönetimi ile yapılan görüşmeler neticesinde, işletmenin amacının, dağıtım miktarlarında meydana gelen değişiklikler nedeniyle ortaya çıkan değişken maliyetin en aza indirilmesi olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle, fabrikanın ve dağıtım merkezlerinin sabit masrafları bu çalışmanın kapsamı dışındadır.





Şekil 2. Dağıtım Ağı (Figure 2. Distribution Network)

Tablo 1. Tedarikçilerden Fabrikaya Birim Taşıma Maliyeti (Table 1. Unit Transportation Cost from Suppliers to Factory)

	İstanbul	Kocaeli	Ankara
Maske	1	2	3
El Dezenfektanı	4	1	2
Yüzey Dezenfektanı	1	2	3
Eldiven	5	4	1
Islak Mendil	5	5	4

Tablo 2’de fabrikadan dağıtım merkezlerine nihai ürün taşınması sırasında ortaya çıkan birim maliyetler verilmiştir.

Tablo 2. Fabrikadan Dağıtım Merkezlerine Birim Taşıma Maliyeti (Table 2. Unit Transportation Cost from Factory to Distribution Centers)

	Dağıtım Merkezi	
Fabrika	Buca	Gaziemir
Torbalı	2	2

Tablo 3’te dağıtım merkezlerinden müşterilere nihai ürün taşınması sırasında oluşan birim maliyetler görülmektedir.

Tablo 3. Dağıtım Merkezlerinden Müşterilere Birim Taşıma Maliyeti (Table 3. Unit Transportation Cost from Distribution Centers to Customers)

Müşteri Numarası	Buca DM	Gaziemir DM
1	4	5
2	3	2
3	3	3
4	5	4
5	1	4
6	3	2
7	2	3
8	4	3
9	5	4
10	4	3
11	4	3
12	1	3
13	2	4
14	1	5
15	1	3
16	2	5
17	4	5
18	1	3
19	3	1
20	1	2

Tablo 4’te tedarikçilerin ilgili ürüne ait malzemeleri temin etme kapasiteleri yer almaktadır. Örneğin, cerrahi maske için gerekli olan malzeme İstanbul tedarikçisinden ayda 32.874 adet temin edilebilirken, Ankara tedarikçisinden 39.550 adet temin edilebilmektedir.

Tablo 4. Tedarikçilerin Hijyen Ürünü Bazında Malzeme Kapasiteleri (Table 4. Material Capacities of Suppliers based on Hygiene Products)

	İstanbul	Kocaeli	Ankara
Maske	32874	38180	39550
El Dezenfektanı	36080	38700	37533
Yüzey Dezenfektanı	36865	39819	36778
Eldiven	39369	39917	39446
Islak Mendil	42800	38546	36333

Fabrikanın üretim kapasitesi ayda 120.000 adet hijyen kiti ile sınırlıdır. Buca ve Gazıemir’de yer alan DM’lerinin kapasiteleri ise, sırasıyla, ayda 55.000 ve 75.000 adet hijyen kitidir.

Müşterilerin aylık bazda talep ettikleri hijyen kiti miktarları Tablo 5’te yer almaktadır. Tabloda koyu renk ile işaretlenen müşteriler Ege Bölgesi dışında yer alan müşterileri ifade etmektedir.

Tablo 5. Nihai Ürüne Olan Müşteri Talebi (Table 5. Customer Demand for the Final Product)

Müşteri Numarası	Talep Miktarı (adet)
1	2635
2	8430
3	7196
4	7887
5	6137
6	5327
7	4956
8	9192
9	8248
10	2860
11	7040
12	2120
13	6936
14	1913
15	3734
16	4609
17	2014
18	8593
19	7711
20	2364

2.2. Matematiksel Model

Bu çalışmada kullanılan notasyon aşağıdaki gibidir.

İndisler

- i Tedarikçi
- j Fabrika
- k Dağıtım merkezi
- l Müşteri
- t Hijyen ürünü

Kümeler

- I Tedarikçi kümesi
- J Fabrika kümesi
- K Dağıtım merkezi kümesi
- L Müşteri kümesi
- LE Ege Bölgesi’nde yer alan müşterilerin kümesi
- LE' Ege Bölgesi dışında yer alan müşterilerin kümesi
- T Hijyen ürünü kümesi

Parametreler

- C_{ijt} i . tedarikçiden j . fabrikaya t . hijyen ürünü malzemesi birim taşıma maliyeti
- C_{2jk} j . fabrikadan k . dağıtım merkezine hijyen kiti birim taşıma maliyeti
- C_{3kl} k . dağıtım merkezinden l . müşteriye hijyen kiti birim taşıma maliyeti
- D_i i . tedarikçinin kapasitesi
- E_j j . fabrikanın kapasitesi
- F_k k . dağıtım merkezinin kapasitesi
- T_l l . müşterinin talebi
- w_t Bir adet hijyen kiti içindeki t . hijyen ürünün kullanım miktarı

Karar değişkenleri

- x_{ijt} i . tedarikçiden j . fabrikaya sevk edilen t . hijyen ürünü malzemesi miktarı
- y_{jk} j . fabrikadan k . dağıtım merkezine gönderilen hijyen kiti miktarı
- z_{kl} k . dağıtım merkezinden l . müşteriye gönderilen hijyen kiti miktarı

Problemin çözümü için geliştirilen matematiksel model aşağıda yer almaktadır (Sanei vd., 2016; Paksoy, 2005).

Amaç Fonksiyonu;

$$\text{Min } \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} C_{1ijt} \times x_{ijt} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} C_{2jk} \times y_{jk} + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} C_{3kl} \times z_{kl} \quad (1)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j \in J} x_{ijt} \leq D_i \quad \forall i \in I, \forall t \in T \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} y_{jk} \leq E_j \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{l \in L} z_{kl} \leq F_k \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijt} - w_t \times \sum_{k \in K} y_{jk} = 0 \quad \forall t \in T, \forall j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} y_{jk} - \sum_{l \in L} z_{kl} = 0 \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{k \in K} z_{kl} \geq T_l \quad \forall l \in L \quad (7)$$

$$\sum_{l \in LE} z_{2l} = 0 \quad \forall l \in LE \quad (8)$$

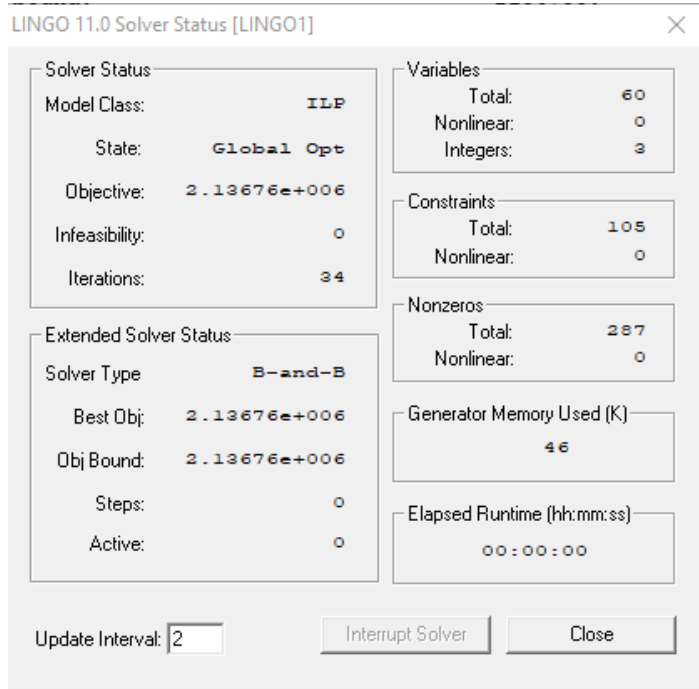
$$\sum_{l \in LE'} z_{1l} = 0 \quad \forall l \in LE' \quad (9)$$

$$x_{ijt}, y_{jk}, z_{kl} \geq 0 \quad \forall i, j, t, k, l \quad (10)$$

Amaç fonksiyonu (1), tedarikçilerden fabrikaya, fabrikadan dağıtım merkezlerine ve dağıtım merkezlerinden de müşteriye toplam değişken taşıma maliyetini en küçükler. (2), (3) ve (4) numaralı denklemler, sırasıyla tedarikçi, fabrika ve dağıtım merkezlerine ait kapasite kısıtlarını ifade etmektedir. Denklem (5) birinci aşama denge kısıtıdır; tedarikçilerden fabrikaya sevk edilen hijyen ürünü malzemesi miktarı ile fabrikadan dağıtım merkezlerine gönderilen hijyen kiti miktarı arasında akışın korunumunu sağlar. Denklem (6) ikinci aşama denge kısıtıdır; fabrikadan dağıtım merkezlerine ve dağıtım merkezlerinden de müşterilere gönderilen hijyen kiti miktarında akışın korunumunu sağlar. Denklem (7) üçüncü aşama denge kısıtıdır; diğer bir deyişle her müşterinin talebinin karşılanmasını sağlar (Paksoy, 2005). Denklem (8) ve (9) sırasıyla, Gaziemir DM'nden gönderilen nihai ürünlerin Ege Bölgesi'ndeki müşterilere hizmet vermesini; ve Buca DM'nden gönderilen nihai ürünlerin Ege Bölgesi dışındaki müşterilere hizmet vermesini garantiler. Son olarak, denklem (10) karar değişkenlerinin negatif değer almasını önler.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bir önceki bölümde verilen doğrusal programlama modeli Lingo çözücüsüne girilmiştir. Bu çalışmada 1,99 GHz işlemci hızına sahip, Windows 10 işletim sistemi olan bir dizüstü bilgisayar kullanılmıştır.



Şekil 3. Tedarik Zinciri Ağı Lingo Ekran Çıktısı (Figure 3. Lingo Output for the Supply Chain Network)

Şekil 3'ten görüleceği üzere, 34. iterasyonda en iyi çözüme ulaşılmıştır. En iyi çözümde amaç fonksiyonu olan aylık maliyetin en küçük değeri 2.136.760

(ikimilyonyüzotuzaltıbinedyüzaltmış) birim olarak bulunmuştur.

Lingo çözücüsünden elde edilen sonuç raporu, karar vericiye detaylı çözümler sunmaktadır. Birinci aşamada, hangi hijyen ürününe ait malzemenin, hangi tedarikçiden, fabrikaya ne kadar miktarda temin edilmesi gerektiği saptanmıştır. Bu sonuçlar aşağıdaki tablolarda sunulmuştur. Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8'de, sırasıyla İstanbul, Kocaeli ve Ankara'daki tedarikçilerden temin edilen malzeme miktarları yer almaktadır.

Tablo 6. İstanbul'daki Tedarikçinin Fabrikaya Sağladığı Malzeme Miktarları (Table 6. Amount of Materials Provided to the Factory by the Supplier in Istanbul)

Malzeme Türü	Malzeme Adedi
Maske	32874
El Dezenfektanı	33669
Yüzey Dezenfektanı	36865
Eldiven	30539
Islak Mendil	42800

Tablo 6'dan, İstanbul ilinde ikamet eden tedarikçiden 32.874 adet cerrahi maske malzemesi, 33.669 adet el dezenfektanı malzemesi, 36.865 adet yüzey dezenfektanı malzemesi, 30.539 adet eldiven malzemesi ve 42.800 adet ıslak mendil malzemesi temin edildiği anlaşılmaktadır. Benzer şekilde, Tablo 7 Kocaeli'nde bulunan tedarikçiden elde edilen malzeme adetlerini ve Tablo 8 ise Ankara'da bulunan tedarikçiden temin edilen malzeme adetlerini vermektedir.

Tablo 7. Kocaeli'ndeki Tedarikçinin Fabrikaya Sağladığı Malzeme Miktarları (Table 6. Amount of Materials Provided to the Factory by the Supplier in Kocaeli)

Malzeme Türü	Malzeme Adedi
Maske	38180
El Dezenfektanı	38700
Yüzey Dezenfektanı	39819
Eldiven	39917
Islak Mendil	30769

Tablo 8. Ankara'daki Tedarikçinin Fabrikaya Sağladığı Malzeme Miktarları (Table 6. Amount of Materials Provided to the Factory by the Supplier in Ankara)

Malzeme Türü	Malzeme Adedi
Maske	38848
El Dezenfektanı	37533
Yüzey Dezenfektanı	33218
Eldiven	39446
Islak Mendil	36333

Lingo çözücüsünden elde edilen sonuç raporuna göre, ikinci aşamaya ilişkin, fabrikadan, hangi DM'lerine, ne kadar nihai ürün gönderilmesi gerektiği saptanmıştır. Buna göre, fabrikada üretilmiş nihai ürün olan hijyen kitlerinin Buca ve Gaziemir'de yer alan DM'lerine, sırasıyla 53.207 ve 56.695 adet gönderilmesinin optimal olduğunu ortaya koymuştur.

Lingo çözücüsünden elde edilen sonuç raporuna göre, üçüncü aşamada ise, hangi DM'nden, hangi müşterilere, ne miktarda nihai ürün gönderilmesi gerektiği belirlenmiştir. Tablo 9'da Buca DM'nden Ege Bölgesi dışında yer alan müşterilere gönderilen hijyen kiti paketi adetleri yer almaktadır. Şirket gizliliği açısından müşterilerin isimlerine yer verilemediği için numaralandırılmıştır. Örneğin, Buca DM'nden 1 numaralı müşteriye 2.635 adet; 3 numaralı müşteriye 7.196 adet hijyen kiti sevk edilmiştir.

Tablo 9. Buca'daki Dağıtım Merkezinden Müşterilere Sevk Edilen Nihai Ürün Miktarı (Table 9. Amount of Final Products Transported to Customers from the Distribution Center in Buca)

Müşteri Numarası	Nihai Ürün Miktarı(Adet)
1	2635
3	7196
5	6137
7	4956
12	2120
13	6931
14	1913
15	3734
16	4609
17	2014
18	8598
20	2364

Tablo 10'da Gaziemir ilçesinde yer alan DM'nden İzmir ili ve çevresinde ikamet eden müşterilere sevk edilen hijyen kiti adetleri verilmiştir. Örneğin, Gaziemir DM'nden 2 numaralı müşteriye 8.430 adet, 4 numaralı müşteriye 7.887 adet, 6 numaralı müşteriye 5.327 adet nihai ürün sevkiyatı yapılmıştır.

Geliştirilen model ile en düşük maliyeti sağlayacak bir tedarik zinciri ağı tasarlanmıştır. Detayları yukarıda verilen bu tedarik zinciri ağı, söz konusu işletme yöneticilerine sunulmuştur. Önerilen çözüm yaklaşımı fabrika yönetimince ilgiyle karşılanmış ve uygulamaya geçilmesine karar verilmiştir. Çözüm yöntemini uygulamak için hiçbir ek maliyete ihtiyaç duyulamamıştır. Yapılan değişiklikler sonucunda tedarik zinciri maliyetlerinde ciddi bir azalma ortaya konduğu firma yetkililerince bildirilmiştir. İşletme, maliyetlerinin gerçek değerlerinin paylaşılmasına izin vermemiş olmakla birlikte, maliyetlerde yaklaşık %3'lük bir azalma olduğunu belirtmiştir. Bu değer maliyetlerin yüksekliği düşünülürse oldukça iyi bir rakamdır. Ayrıca, bu azalmanın sağlanması için hiçbir ekstra maliyet yükü doğmamış olması da, bu yöntemin bir diğer avantajıdır.

Tablo 10. Gaziemir'deki Dağıtım Merkezinden Müşterilere Sevk Edilen Nihai Ürün Miktarı (Table 10. Amount of Final Products Transported to Customers from the Distribution Center in Gaziemir)

Müşteri Numarası	Nihai Ürün Miktarı(Adet)
2	8430
4	7887
6	5327
8	9192
9	8248
10	2860
11	7040
19	7711

4. Sonuç

TZY uzun yıllardır hem akademik yazında, hem de gerçek hayat uygulamalarında önemli bir yer tutmakta ve hala güncelliğini korumaktadır. Bu çalışmada, İzmir'de faaliyet gösteren ve hijyen ürünleri üreten bir firmanın tedarik zinciri ele alınmıştır. Bahsi geçen firmanın ürünlerine ait talep, Covid-19 pandemisinin ortaya çıkmasıyla birlikte dramatik olarak artmıştır. Firma, üretim sürecinde kullanacağı malzemelerini üç farklı şehirde ikamet eden tedarikçilerden almakta; ürettiği nihai ürünlerini dağıtım merkezlerine göndermekte ve bu dağıtım merkezlerinden de yirmi farklı müşterisine dağıtım yapmaktadır. Ani talep artışıyla beraber, işletme için yeni bir tedarik zinciri ağı tasarlanması gerekliliği doğmuştur. Bu çalışma kapsamında doğrusal programlama modeli kurularak bahsi geçen problem için bir çözüm yaklaşımı ortaya konmuştur. İleri sürülen matematiksel model, Lingo çözücüsü yardımıyla çözülmüş ve en düşük maliyeti veren en iyi sonuç elde edilmiştir. İşletme için en uygun tedarik zinciri ağı, firma yöneticileri ile paylaşılmıştır. İşletme yönetimi, önerilen metodolojiyi uygulamaya koymuştur. İşletme tarafından yapılan analizler, yeni tedarik zinciri ağı kullanılmasıyla işletme maliyetlerinde yaklaşık %3'lük azalma olduğunu göstermektedir.

İlerleyen zamanlarda çalışma çok yönlü geliştirmelere açıktır. Örneğin, ortaya konan bu model kolaylıkla başka sektörlere adapte edilerek uygulanabilir. Bunun dışında, bu çalışmanın devamında araç rotalama problemi ele anılarak müşterileri ziyaret eden araçlar için en iyi rotalar belirlenebilir.

Kaynakça

- Arntzen, B.C., Brown, G.G., Harrison, T.P., and Trafton, L.L. (1995), Global supply chain management at Digital Equipment Corporation, *Interfaces* 25/1, 69-93.
- Baki, R. (2019). Bilgi Teknolojileri ve Üst Yönetim Desteğinin Tedarik Zinciri Performansına Etkisi: Türkiye İçin Ampirik Bir Yaklaşım. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 916-926.
- Chowdhury, P., Paul, S.K., Kaiser, S., & Moktadir, M.A. (2021). COVID-19 pandemic related supply chain studies: A systematic review. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 148, 102271.
- Cohen, M.A. ve Lee, H.L. (1989). Resource deployment analysis of global manufacturing and distribution networks. *Journal of Manufacturing and Operations Management*, 2, 81-104.

- Cohen, M.A. ve Moon, S. (1991). An integrated plant loading model with economies of scale and scope. *European Journal of Operational Research*, 50, 266–279.
- Çomaklı Sökmen, Ö. & Yılmaz, M. (2021). Yöneylem Araştırması Alanında Yapılan Çalışmaların Bibliyometrik Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 940-946.
- Erdil, A. Development Supply Chain Management In Terms of Quality Function: An Application in the Manufacturing Industry. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (26), 456-465.
- Espuna, A., Mendez, A.C., Aguirre M.A., Zamarripaa A.M. (2012). Improving supply chain planning in a competitive environment. *Computers and Chemical Engineering*, 42, 178–188.
- Gelmez, E. (2020). The Mediation Role of Environmental Performance in the Effects of Green Supply Chain Management Practices on Business Performance. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 606-613.
- Goodarziyan, F., Taleizadeh, A. A., Ghasemi, P., & Abraham, A. (2021). An integrated sustainable medical supply chain network during COVID-19. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 100, 104188.
- Kayabaşı, E.T. (2020). Covid-19'un piyasalara ve tüketici davranışlarına etkisi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 7(5), 15-25.
- Leal, E.J. ve Reis, A.S. (2015). A deterministic mathematical model to support temporal and spatial decisions of the soybean supply chain. *Journal of Transport Geography*, 43, 48–58.
- McGinnis, L., Goetschalckx, M., Tang, E.Z. (2013) Modeling-based design of strategic supply chain networks for aircraft manufacturing. *Procedia Computer Science*, 16, 611 – 620.
- Nagurney, A. (2021). Optimization of supply chain networks with inclusion of labor: Applications to COVID-19 pandemic disruptions. *International Journal of Production Economics*, 235, 108080.
- Oliver, R.K., & Webber, M.D. (1982). Supply-chain management: logistics catches up with strategy. *Outlook*, 5(1), 42-47.
- Özdemir-Güngör, D. (2021). Tedarik Zincirlerinden Tutumlu İnovasyonun Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 261-267.
- Paksoy, T. (2005). Tedarik zinciri yönetiminde dağıtım ağlarının tasarımı ve optimizasyonu: malzeme ihtiyaç kısıtı altında stratejik bir üretim-dağıtım modeli. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (14), 435-454.
- Sanei, M., Mahmoodirad, A., & Niroomand, S. (2016). Two-stage supply chain network design problem with interval data. *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, 5, 74-84.
- Stenger, J.A., Boone, T., Ganeshan, R. (2001). The impact of inventory and flow planning parameters on supply chain performance: An exploratory study. *International Journal of Production Economics*, 71, 111-118.
- Wang, S.H. (2009). A two-phase ant colony algorithm for multi-echelon defective supply chain network design. *European Journal of Operational Research*, 192, 243–252.