

Arastırma Makalesi

Heterojen Müşteri Segmentleri ve Talep Belirsizliği Varsayımlarıyla Ağ Tasarımı Problemi İçin Bir Model Önerisi¹

A Model Proposal For The Network Design Problem With Heterogeneous Customer Segments And Demand Uncertainty Assumptions

Hande Cansın KAZANÇ Arş. Gör, Çankaya Üniversitesi İİBF, İşletme Bölümü ckazanc@cankaya.edu.tr https://orcid.org/0000-0002-5550-2847	Erencan YAVRUCU Arş. Gör, Türk-Alman Üniversitesi İİBF, İşletme Bölümü erencan.yavrucu@tau.edu.tr https://orcid.org/0000-0003-1888-7722	Mehmet SOYSAL Doç. Dr, Hacettepe Üniversitesi İİBF, İşletme Bölümü mehmetsoysal@hacettepe.edu.tr https://orcid.org/0000-0002-1570-660X
--	---	--

Makale Geliş Tarihi	Makale Kabul Tarihi
15.05.2023	13.08.2023

Öz

Bu çalışmada, talep belirsizliği varsayımı altında aralarında yatay iş birliği bulunan üst düzey müşteriler, orta düzey müşteriler ve temel düzey müşteriler şeklinde heterojen müşteri segmentlerine sahip, dağıtım kanalı seçimi, dağıtım planlaması, envanter, aktarma ve atama kararlarını içeren ağ tasarımı problemine yönelik bir doğrusal tam sayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel modelin sunulmasının ardından, ele alınan ağ tasarımı problemi genel amaçlı bir çözücü kullanılarak bir örnek olay ve bu örnek olaydan türetilen farklı senaryolar için çözülmüştür. Ardından, örnek olay çözümü ve senaryo çözümlerine yönelik nümerik analizler yapılmış, modelin işlevselliği gösterilmiş ve belirlenen temel performans kriterleri üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Nümerik analizler sonucunda, benzer karar süreçlerini içeren durumlarla karşılaşan karar vericiler için müşteri segmentasyonu ve yatay iş birliğinin önemi ortaya koyulmuştur. Üst düzey müşteriler arasında ve üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere ürün aktarımı seçeneğinin bulunmamasının toplam maliyeti yükselttiği görülmüştür. Bu sebeple, tedarik zinciri elemanları arasında kurulan yatay iş birliklerinin toplam ağ maliyetinde iyileşme sağladığı söylenebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağ Tasarımı Problemi, Doğrusal Tam Sayılı Programlama, Müşteri Segmentasyonu, Yatay İş Birliği, Envanter

Abstract

This study addresses a network design problem with horizontal collaboration between heterogeneous customer segments consisting of high-tier customers, mid-tier customers, and basic customers under the assumption of demand uncertainty. A linear integer programming model is developed for the problem. The model involves distribution channel selection, distribution planning, inventory, transshipment and assignment decisions. After the presentation of the developed mathematical model, the network design problem is solved using a general purpose solver for a case study and different scenarios derived from this case study. Then, numerical analyses were performed for the case study and scenario solutions, the functionality of the model was demonstrated and evaluations were made based on the key performance criteria. As a result of the numerical analysis, some crucial outputs have been revealed for decision makers confronted with similar decision processes. It has been observed

¹ Bu çalışma, Hande Cansın Kazanç tarafından Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde Doç. Dr. Mehmet Soysal danışmanlığında yürütülen doktora tez çalışmasını temel almaktadır.

Önerilen Atf /Suggested Citation

Kazanç, H.C., Yavrucu, E., Soysal, M., 2023 Heterojen Müşteri Segmentleri ve Talep Belirsizliği Varsayımlarıyla Ağ Tasarımı Problemi İçin Bir Model Önerisi, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 58(3), 1945-1971.

that the absence of the option to transshipment products among top customers and from high tier customers to mid tier customers increases the total cost. As a result, horizontal cooperation built across supply chain actors can be said to improve total network cost.

Keywords: Network Design Problem, Linear Integer Programming, Customer Segmentation, Horizontal Collaboration, Inventory

1. GİRİŞ

İş dünyasında artan rekabetçi ortam ve küreselleşen dünya, iş süreçlerinin karmaşıklığının artmasına neden olmuştur. Şirketlerin üretim ve dağıtım süreçlerini iyileştirmek için birbirleri ile kurdukları iş ilişkileri günümüz tedarik zincirlerinin temelini oluşturmaktadır (Adams vd., 2014; Wu vd., 2019, Soysal vd., 2019). Tedarik zincirleri; tedarikçilerden, üreticilerden, dağıtıcılardan, perakendecilerden, taşıyıcılardan ve toptancılardan oluşan, müşteri ihtiyaçlarını karşılamayı amaçlayan bütünleşik bir yapı olarak tanımlanmaktadır. Müşterilerin talepleri karşılanırken, tedarik zincirinin bütün elemanlarına sağlanan faydaların toplamı ise tedarik zinciri fazlası (*supply chain surplus*) olarak tanımlanmaktadır (Chopra & Meindl, 2013). Meydana gelen tedarik zinciri fazlasını artırabilmek, zincir elemanları arasındaki iletişimi ve uyumu geliştirebilmek için şirketler bazında ürün, nakit ve bilgi akışı üç farklı karar aşamasında incelenmektedir. Stratejik kararlar; en uzun vadeli, değiştirilmesi en güç ve maliyetli kararlar olup, tesislerin ve depoların yeri, kapasitesi, üretim teknolojileri, kullanılacak olan dış kaynaklar gibi unsurları içermektedirler. Orta vadeli kararlar olan taktiksel kararlar, tedarikçi seçimi, dağıtım kanalı seçimi ve teslimat türü gibi unsurların oluşturduğu, tedarik zinciri fazlasını orta vadede en yüksek noktaya taşımayı amaçlayan kararlardır. Günlük ya da haftalık kısa dönem kararlarını içeren operasyonel kararlar ise müşteri taleplerini mümkün olan en iyi şekilde karşılamayı amaçlayan, orta ve uzun vade kararlarına uygun olarak kısa vadeli aktivitelerin planlandığı karar aşamasıdır. Operasyonel kararlar, dağıtım planlaması, sipariş teslim metodlarının belirlenmesi, optimal araç rotalarının oluşturulması gibi kısa vadede kolayca değiştirilebilen kararlardır (Cordeau vd., 2006; Chopra & Meindl, 2013; Rushton vd., 2022). Bu çalışmada tedarik zincirlerinin taktiksel aşamada verilen kararlarından olan dağıtım kanalı seçimi ve dağıtım planlaması üzerinde durulacaktır.

Lojistik sektöründe müşterilerin beklentilerinde küreselleşmeyle birlikte yaşanan artış, giderek karmaşık hale gelen dağıtım ağlarının da etkisi ile birlikte işletmelerin piyasa değişikliklerine karşı hızla tepki göstermesini gerektirmekte, karar aşamalarını güçleştirmektedir. Karmaşıklaşan dağıtım ağları ile başa çıkmak amacıyla işletmeler, karşılıklı yarar sağlayan güçlü ilişkiler ve iş birlikleri kurma yoluna gitmektedirler (Björnfot & Torjussen, 2012). Bahsedilen iş birlikleri, tedarik zinciri maliyetlerini azaltmak, pazar koşullarını iyileştirmek, pazardaki değişkenliği azaltmak, operasyonel ve çevresel kısıtlamalara uygun davranmak ve yeni pazarlara erişmek amacıyla kurulmaktadır (Basso vd., 2019). Bu amaçlar doğrultusunda tedarik zincirinde yer alan iş birlikçi yapılara bakıldığında; bu yapıların genellikle dikey iş birliği, yatay iş birliği ve yanal iş birliği şeklinde oluştukları görülmektedir (Simatupang & Sridharan, 2002). Literatüre bakıldığında en sık kullanılan iş birliği şekli olan dikey iş birliği, tedarik zincirinin farklı seviyelerinde bulunan tedarikçiler, üreticiler, dağıtım merkezleri ve müşteriler gibi paydaşlar arasında gerçekleştirilen iş birliği türü olarak tanımlanmaktadır (Schulz & Blecken, 2010; Soysal vd., 2018, Soysal vd., 2023). Perakendecinin üretici ile veya üreticinin perakendeci ile iş birliğinde olması gibi tedarik zincirinin kendinden bir önceki veya bir sonraki kademede bulunan paydaş ile iş birliği yapması dikey iş birliğine örnek olarak gösterilmektedir. Tedarik zincirinin aynı seviyelerinde bulunan tedarikçiler, üreticiler, perakendeciler, dağıtım merkezleri ve müşteriler gibi paydaşlar arasında kazan-kazan şeklinde hareket ederek işletmelerin iş birliği yapması durumu yatay iş birliği olarak tanımlanmaktadır (Gou vd., 2014, Soysal vd., 2022). İki veya daha fazla sayıda potansiyel rakip firmanın ortak dağıtım merkezleri ve ortak üretim kapasiteleri gibi özel bilgilerini ya da kaynaklarını paylaşmaları için yaptığı ve bireysel olarak elde edeceklerine göre daha üstün performanslara ulaşmalarını sağlayan iş birlikleri yatay iş birliğine örnek olarak gösterilebilir (Björnfot & Torjussen, 2012). Yanal iş birliği ise, yatay ve dikey iş birliklerinin bir kombinasyonu olarak tanımlanmakta olup, bu iki düzeyde kurulan iş birliklerini dengeleyerek tedarik zincirlerine esneklik sağlamaktadır (Habibi vd., 2018). Bu çalışmada, ürün dağıtım aşamasında müşteriler arasında kurulan yatay iş birlikleri incelenmekte, bu iş birliklerinin dağıtım ağına sağladığı faydalar üzerinde durulmaktadır.

Günümüz koşullarında rekabetçi pazarlarda, pek çok müşteri portföyüne hizmet vermekte olan işletmelerin bütün düzeylerdeki müşterilerini memnun etmeleri ve beklentilerini karşılamaları

güçleşmiştir. Farklı özelliklere, ihtiyaçlara ve isteklere sahip pek çok müşteri portföyüne hizmet vermeleri dolayısıyla, işletmelerin bütün müşterileri için ortak olan tek bir dağıtım planı ve stratejisi ile beklentileri karşılamaları, günümüzde mümkün değildir. Bu nedenle bahsedilen sorunlarla başa çıkmak ve farklı portföylerdeki müşterilerin beklentilerini karşılayabilmek için yararlı bir yaklaşım olarak pazar bölümlendirme ve müşteri segmentasyonu yaklaşımları sıklıkla uygulanmaktadır (Aghdaie vd., 2014). Pazar bölümlendirme stratejisi, benzer özelliklere, ihtiyaç ve beklentilere sahip müşterilerin gruplanması ve bu gruplama yoluyla işletmenin amaçları ile örtüşen hedef pazarların seçilmesini amaçlamaktadır (McDonald, 2012). Pazar bölümlendirme stratejisi neticesinde, farklı düzeylerde hizmet verilebilecek müşteri portföyleri oluşturulabilmekte ve müşteri segmentasyonu yapılabilmektedir. Tedarik zincirlerinde hizmet verilen müşterilerin de bu strateji ile bölümlendirilmesi ve bu müşterilere farklı düzeylerde hizmet verilebilecek şekilde müşteri segmentasyonu uygulanması mümkündür. Müşteri segmentasyonu, müşteri gruplarını özelliklerine göre daha küçük gruplara ayırarak, müşterilerin istek ve ihtiyaçlarına daha iyi cevap veren mal ve hizmetlerin sunulması olarak tanımlanmaktadır (Hwang vd., 2004). Bu çalışmada, bir dağıtım ağı içerisinde hizmet verilen müşteriler farklı düzeylerde gruplanarak müşteri segmentasyonu gerçekleştirilmiş, bu stratejinin etkileri incelenmiştir.

Tedarik zincirinde ağ tasarımı problemi, tedarik zinciri içindeki açılacak tesislerin (fabrikalar, perakendeciler, dağıtım merkezleri, toplama merkezleri vb.) yerlerinin belirlenmesi ve bu tesisler arasında toplam maliyeti minimize etmeyi hedefleyerek (Soysal vd., 2014) müşterilerin taleplerinin karşılanmasını sağlayacak şekilde ürün akışlarının optimize edilmesi olarak tanımlanmaktadır (Altıparmak vd., 2009). Bu çalışma tedarik zincirinde talep belirsizliği varsayımı altında aralarında yatay iş birliği bulunan heterojen müşteri segmentlerine ve sonlu planlama ufkuna sahip, dağıtım kanalı seçimi, dağıtım planlaması, envanter, aktarma ve atama (*assignment*) kararlarını içeren ağ tasarım probleminin matematiksel olarak modellenmesi ve çözülmesini içermektedir. Çalışmada tedarikçi tarafından müşterilere sunulan dağıtım kanalı seçimi, doğrudan dağıtım, envanter yönetimi ve iş birliği hizmetlerinin farklılaştırılması hedeflenmektedir. Çalışmada yer alan heterojen müşteri segmentleri üst düzey müşteriler, orta düzey müşteriler ve temel düzey müşteriler şeklinde gruplanmaktadır (Juhari ve Juarna, 2022, Şentürk ve Selçuk, 2023). Tedarikçi homojen ve belirli kapasiteye sahip araçlar ile üst düzey ve orta düzey müşterilere ürünleri doğrudan teslim etmektedir. Yine aynı araçlar ile temel düzey müşterilerin teslim alması için ürünler belirlenen merkezlere bırakılmaktadır. Envanter yönetimi hizmeti kapsamında tedarikçi, üst düzey müşteriler için üzerinde anlaşmaya varılan bir hizmet düzeyini garanti etmekte ve bu hizmet düzeyi kapsamında envanter kaynaklarını yönetmektedir. Üst düzey müşterilerin talepleri belirsiz iken, orta düzey ve temel düzey müşterilerin talepleri belirli ve bilinmektedir. Ayrıca, orta düzey ve temel düzey müşterilerin kayıp satış maliyetleri de farklılık göstermektedir. Çalışma kapsamında ele alınan ağ tasarımı probleminin amacı; belirlenen kısıtlar altında müşterilere farklılaştırılmış hizmetler sunularak toplam maliyeti minimize edecek şekilde talep noktalarına ürün akışlarının planlamasını yapmaktır.

Çalışmanın bölümleri şu şekildedir: ikinci bölümde ağ tasarım problemleri üzerine yapılmış çalışmalar ile ilgili literatür taraması sunulmaktadır. Üçüncü bölümde, çalışmada üzerinde durulan ağ tasarım problemi tanımlanmakta ve problem için önerilen matematiksel model sunulmaktadır. Dördüncü bölümde, nümerik analizler tartışılmaktadır. Sonuç bölümünde ise, nümerik analizlerden elde edilen sonuçlara ilişkin genel değerlendirmeler ve yorumlar yer almaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatür taraması kapsamında ilk olarak “ağ tasarımı” anahtar sözcüğü kullanılarak belirsizlik ve envanter kavramlarını içeren çalışmalar ele alınmaktadır. Daha sonra yine aynı anahtar sözcük ile yapılan taramada envanter ve iş birliği kavramlarını içeren çalışmalar ele alınmaktadır. Yapılan literatür taraması için veri tabanı olarak “Web of Science” platformu kullanılmaktadır. Bu platformda öncelikli olarak tarama, “ağ tasarımı problemi (*allocation problem ve network problem*)” anahtar sözcüğü ile “konu (*topic*)” esaslı olarak yapılmıştır. Tarama sonucunda bu alandaki çalışmalar “envanter (*inventory*)”, “belirsiz/belirsizlik (*uncertain**)” ve “rastgele/rastgelelik (*stochastic**)” sözcükleri ile filtrelenmiştir. Daha sonra ağ tasarımı problemi “envanter (*inventory*)”, “yatay (*horizontal*)”, “iş birliği (*collaboration*)”, “aktarma (*transshipment*)” ve “yanal (*lateral*)” sözcükleri ile farklı aramalar olacak şekilde filtrelenmiştir. Filtreleme sonucunda 97 adet çalışmaya ulaşılmıştır. Bu çalışmaların

değerlendirilmesinden sonra ele alınan probleme benzer unsurlar içeren 42 adet makale, Tablo 1’de detaylı şekilde özetlenmiştir.

Tablo 1, çalışmalardaki problem tipi, modelde verilen temel kararlar, model yaklaşımı, çözüm yöntemi, belirsizliğin hangi parametre veya parametrelerde olduğu ve yatay iş birliği yapılıp yapılmadığı açılarından değerlendirmeler içermektedir.

Tablo 1’e bakıldığında, ağ tasarımı anahtar sözcüğü ile ulaşılan çalışmalarda farklı problem tiplerinin yer aldığı söylenebilir. En çok yer alan problem tipinin “tahsis problemi” ve tahsis problemine çeşitli kararların entegre edilmesi ile ortaya çıkan problemlerin olduğu görülmektedir.

İncelenen çalışmalarda kullanılan model yaklaşımlarının da farklılık gösterdiği görülmektedir. Çalışmalarda en çok kullanılan model yaklaşımı karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama (MINLP) yaklaşımıdır. Diğer model yaklaşımları ise, matematiksel programlama (MP), karma tam sayılı doğrusal programlama (MILP), stokastik programlama (SP), karma tam sayılı programlama (MIP), doğrusal olmayan tam sayılı programlama (NLIP), dinamik programlama (DP) ve stokastik dinamik programlama (SDP) gibi çeşitli yaklaşımlar şeklindedir.

Ağ tasarımı ve tahsis problemleri genel olarak NP-zor sınıfında yer alan problemlerdir (Syarif, 2002). Bu tip problemlerde çözüme genel amaçlı çözümler ve standart çözüm yöntemleri kullanarak erişmek zordur. NP-zor sınıfında yer alan problemler için çoğunlukla sezgisel çözüm yaklaşımlarının kullanıldığı görülmektedir. Örneğin; Gebennini vd. (2009), Paksoy vd. (2010) ve Klosterhalfen vd. (2014) çalışmalarında genel amaçlı çözümler kullanmışlardır. Diğer çalışmalarda ise çeşitli sezgisel çözüm yaklaşımlarının uygulandığı görülmektedir.

Çalışmalara bakıldığında genellikle belirsiz parametre olarak talebin sıklıkla ele alındığı görülmektedir. Talebin belirsiz olarak ele alındığı bazı çalışmalarda, talebe ek olarak başka parametrelerde de belirsizlik bulunmaktadır. Örneğin; Hemmati & Pasandideh (2021), Manupati vd. (2021) ve Ehsani vd. (2023), çalışmaları talebe ek olarak çeşitli maliyet parametrelerini (elde bulundurma maliyeti, sabit maliyet, taşıma maliyeti gibi) belirsiz olarak ele almaktadırlar. Çalışmalar incelendiğinde talepten farklı parametrelerin de belirsiz olduğu görülmektedir. Papadopoulos & Vidalis (2001) hizmet süresini, Topaloglu & Kunnumkal (2006) getiriye, Battarra vd. (2018) deprem büyüklüğünü, Aghalari vd. (2020) su yolu koşullarını ve Maji vd. (2022) arıza olasılığını belirsiz parametreler olarak çalışmalarına dâhil etmişlerdir.

İncelenen literatürde yalnızca Zheng ve diğerlerinin (2021) çalışmasında iş birliği unsurlarının yer aldığı görülmektedir. Bu çalışmada ilaç sektöründe envanter tahsisi problemine klinikler arası yanal aktarma yoluyla yatay iş birliği ele alınmaktadır. Çalışmada dağıtım merkezleri tarafından stok fazlası olan kliniklerden stoksuз kalma durumu ile karşı karşıya kalan (veya karşılaşılabilecek olan) kliniklere ürün aktarımı yapılmaktadır. Yanal aktarma yapılması ile kliniklerin stoksuз kalmaya karşı korunduğu ve talep belirsizliği etkisinin azaltıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada ağ tasarımı problemine, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak heterojen müşteri segmentlerinin bulunduğu ve müşteriler arasında yatay iş birliği yapılan durum incelenmektedir. Literatürde ağ tasarımı problemi kapsamında erişilebilen çalışmaların hiçbirinde heterojen müşteri segmenti ve bu müşteri segmentlerine farklılaştırılmış hizmet sunulmasının bulunmadığı görülmüştür. Bu çalışmada yatay iş birliğinin tedarik zincirinde ağ tasarımı üzerindeki faydasının değerlendirilmesinin yanı sıra farklılaştırılmış hizmet yoluyla müşteri segmentasyonunun da faydaları ortaya konulmaktadır. Çalışmanın bu anlamda literatüre iki yönlü katkı yapacağı düşünülmektedir.

Tablo 1 Ağ Tasarımı Problemine Belirsizlik ve İş Birliği İçeren Çalışmalar

#	Çalışmalar	Yıl	Problem tipi	Verilen temel kararlar	Model yaklaşımı	Çözüm yöntemi	Belirsizlik	Yatay iş birliği
1	Swaminathan & Srinivasan	1999	AP	I, A	SP	Bölüntüleme algoritması (Partitioning algorithm)	Talep	-
2	Papadopoulos & Vidalis	2001	AP	I	SP	Sezgisel algoritma	Hizmet süresi	-
3	Dai vd.	2005	AP	I, A	MP	Oyun teorisi algoritması	Talep	-

#	Çalışmalar	Yıl	Problem tipi	Verilen temel kararlar	Model yaklaşımı	Çözüm yöntemi	Belirsizlik	Yatay iş birliği
4	Han & Damrongwongsiri	2005	SCP	I, A	MP	Genetik algoritma	Talep	-
5	Topaloglu & Kunnumkal	2006	IAP	I, L, A	DP	(1) Lagrangian gevşetmesi (2) Benders ayrıştırma algoritması	Getiri	-
6	Tanonkou vd.	2008	LOP	I, L	NLIP	Lagrangian gevşetmesi	Talep	-
7	Dong & Song	2009	Yeniden konumlandırma problemi	I, L, Rep	MP	(1) Genetik algoritma (2) Evrim stratejisi	Talep	-
8	Ghezavati vd.	2009	NDP	I, L, As	NLIP	Robust genetik algoritma	Talep	-
9	Gebennini vd.	2009	LAP	I, L, A, T, P	MIP	Genel amaçlı çözücü (CPLEX)	Talep	-
10	Paksoy vd.	2010	NDP	I, T, P	FMP	Genel amaçlı çözücü (LINDO)	(1) Talep (2) Çeşitli maliyetler	-
11	Han vd.	2011	PAP	I, A, P	SDP	Yinelemeli algoritma (Iterative algorithm)	Talep	-
12	Zhou vd.	2011	SS-AP	I, A, S	SDP	(1) Polinom algoritması (2) Sezgisel algoritma	Talep	-
13	Han vd.	2012	Getiri yönetimi problemi	I, A	SDP	Arama algoritması	Talep	-
14	Esfandiari & Seifbarghy	2013	AP	I, A	NLIP	(1) Genetik algoritma (2) Benzetilmiş tavlama algoritması	Talep	-
15	Li	2013	NDP	I, L, S	NLIP	Lagrangian gevşetmesi	Talep	-
16	Klosterhalfen vd.	2014	Filo yönetimi problemi	I, A	MILP	Genel amaçlı çözücü (CPLEX)	(1) Talep (2) Seyahat süresi	-
17	Lv vd.	2014	AP	I, A	MILP	Dağılık arama yöntemi algoritması (Scatter search algorithm)	(1) Talep (2) Getiri	-
18	Pasandideh vd.	2015	SCP	I, L, P, T	MINLP	(1) Baskın olmayan sıralamalı genetik algoritma (Non-dominated sorting genetic algorithm- NSGA-II) (2) Baskın olmayan derecelendirmeli genetik algoritma (Non-dominated ranking genetic algorithm- NREGA)	(1) Talep (2) Sabit ve değişken maliyetler (3) Kurulum ve üretim süresi	-
19	Ramezani vd.	2015	NDP	I, L, A, T	MO-MINLP	Robust optimizasyon	(1) Talep (2) Getiri oranı	-
20	Natarajan & Swaminathan	2017	IAP	I, A	SDP	İlk gelen ilk servis yöntemi (First-come-first-serve)	(1) Talep (2) Fonlama zamanlaması (3) Taksit tutarları	-
21	Battarra vd.	2018	IAP	I, A	MP	Genel amaçlı çözücü (CPLEX)	Deprem büyüklüğü	-

#	Çalışmalar	Yıl	Problem tipi	Verilen temel kararlar	Model yaklaşımı	Çözüm yöntemi	Belirsizlik	Yatay iş birliği
23	Patne vd.	2018	LAP	I, L, A	MP	Parçacık sürü optimizasyonu	Talep	-
24	Tikani vd.	2018	LOP	I, L, A	TS-SP	Genetik algoritma	Talep	-
25	Alavidoost vd.	2018	SCP	I, L, S	MINLP	Genetik algoritma	(1) Talep (2) Tedarik süresi (3) Çeşitli maliyetler	-
26	Lin & Wang	2018	LOP	I, L	MILP	(1) Genetik algoritma (2) Türev methodu (Gradient method)	Talep	-
27	Memari vd.	2018	NDP	I, T	MILP	Parçacık sürü optimizasyonu	(1) Talep (2) Arz	-
28	Fakhrzad & Goodarzian	2019	SCP	I, L, T	MO-MILP	Yayılmacı rekabetçi algoritma (Imperialist competitive algorithm- ICA)	(1) Nakliye maliyetleri (2) İade oranları (3) Tesis kapasitesi (4) İşlem ve kurulum süresi (5) Diğer	-
29	Mousavi vd.	2019	ILAP	I, L, A	MINLP	(1) Değiştirilmiş genetik algoritma (2) Parçacık sürü optimizasyonu	Talep	-
30	Jackson vd.	2019	AP	I, A	DP	Robust optimizasyon	Talep	-
31	Kim vd.	2019	SS-AP	I, A, S	ILP	Dal ve dondur algoritması (Branch-freeze algorithm)	Talep	-
32	Bayram vd.	2019	AP	I, A	MIP	Genel amaçlı çözücü (CPLEX)	(1) Talep (2) Üretim süresi	-
33	Aghalari vd.	2020	Liman yönetimi problemi	I, A	TS-MILP	(1) Benders ayrıştırma algoritması (2) Örneklem ortalama yakınsaması	(1) Su yolu koşulları	-
34	Guo vd.	2020	Konumlandırma problemi	I, L, A	SP	Sezgisel algoritma	Talep	-
35	Rezaei vd.	2021	ILAP	I, L, A, T	MINLP	(1) E-kısıt methodu (2) Grasshopper optimizasyon algoritması	Talep	-
36	Hemmati & Pasandideh	2021	LAP	I, L, A, T, S	MINLP	(1) LP-metrik tekniği (2) Çoktan seçmeli hedef programlama (3) Genetik algoritma	(1) Talep (2) Elde bulundurma ve eksiklik maliyeti oranı (3) Sabit maliyet	-
37	Zheng vd.	2021	IAP	I, A, LT, Re	TS-SMIP	Benders ayrıştırma algoritması	Talep	✓
38	Alamdari & Savard	2021	IAP	I, A	Analitik	Eylem oluşturma algoritması (Action Generation-AGen algorithm)	Talep	-
39	Manupati vd.	2021	LAP	I, L, T	MILP	Baskın olmayan sıralamalı genetik algoritma (Non-dominated sorting genetic)	(1) Talep (2) Taşıma maliyeti	-

#	Çalışmalar	Yıl	Problem tipi	Verilen temel kararlar	Model yaklaşımı	Çözüm yöntemi	Belirsizlik	Yatay iş birliği
40	Taghavi vd.	2022	(1) SS-AP (2) VRP	I, A, T, S, R	MISLP	Genel amaçlı çözücü (GAMS)	(1) Kalan kapasite oranı (2) Araçların ve rotaların aksaması	-
41	Maji vd.	2022	PIP	I, P	CCP	Baskın olmayan sıralamalı genetik algoritma (Non-dominated sorting genetic algorithm- NSGA-II)	Arıza olasılığı	-
42	Ehsani vd.	2023	ILAP	I, L, A, T	MIMP	LP-metrik tekniği	(1) Arz (2) Talep (3) Envanter maliyeti (4) Dağıtım maliyeti	-
43	Bu çalışma		NDP	I, A, T, LT, As	ILP	Genel amaçlı çözücü (CPLEX)	Talep	✓

I: Envanter, L: Lokasyon, A: Tahsis, As: Atama, S: Seçim, T: Taşıma, R: Rotalama, P: Üretim, LT: Aktarma, , Re: Yenileme, Rep: Yeniden konumlandırma, NDP: Ağ tasarımı problemi, IAP: Envanter tahsis problemi, AP: Tahsis problemi, LAP: Yer seçimi tahsis problemi, LOP: Yer seçimi problemi, ILAP: Envanter yer seçimi tahsis problemi, SS-AP: Tedarikçi seçimi ve tahsis problemi, PAP: Üretim tahsis problemi, PIP: Üretim envanter problemi, SCP: Tedarik zinciri problemi, VRP: Araç rotalama problemi, NLIP: Doğrusal olmayan tam sayılı programlama modeli, DP: Dinamik programlama modeli, SP: Stokastik programlama modeli, SDP: Stokastik dinamik programlama modeli, MP: Matematiksel programlama, MILP: Karma tam sayılı doğrusal programlama modeli, MINLP: Karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli, MIP: Karma tam sayılı programlama modeli, TS-SP: İki aşamalı stokastik programlama modeli, TS-MILP: İki aşamalı karma tam sayılı doğrusal programlama modeli, ILP: tam sayılı doğrusal programlama modeli, MIMP: Karma tam sayılı matematiksel programlama modeli, MISLP: Karma tam sayılı stokastik doğrusal programlama modeli, CCP: Şans kısıtlı programlama modeli, MO-MILP: Çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama modeli, TS-SMIP: İki aşamalı stokastik karma tam sayılı programlama modeli, LP: Doğrusal programlama modeli, MO-MINLP: Çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli, FMP: Bulanık matematiksel programlama, ML: Maksimum seviye.

3. PROBLEM TANIMI ve MATEMATİKSEL MODEL

Bu bölümde, ele alınan ağ tasarımı problemi tanımlanmakta ve ilgili problemin çözümü için önerilen matematiksel model sunulmaktadır.

3.1. Problem Tanımı

Çalışma kapsamında ele alınan ağ tasarımı problemi yönlü $G = \{D, V_i\}$ grafiğinde tanımlanmaktadır. Gösterimde D depo düğümlerini ve $V_i = \{V_1 \cup V_2 \cup V_3\}$ müşteri düğümlerini temsil etmektedir. Müşteri düğümleri kümesi, $V_1 = \{1, 2, \dots, |V_1|\}$ üst düzey müşteriler kümesinden, $V_2 = \{1, 2, \dots, |V_2|\}$ orta düzey müşteriler kümesinden ve $V_3 = \{1, 2, \dots, |V_3|\}$ temel düzey müşteriler kümesinden meydana gelmektedir. Depo konumunda bulunan tedarikçiler; dağıtım planlamasından ve üst düzey müşterilerin stok yönetiminden, ayrıca orta düzey ve temel düzey müşterilerin taleplerini karşılamak üzere aktarma merkezi görevi yapan üst düzey müşterilere ürünlerin teslimatından sorumludurlar. Problem $T = \{1, 2, \dots, |T|\}$ dönemden oluşan sonlu planlama ufkunda ele alınmıştır.

Depolardan üst ve orta düzey müşterilere ürün sevkiyatı, her depoda her dönem başında hazır halde bulunan k adet homojen araçla gerçekleştirilmektedir. Bu araçların her biri cap adet ürün taşıma kapasitesine sahiptir. Her araç, kullanıldığı her dönemde $\pi \in$ araç kullanımı sabit maliyeti meydana getirmektedir. Depolardan harekete başlayan araçlar, ilgili üst veya orta düzey müşteriye tek bir

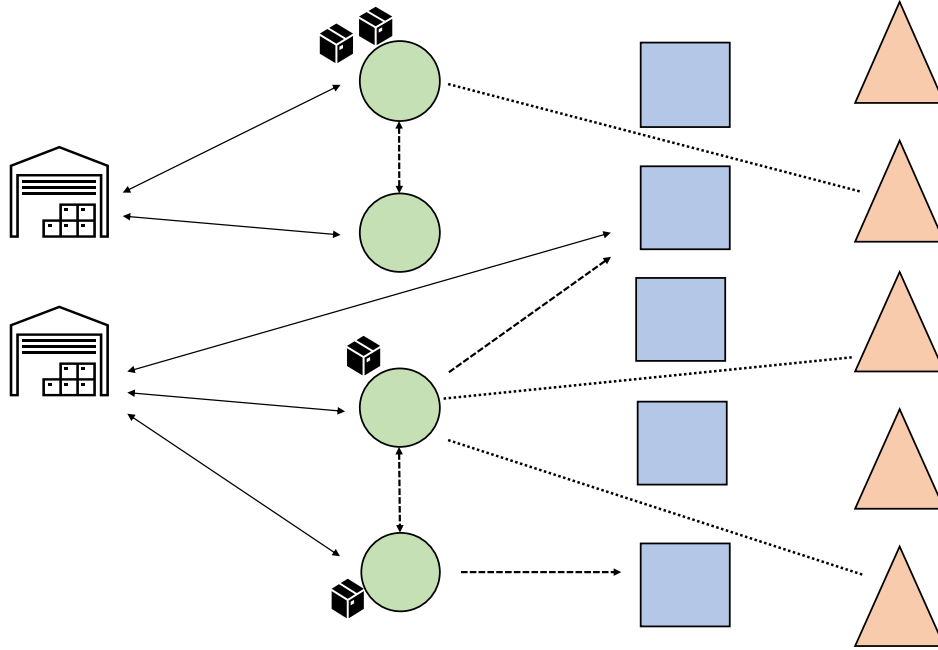
güzergâhtan ulaşıp ürünleri teslim etmekte, ardından aynı güzergâhı kullanarak ilgili depoya geri dönmektedirler. Herhangi bir dönemde $d \in D$ deposundan $i \in \{V_1 \cup V_2\}$ üst düzey veya orta düzey müşterisine hareket eden her araç için $t_{d,i} \in \mathbb{R}$ ürün gönderim maliyeti meydana gelmektedir. Üst düzey müşteriler, kendi aralarında ve orta düzey müşterilere dış kaynaklı taşıyıcı yoluyla ürün aktarımı yapabilmektedirler. Herhangi bir dönemde $i \in V_1$ üst düzey müşterisinden $j \in V_1$ üst düzey müşterisine ($i \neq j$) parti başına ürün aktarma maliyeti $f_{i,j} \in \mathbb{R}$, $i \in V_1$ üst düzey müşterisinden $j \in V_2$ orta düzey müşterisine parti başına ürün aktarma maliyeti ise $f'_{i,j} \in \mathbb{R}$ olarak gösterilmiştir.

Üst düzey müşterilerin ürün talepleri belirsizlik içermektedir. Bu taleplerin her dönem için bilinen bir ortalama ($\mu_{i,t}, i \in V_1, t \in T$) ve standart sapma ($\sigma_{i,t}, i \in V_1, t \in T$) ile normal dağılıma sahip olduğu varsayılmaktadır. Tedarikçiler, üst düzey müşteriler için üzerinde anlaşmaya varılan bir hizmet düzeyini (z_α) garanti etmekte ve müşteriler bu hizmet düzeyi kapsamında envanter yönetimini tedarikçilere bırakmaktadır. Her dönem sonunda, üst düzey müşterilerin depolarında kalan her bir adet ürün için $h \in \mathbb{R}$ elde bulundurma maliyeti meydana gelmektedir. Üst düzey müşterilerin emniyet stokları da dönem sonu envanter miktarlarına dahildir.

Orta düzey ve temel düzey müşterilerin talepleri planlama ufkunun başında kesin olarak bilinmektedir. Bu talepler parti bazında ele alınmış olup, her partide b adet ürünün yer aldığı varsayılmıştır. Orta düzey müşterilerin karşılanamayan talepleri için parti başına $p \in \mathbb{R}$, temel düzey müşterilerin karşılanamayan talepleri için ise parti başına $v \in \mathbb{R}$ kayıp satış maliyeti oluşmaktadır. Müşterilerin herhangi bir dönemde karşılanamayan ürün talepleri, bir sonraki döneme aktarılmamaktadır. Orta düzey müşterilere ürünler doğrudan depolardan gönderilebildiği gibi, üst düzey müşterilerden aktarma yolu ile de ürün gönderimi gerçekleştirilebilmektedir. Temel düzey müşteriler, ürünleri yalnızca üst düzey müşterilerden teslim alabilmektedirler. Herhangi bir temel düzey müşteri, kendisine önceden belirlenmiş olan maksimum mesafeden daha yakın konumda olan bütün üst düzey müşterilerden ürün teslim alabilmekte, bu mesafeden daha uzakta bulunan üst düzey müşterilerden ise ürün teslim alamamaktadır. Problemin amacı toplam maliyeti minimize edecek şekilde ürün akışlarının sağlanmasıdır. Problemden üst düzey müşteriler için envanter, tahsis (*allocation*), taşıma ve aktarma kararları verilirken; orta düzey müşteriler için tahsis, taşıma ve aktarma kararları; temel düzey müşteriler için ise atama kararı verilmektedir.

Şekil 1’de ilgili problemin genel bir gösterimi verilmiştir.

Şekil 1.İlgili Problemin Genel Gösterimi





3.2. Matematiksel Model

Bu bölümde, ele alınan problemin tam sayılı doğrusal programlama modelinin formülasyonu sunulmaktadır. Matematiksel modelin ifade edilmesinde kullanılan kümeler, parametreler ve karar değişkenleri Tablo 2’de yer almaktadır.

Tablo 2 Notasyon Tablosu

Sembol	Açıklama	Birim
Kümeler		
V_i	Müşteriler kümesi, $V_i = \{V_1 \cup V_2 \cup V_3\}$	
V_1	Üst düzey müşteriler kümesi, $V_1 = \{1, 2, \dots, V_1 \}$	
V_2	Orta düzey müşteriler kümesi, $V_2 = \{1, 2, \dots, V_2 \}$	
V_3	Temel düzey müşteriler kümesi, $V_3 = \{1, 2, \dots, V_3 \}$	
D	Depolar kümesi, $D = \{1, 2, \dots, D \}$	
T	Zaman periyotları kümesi, $T = \{1, 2, \dots, T \}$	
Parametreler		
cap	Araçların ürün taşıma kapasitesi	Adet
π	Sabit araç kullanım maliyeti	€
$f_{i,j}$	$i \in V_1$ üst düzey müşterisinden $j \in V_1$ üst düzey müşterisine bir parti ürün gönderme maliyeti	€/adet
$f'_{i,j}$	$i \in V_1$ üst düzey müşterisinden $j \in V_2$ orta düzey müşterisine bir parti ürün gönderme maliyeti	€/adet
h	Üst düzey müşteri depolarında dönem sonunda kalan ürünler için elde bulundurma maliyeti	€/adet
$t_{d,t}$	$d \in D$ deposundan $i \in V_1 \cup V_2$ üst düzey ve orta düzey müşterileri için ürün gönderim maliyeti	€/adet
p	Orta düzey müşterilerde bir parti ürünün kayıp satışının maliyeti	€/adet
v	Temel düzey müşterilerde bir parti ürünün kayıp satışının maliyeti	€/adet
$d_{i,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_1$ üst düzey müşterisi için $\mu_{i,t}$ ortalama ve $\sigma_{i,t}$ standart sapma ile normal dağılım gösteren belirsiz talep miktarı	Adet
$d'_{i,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_2 \cup V_3$ orta düzey veya temel düzey müşterisi için parti büyüklüğünde talep miktarı	Adet

z_α	$i \in V_1$ üst düzey müşterisi için belirlenen müşteri hizmet düzeyi	
$l_{i,j}$	$j \in V_3$ temel düzey müşterisi $i \in V_1$ üst düzey müşterisinin lokasyonunu ürün alma (gel-al) noktası olarak kullanabilme imkanına sahipse 1, değilse 0	(0,1)
b	Gönderilen ürünlerin parti büyüklüğü	Adet
k	Depoda bulunan araç sayısı	Adet
cv	Varyasyon katsayısı	
M	Yeterince büyük bir sayı	
$E\{. \}$	Beklenti parametresi	

Karar Değişkenleri		
$I_{i,t}$	$t \in T$ periyodunun sonunda $i \in V_1$ üst düzey müşterisinin envanter seviyesi, $I_{i,0} = 0, \forall i \in V_1$	Adet
$X_{d,i,t}$	$t \in T$ periyodunda $d \in D$ deposundan $i \in V_1 \cup V_2$ üst düzey veya orta düzey müşterisine hareket eden araç sayısı	Adet
$Y_{i,j,t}$	$t \in T$ periyodunda $j \in V_3$ temel düzey müşterisinin talebini karşılamak için $i \in V_1$ üst düzey müşterisine gönderilen parti sayısı	Adet
$L_{i,j,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_1$ üst düzey müşterisinden $j \in V_1$ üst düzey müşterisine gönderilen parti sayısı, $i \neq j$	Adet
$Z_{i,j,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_1$ üst düzey müşterisinden $j \in V_2$ orta düzey müşterisine gönderilen parti sayısı	Adet
$S_{i,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_2$ orta düzey müşterisinin parti büyüklüğünde karşılanmayan talep miktarı	Adet
$U_{i,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_3$ temel düzey müşterisinin parti büyüklüğünde karşılanmayan talep miktarı	Adet
$Q_{d,i,t}$	$t \in T$ periyodunda $d \in D$ deposundan $i \in V_1 \cup V_2$ üst düzey veya orta düzey müşterisine gönderilen ürün miktarı	Adet

En küçükle (Minimize)

$$\sum_{i \in V_1} \sum_{t \in T} h E\{I_{i,t}\} \quad (1.i)$$

$$+ \sum_{d \in D} \sum_{i \in V_1 \cup V_2} \sum_{t \in T} \pi X_{d,i,t} \quad (1.ii)$$

$$+ \sum_{d \in D} \sum_{i \in V_1 \cup V_2} \sum_{t \in T} t_{d,i} X_{d,i,t} \quad (1.iii)$$

$$+ \sum_{i \in V_1} \sum_{j \in V_1, i \neq j} \sum_{t \in T} f_{i,j} L_{i,j,t} + \sum_{i \in V_1} \sum_{j \in V_2} \sum_{t \in T} f'_{i,j} Z_{i,j,t} \quad (1.iv)$$

$$+ \sum_{i \in V_2} \sum_{t \in T} p S_{i,t} + \sum_{i \in V_3} \sum_{t \in T} v U_{i,t} \quad (1.v)$$

Amaç fonksiyonu (1.i), (1.ii), (1.iii), (1.iv) ve (1.v) şeklinde beş bölümden oluşmaktadır. (1.i) üst düzey müşterilerin envanter elde bulundurma maliyetini, (1.ii) araçların kullanımının sabit maliyetini, (1.iii) üst ve orta düzey müşterilere depolardan ürün gönderim maliyetini, (1.iv) üst düzey müşterilerin kendi aralarında ve üst düzey müşteriler ve orta düzey müşteriler arasında aktarma sonucu oluşan taşıma maliyetini ve (1.v) orta ve temel düzey müşteriler için kayıp satışta ortaya çıkan ceza maliyetini içermektedir.

$$E\{I_{i,t}\} = \left(E\{I_{i,t-1}\} + \sum_{d \in D} Q_{d,i,t} + \sum_{j \in V_1, i \neq j} L_{j,i,t} b \right) - (E\{d_{i,t}\} + \sum_{j \in V_1, i \neq j} L_{i,j,t} b + \sum_{j \in V_3} Y_{i,j,t} b + \sum_{j \in V_2} Z_{i,j,t} b) \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (2)$$

Kısıt seti (2), üst düzey müşterilerin beklenen dönem sonu envanter miktarlarını düzenlemektedir. Her bir üst düzey müşterinin her bir periyotta beklenen dönem sonu envanter miktarı hesaplanırken, müşterinin bir önceki periyot sonunda beklenen envanter miktarı, müşteriye depolardan gönderilen ürün miktarı ve müşteriye diğer üst düzey müşterilerden aktarılan parti bazında ürün miktarı toplanır; müşterinin beklenen talep miktarı, müşteriden diğer üst düzey müşterilere parti bazında gönderilen ürün

miktarı, temel düzey müşteriler için ayrılmış parti bazında ürün miktarı ve orta düzey müşterilere parti bazında gönderilen ürün miktarı çıkartılır.

$$E\{I_{i,t}\} \geq \left(\sum_{j=1}^t G_{d_{i,t-j+1}+d_{i,t-j+2}+\dots+d_{i,t}}^{-1}(\alpha) - \sum_{k=t-j+1}^t E\{d_{i,k}\} \right) \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (3)$$

Kısıt seti (3)'te yer alan $G_{d_{i,1}+d_{i,2}+\dots+d_{i,t}}(\alpha)$ fonksiyonu $d_{i,1} + d_{i,2} + \dots + d_{i,t}$ toplamının kümülatif dağılımını gösterir. (α) ise belirlenen hizmet düzeyini temsil etmektedir. Bu durumda $G_{d_{i,1}+d_{i,2}+\dots+d_{i,t}}^{-1}(\alpha)$ toplam talebin belirlenen hizmet düzeyinde karşılanmasını sağlayan fonksiyon olarak tanımlanabilir.

$$E\{I_{i,t}\} \geq \sqrt{\sum_{k=1}^t \mu_{i,k}^2 cv^2} z_\alpha \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (3.1)$$

Talebin $\mu_{i,t}$ ortalama ve $\sigma_{i,t}$ standart sapma ile normal dağıldığı varsayımı altında; (3) numaralı kısıt seti yeniden yazılarak kısıt seti (3.1) şeklinde ifade edilebilir (bkz. Soysal vd., 2015).

$$\sum_{i \in V_1} Y_{i,j,t} l_{i,j} b = d'_{j,t} b - U_{j,t} b \quad \forall j \in V_3, t \in T \quad (4)$$

Kısıt seti (4), temel düzey müşterilerin ürün talepleri ile üst düzey müşterilerden teslim aldıkları ürün miktarlarını arasında ilişki kurmaktadır.

$$Y_{i,j,t} b \leq \forall i \in V_1, j \in V_3, t \in T \quad (5)$$

Kısıt seti (5), temel düzey müşterilerin önceden belirlenen mesafeden daha uzakta konumlanmış üst düzey müşterilerden ürün teslim almalarını engellemektedir.

$$\sum_{d \in D} Q_{d,i,t} + \sum_{j \in V_1} Z_{j,i,t} b = d'_{i,t} b - S_{i,t} b \quad \forall i \in V_2, t \in T \quad (6)$$

Kısıt seti (6), orta düzey müşterilerin ürün talepleri ile depodan ve üst düzey müşterilerden teslim aldıkları ürün miktarlarını ilişkilendirmektedir.

$$Q_{d,i,t} \leq cap X_{d,i,t} \quad \forall d \in D, i \in V_1 \cup V_2, t \in T \quad (7)$$

Kısıt seti (7), depolardan üst düzey ve orta düzey müşterilere ürün taşıyan araçların taşıma kapasitelerinin üzerinde yüklenmesini engellemektedir.

$$\sum_{i \in V_1 \cup V_2} X_{d,i,t} \leq k \quad \forall d \in D, t \in T \quad (8)$$

Kısıt seti (8), depolardan müşterilere gönderilen araçların sayısı ile depolarda mevcut halde bulunan araçların sayısını ilişkilendirmektedir.

$$I_{i,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall i \in V_1, t \in T \quad (9)$$

$$Y_{i,j,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall i \in V_1, j \in V_3, t \in T \quad (10)$$

$$L_{i,j,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall i \in V_1, j \in V_1, t \in T \quad (11)$$

$$S_{i,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall i \in V_2, t \in T \quad (12)$$

$$U_{i,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall i \in V_3, t \in T \quad (13)$$

$$X_{d,i,t}, Q_{d,i,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall d \in D, i \in V_1 \cup V_2, t \in T \quad (14)$$

$$Z_{i,j,t} \in Z^+ \cup 0 \quad \forall i \in V_1, j \in V_2, t \in T \quad (15)$$

Kısıt setleri (9)-(15) modelde yer alan karar değişkenlerinin değer kümesini ifade eder.

Talep belirsizliği varsayımı ile tam sayılı doğrusal programlama modeli (1.i) - (1.v), (2), (3.1), (4) - (15) numaralı kısıt kümeleri ile tanımlanmaktadır.

4. NÜMERİK ANALİZLER

Bu bölümde probleme dair yapılan numerik analizlerin sonuçları tartışılmaktadır. Öncelikle, geliştirilen matematiksel modelin uygulanabilirliğinin gösterilebilmesi için bir örnek olay oluşturulmuş ve bu örnek olayın çözümüne dair veriler paylaşılmıştır. Ardından, ele alınan probleme dair dağıtım sürecinde meydana gelebilecek değişiklikler göz önüne alınarak üst düzey müşteriler arasında ürün aktarımının olmadığı, temel düzey müşteriler ve üst düzey müşterilerin ürün temin etme uzaklığının farklılaştırıldığı, depolarda hazır halde bulunan araçların sayısında sınırın olmadığı ve orta düzey müşterilere yalnızca doğrudan dağıtım yoluyla ürün teslimi yapıldığı şeklinde oluşturulan dört farklı senaryo ele alınmış, geliştirilen matematiksel model ile bu senaryoların çözümleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen çözümler

detaylı olarak incelenmiştir. Senaryo çözümleri ile örnek olay çözümleri karşılaştırılmış ve çözümlerin farklı problem parametreleri altındaki değişimleri hakkında yorumlara yer verilmiştir.

Nümerik analizler yapılırken geliştirilen matematiksel model IBM OPL ILOG CPLEX yazılımının 22.1.0 sürümü kullanılarak 64 GB belleğe ve 64 bit işletim sistemine sahip, Intel(R) Xeon(R) Silver 4216 CPU 2.10 GHz işlemcili bir bilgisayarda çözülmüştür.

Geliştirilen matematiksel model ile problem kapsamında optimal maliyeti elde etmek amaçlanmıştır. Yapılan numerik analizlerin performansının değerlendirilebilmesi adına temel performans kriterleri (TPK) belirlenmiştir. Bu kriterler; (i) araç kullanımı sabit maliyeti, (ii) elde bulundurma maliyeti, (iii) kayıp satış maliyeti, (iv) depolardan müşterilere ürün taşıma maliyeti, (v) ürün aktarma maliyeti, (vi) toplam maliyet, (vii) üst düzey müşteriler arasında aktarılan ürün miktarı, (viii) üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarılan ürün miktarı, (ix) depolardan orta düzey müşterilere gönderilen ürün miktarı, (x) orta düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı, (xi) temel düzey müşterilerin teslim aldığı ürün miktarı ve (xii) temel düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı şeklindedir.

4.1. Örnek Olay Veri Setinin Tanıtılması

Tartışılan problemin çözümü için geliştirilen matematiksel modelin örnek olay ve senaryo analizlerinde kullanılan parametreler için İngiltere’de bulunan, otomobil lastiği dağıtım faaliyetleri yürüten bir tedarikçi firmanın operasyonları esas alınmıştır. Ele alınan dağıtım ağı, 5 depo düğümü, 10 üst düzey müşteri (HT), 15 orta düzey müşteri (MT) ve 25 temel düzey müşteri (BT) düğümünden meydana gelmektedir. Düğümler arasındaki mesafe verileri, farklı boyutlarda rotalama problemleri için örnekler sunan bir veri kütüphanesinden² alınmıştır (UK75_01).

Örnek olay kapsamında 4 periyottan meydana gelen bir planlama ufku belirlenmiştir. Her periyotta, depoların her birinde operasyona hazır 3’er adet homojen özelliklere sahip kamyon bulunduğu varsayılmıştır. Bu kamyonların her birinin 7,20 metre uzunluğa, 2,45 metre genişliğe ve 2,70 metre yüksekliğe sahip oldukları³ varsayılmıştır. Problem kapsamında dağıtım yapılan otomobil lastiklerin 2438x1143x1295 milimetrelik paletler⁴ ile taşındığı ve her palete 63 adet (1 parti) lastiğin yerleştirilebildiği göz önünde bulundurularak yapılan hesaplama sonucunda her kamyonun taşıma kapasitesinin 756 adet ürün (12 parti) olduğu varsayılmıştır. Depolardan hareket eden araçların yakıt tüketimi miktarlarının 24 litre/100 km olduğu ve İngiltere’de benzin fiyatının 2,16 €/litre olduğu varsayılmıştır. Bu veriler kullanılarak depodan üst ve orta düzey müşterilere hareket eden araçların yakıt maliyetleri gidiş ve dönüş yolculukları birlikte olarak hesaplanmıştır. Ayrıca her aracın hareket ettiği her periyotta 100 € sabit araç maliyeti meydana getirdiği varsayılmıştır.

Problem kapsamında üst düzey müşterilerin taleplerinin önceden kesin olarak bilinmediği, taleplerin her dönem için bilinen bir ortalama ve standart sapma ile normal dağılıma sahip olduğu kabul edilmektedir. Üst düzey müşterilerin talep ortalamaları $U[100,250]$ olmak üzere rastgele belirlenmiş. Üst düzey müşterilerin ürün taleplerinin varyasyon katsayısının (*coefficient of variation*) her periyotta sabit ve 0,2 olduğu varsayılmıştır. Her periyotta, üst düzey müşterilerin taleplerinin en az 95% olasılıkla karşılanması gerekmektedir ($z_{\alpha} = 1,96$). Üst düzey müşterilerin dönem sonunda envanterlerinde kalan her bir adet ürün için ürünün ortalama satış fiyatının %10’u baz alınarak hesaplanan 1,53 € elde bulundurma maliyeti meydana gelmektedir. Üst düzey müşterilerin emniyet stokları da dönem sonu envanter miktarlarına dahildir. Üst düzey müşterilerin depolarının planlama ufkunun başlangıcında boş olduğu varsayılmıştır.

Temel ve orta düzey müşterilerin ürün talepleri planlama ufkunun başlangıcından itibaren kesin olarak bilinmekte ve parti adedi boyutunda sırasıyla $U[1,2]$ ve $U[1,3]$ olarak rastgele dağılmaktadır. Temel ve orta düzey müşterilerin karşılanamayan talepleri bir sonraki periyoda aktarılmamakta, her periyotta temel düzey müşterilerin karşılanamayan her bir parti talebi için 18,9 €, orta düzey müşterilerin karşılanamayan her bir parti talebi için ise 50,4 € kayıp satış maliyeti meydana gelmektedir.

Temel düzey müşteriler, taleplerini karşılamak için ihtiyaç duydukları ürünleri yalnızca üst düzey müşterilerden teslim alabilmektedirler. Örnek olay kapsamında temel düzey müşterilerin üst düzey müşterileri alım noktası olarak kullanabilme mesafesinin üst limiti 100 km olarak belirlenmiştir. Başka

² <http://www.apollo.management.soton.ac.uk/prplib.htm> Erişim tarihi: Ocak 2023

³ <https://tirport.com/kamyon-olculeri/> Erişim tarihi: Ocak 2023

⁴ https://www.ctequipmentguide.ca/avi/martins/Racking_Passenger_SUV_Tires.pdf Erişim tarihi: Ocak 2023

bir deyişle, herhangi bir temel düzey müşteri, kendisine 100 km mesafeden daha yakında bulunan bütün üst düzey müşterileri ürün alım noktası olarak kullanabiliyorken, bu mesafeden daha uzaktaki üst düzey müşterileri ise ürün alım noktası olarak kullanamamaktadır. Orta düzey müşteriler ise, ürünleri direkt olarak depolardan tedarik edebildikleri gibi, üst düzey müşterilerden aktarma yoluyla da ürün temini sağlayabilmektedirler. Benzer şekilde, üst düzey müşteriler de ürünleri hem depolardan tedarik edebilmekte hem de başka üst düzey müşterilerden aktarım yoluyla ürün tedariki sağlayabilmektedirler. Müşteriler arasında gerçekleşen ürün aktarımı işlemlerinde yakıt tüketimi 19 litre/100 km olan homojen kamyonlar kullanılmaktadır. Aktarım maliyetleri, düğümler arasındaki mesafeye bağlı olmak üzere gönderilen her bir parti ürün için gidiş ve dönüş yolculukları birlikte olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3'te örnek olayda kullanılan problem parametreleri özetlenmektedir.

Tablo 3 Örnek Olayda Kullanılan Problem Parametrelerinin Özeti

Parametre	Açıklama	Değer	Kaynak
cap	Araçların ürün taşıma kapasitesi	756 adet	Canadian Tire
π	Sabit araç kullanım maliyeti	100 € / periyot	MotorTransport
$f_{i,j}$	$i \in V_1$ üst düzey müşterisinden $j \in V_1$ üst düzey müşterisine bir parti ürün gönderme maliyeti	-	varsayımsal
$f'_{i,j}$	$i \in V_1$ üst düzey müşterisinden $j \in V_2$ orta düzey müşterisine bir parti ürün gönderme maliyeti	-	varsayımsal
h	Üst düzey müşteri depolarında dönem sonunda kalan ürünler için elde bulundurma maliyeti	1,53 €/adet	(Soysal vd., 2018)
$t_{d,t}$	$d \in D$ deposundan $i \in V_1 \cup V_2$ üst düzey ve orta düzey müşterileri için ürün gönderim maliyeti	-	varsayımsal
p	Orta düzey müşterilerde bir parti ürünün kayıp satışının maliyeti	50,4 € / parti	(Chen vd., 2017)
v	Temel düzey müşterilerde bir parti ürünün kayıp satışının maliyeti	18,9 € / parti	(Chen vd., 2017)
$d_{i,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_1$ üst düzey müşterisi için $\mu_{i,t}$ ortalama ve $\sigma_{i,t}$ standart sapma ile normal dağılım gösteren belirsiz talep miktarı	-	varsayımsal
$d'_{i,t}$	$t \in T$ periyodunda $i \in V_2 \cup V_3$ orta düzey veya temel düzey müşterisi için parti büyüklüğünde talep miktarı	-	varsayımsal
z_α	$i \in V_1$ üst düzey müşterisi için belirlenen müşteri hizmet düzeyi	1,96	varsayımsal
$l_{i,j}$	$j \in V_3$ temel düzey müşterisi $i \in V_1$ üst düzey müşterisinin lokasyonunu ürün alma (gel-al) noktası olarak kullanabilme imkanına sahipse 1, değilse 0	-	varsayımsal
b	Gönderilen ürünlerin parti büyüklüğü	63 adet	Canadian Tire
k	Depoda bulunan araç sayısı	3 adet	varsayımsal
cv	Varyasyon katsayısı	0,2	varsayımsal
M	Yeterince büyük bir sayı	9999999	varsayımsal

4.2. Örnek Olay Çözümü

Geliştirilen matematiksel model, bir önceki bölümde anlatılan örnek olay parametreleri ile CPLEX yazılımında çözülmüştür. Tablo 4'te örnek olayın temel performans kriterleri özetlenmiştir.

Tablo 4 Örnek Olay Çözümüne Dair Temel Performans Kriterleri

TPK	Örnek Olay
Araç kullanımı sabit maliyeti (€)	3.400
Elde bulundurma maliyeti (€)	6.494,8
Kayıp satış maliyeti (€)	113,4
Depodan müşterilere ürün taşıma maliyeti (€)	1.386,1
Ürün aktarma maliyeti (€)	428

Toplam Maliyet (€)	11.822,3
Üst düzey müşteriler arasında aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	20
Üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	116
Depolardan orta düzey müşterilere gönderilen ürün miktarı (parti adedi)	0
Orta düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	0
Temel düzey müşterilerin teslim aldığı ürün miktarı (parti adedi)	142
Temel düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	6

Örnek olay çözümünde toplam maliyet 11.822,3 € olmuştur. Toplam maliyetin yaklaşık %54'ünü üst düzey müşterilerin envanter elde bulundurma maliyeti oluşturmaktadır. Depodan hareket eden 34 araç için 3.400 € sabit araç kullanım maliyeti meydana gelmiş ve araçların düğümler arasındaki hareketleri 1.386,1 € maliyet oluşturmuştur. Depolardan hareket eden araç verileri Tablo 5'te gösterilmiştir. Üst düzey müşteriler arasında 20 parti ürün, üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere ise 116 parti ürün aktarılmış, bu aktarımlar sonucunda 428 € ürün aktarım maliyeti meydana gelmiştir. Üst düzey müşterilerin ürün akışlarına ve dönem sonu envanter miktarlarına dair detaylı veriler Tablo 6'da gösterilmiştir. Depolardan yalnızca üst düzey müşterilere ürün taşınmış, orta düzey müşteriler ise ürün taleplerini üst düzey müşterilerden aktarılan ürünler ile karşılamışlardır. Orta düzey müşterilerin üst düzey müşterilerden ürün temin etmeleri, direkt olarak depodan ürün gönderiminden daha az maliyetli olduğu için bu yolun tercih edildiği anlaşılmaktadır. Temel düzey müşterilerin 6 parti ürün talebi karşılanamamış ve 113,4 € kayıp satış maliyeti meydana gelmiştir. Orta düzey müşterilerin ise bütün taleplerini karşılanmıştır. Örnek olay çözümünde yalnızca temel düzey müşterilerde karşılanamayan talepler meydana geldiği ve orta düzey müşterilerin ise bütün talepleri karşılanabildiği görülmektedir. Temel düzey müşterilerin 4 periyottaki toplam ürün talepleri 148 parti ürün iken bu taleplerin yaklaşık %96'sı karşılanabilmiş, toplam talebin yaklaşık %4'üne tekabül eden 6 parti ürün ise kayıp satış maliyeti olarak toplam maliyete yansımıştır.

Tablo 5'ten görüldüğü üzere 1, 3 ve 4 numaralı depolardan ürün transferi sağlanmış, 2 ve 5 numaralı depolardan ise herhangi bir ürün akışı gerçekleşmemiştir. Her depoda her periyotta hazır halde 3 araç bulunması göz önünde bulundurularak 3 ve 4 numaralı depolarda bütün periyotlarda bütün araçların kullanıldığı, 1 numaralı depoda ise 1 ve 3. periyotlarda bütün araçların kullanıldığı görülmektedir.

Tablo 5 Örnek Olay Çözümünde Depolardan Hareket Eden Araç Sayıları

	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	4. Periyot
Depo1	3	2	3	2
Depo2	-	-	-	-
Depo3	3	3	3	3
Depo4	3	3	3	3
Depo5	-	-	-	-

Tablo 6'ya bakıldığında üst düzey müşteriler pek çok durumda depolardan direkt olarak ürün temin etmişler, bazı durumlarda ise depodan ürün almayı başka üst düzey müşterilerden ürün aktarımı yoluyla operasyonlarını sürdürmüşlerdir. Örneğin 15 numaralı üst düzey müşteriye ilk periyotta depolardan ürün gönderimi olmamış, müşteri 13 numaralı üst düzey müşteriden aktarılan 3 parti ürün ile ilk periyot sonunda envanterinde 72 adet ürün depolamıştır. Aynı müşteriye ikinci periyotta ise depolardan 714 adet ürün gönderimi sağlanmış, müşteri diğer üst düzey müşterilere bu periyotta 5 parti ürün göndermiştir. Tablodan görüldüğü gibi, temel düzey ve orta düzey müşterilere üst düzey müşterilerden ürün aktarımları gerçekleşmiştir. Örneğin 9 numaralı üst düzey müşteri, ikinci periyot sonunda kendi deposunda 81 adet ürün stoklamış, üçüncü periyotta depolardan 719 adet ürün müşteriye teslim edilmiş, müşteri ise 3 parti ürünü temel düzey müşterilere teslim etmiş, 4 parti ürünü ise orta düzey müşterilere aktarmıştır.

Tablo 6 Örnek Olay Çözümünde Üst Düzey Müşteri Ürün Akışları ve Dönem Sonu Envanter Miktarları

Üst düzey müşteriler	1. Periyot						2. Periyot					
	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I
HT6	582	-	-	-	4	93	743	-	-	7	2	112
HT7	730	-	-	2	6	64	711	-	-	4	5	81
HT8	708	-	-	8	1	40	735	-	-	7	2	68
HT9	724	-	-	2	6	62	719	-	-	5	4	81
HT10	731	-	-	-	8	64	722	-	-	-	7	112
HT11	667	-	-	7	-	69	-	4	-	-	-	105
HT12	698	-	-	7	-	73	746	-	-	10	-	84
HT13	736	-	3	6	-	48	-	5	-	-	-	119
HT14	632	-	-	3	4	54	756	-	4	-	4	98
HT15	-	3	-	-	-	72	714	-	5	2	-	108

Üst düzey müşteriler	3. Periyot						4. Periyot					
	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I
HT6	731	-	-	3	4	155	756	-	2	2	5	164
HT7	707	-	-	2	7	95	723	-	-	3	6	110
HT8	716	-	-	7	1	99	739	-	-	2	6	128
HT9	719	-	-	3	4	124	-	2	-	-	-	132
HT10	749	-	-	1	7	141	756	-	-	-	8	166
HT11	-	2	-	-	-	116	-	2	-	-	-	139
HT12	1501	-	-	20	-	117	730	-	-	7	2	131
HT13	730	-	2	3	3	135	733	-	-	8	-	158
HT14	722	-	2	-	5	137	735	-	2	2	5	150
HT15	-	2	-	-	-	114	720	-	-	9	-	127

HT: Üst düzey müşteriler, Q: Müşteriye depolardan aktarılan ürün miktarı, L⁺: müşteriye diğer müşterilerden parti boyutunda

4.3. Senaryo Analizleri

Bu bölümde, tartışılan probleme dair farklı senaryolar oluşturulmuş, geliştirilen matematiksel model ile bu senaryoların çözümleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen çözümler detaylı olarak incelenmiştir. Senaryo çözümleri ile örnek olay çözümleri karşılaştırılmış ve çözümlerin farklı problem parametreleri altındaki değişimleri hakkında yorumlara yer verilmiştir.

İncelenen senaryolar oluşturulurken dağıtım sürecinde meydana gelebilecek değişiklikler önemsenmiş, bu değişiklikleri yansıtacak dört senaryo üzerinde durulmuştur. İlk senaryoda üst düzey müşteriler arasındaki ürün aktarımına izin verilmemiş, böylece üst düzey müşterilere ürün akışının direkt olarak yalnızca depolardan sağlandığı durumda temel performans kriterlerinin örnek olaya göre değişimleri ve üst düzey müşterilerin ürün akışlarındaki farklar incelenmiştir. İkinci senaryoda temel düzey müşterilerin ürün teslim alabildikleri üst düzey müşterileri belirleyen maksimum mesafe kısıtı 100 km'den 75 km'ye düşürülmüş, bu şekilde temel düzey müşterilerin daha kısıtlı seçenekler arasından ürün tedarik edebilmeleri durumunda kayıp satışlarda meydana gelen değişim incelenmiştir. Üçüncü senaryoda depolarda her periyot başında 3 araç bulunması kısıtı ortadan kaldırılmış, böylece depolardan daha fazla aracın hareket edebilmesi durumunda temel performans kriterlerinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Dördüncü senaryoda ise orta düzey müşterilerin üst düzey müşterilerden aktarma yoluyla ürün temin etmelerine izin verilmemiş, bu şekilde orta düzey müşterilere yalnızca depolardan ürün aktarımı gerçekleştiği durumlarda temel performans kriterlerinin, kayıp satış miktarlarının ve ürün akışlarının örnek olaya göre değişimleri incelenmiştir.

Bahsedilen dört senaryo sırasıyla S1, S2, S3 ve S4 olarak kısaltılmış ve senaryoların özetleri Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7 İncelenen Senaryoların Özeti

S1	Üst düzey müşteriler arasında ürün aktarımı yok.
S2	Temel düzey müşteriler en fazla 75 km uzaklıktaki üst düzey müşterilerden ürün temin edebilirler.
S3	Depolarda hazır halde bulunan araçların sayısında sınır yok.
S4	Orta düzey müşteriler üst düzey müşterilerden aktarım yoluyla ürün temin edemezler.

4.3.1. S1 Senaryosunun Çözümü

Matematiksel modeli S1 senaryosuna uygun hale getirebilmek için (16) numaralı kısıt seti modele eklenmiştir. Bu kısıt kümesi, üst düzey müşteriler arasında ürün aktarımını sağlayan karar değişkenlerinin değerini bütün periyotlarda sifıra eşitleyerek aktarım yapılmamasını sağlamaktadır.

$$L_{i,j,t} = 0 \forall i, j \in V_1: i \neq j, t \in T \quad (16)$$

Üst düzey müşteriler arasında ürün aktarımının gerçekleşmediği durumda elde edilen çözümü özetleyen temel performans kriterleri Tablo 8’de, üst düzey müşterilerin ürün akışlarına ve dönem sonu envanter miktarlarına dair detaylar Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 8’de üst düzey müşteriler arasında ürün akışı olmadığı durumda toplam maliyetin, örnek olay çözümüyle karşılaştırıldığında yaklaşık %7 artarak 12.635,23 € olduğu görülmektedir. Depolardan müşterilere ürün gönderiminin maliyeti örnek olaya oranla %30 artmış ve 1.802 €’ya yükselmiştir. Buna karşın, örnek olayın çözümünde temel düzey müşterilerin 6 parti ürün talebi karşılanamadığı için 113,4 € kayıp satış maliyeti meydana gelirken, incelenen senaryoda temel ve orta düzey müşterilerin taleplerinin tamamı karşılanabilmiş ve herhangi bir kayıp satış maliyeti oluşmamıştır. Üst düzey müşteriler arasında herhangi bir aktarım olmaması ve üst düzey müşterilerden yalnızca orta düzey müşterilere ürün aktarımına izin verilmesi nedeniyle ürün aktarma maliyetleri örnek olaya oranla %9 azalarak 389,43 € olmuştur.

Tablo 8 S1 Senaryosunun Çözümüne Dair Temel Performans Kriterleri

TPK	S1
Araç kullanımı sabit maliyeti (€)	3.900
Elde bulundurma maliyeti (€)	6.543,8
Kayıp satış maliyeti (€)	0
Depodan müşterilere ürün taşıma maliyeti (€)	1.802
Ürün aktarma maliyeti (€)	389,43
Toplam Maliyet (€)	12.635,23
Üst düzey müşteriler arasında aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	0
Üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	116
Depolardan orta düzey müşterilere gönderilen ürün miktarı (parti adedi)	0
Orta düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	0
Temel düzey müşterilerin teslim aldığı ürün miktarı (parti adedi)	148
Temel düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	0

Tablo 9’dan görüldüğü üzere L^+ ve L^- sütunları bütün müşterilerde ve bütün dönemlerde boştur, bu durum da üst düzey müşteriler arasında herhangi bir ürün aktarımını gerçekleşmediğini göstermektedir. Tablo 9, örnek olay çözümünde üst düzey müşteri ürün akışları ve dönem sonu envanter miktarları tablosu (bkz. Tablo 6) ile karşılaştırıldığında, S1 senaryosunda depolardan daha fazla sayıda müşteriye ürün gönderildiği görülmektedir. Bu durum, müşterilerin ürünleri yalnızca depolardan tedarik edebilme imkânlarının olmasından kaynaklanmaktadır. Buna karşın, üst düzey müşteri 11’in ürün akışları incelendiğinde üçüncü periyot sonunda müşterinin deposunda 224 adet ürün stokladığı, dördüncü periyotta ise depolardan ürün teslim almadığı ve stokladığı ürünleri bu dönemde kullandığı görülmektedir.

Tablo 9 S1 Senaryosunun Çözümünde Üst Düzey Müşteri Ürün Akışları ve Dönem Sonu Envanter Miktarları

Üst düzey müşteriler	1. Periyot						2. Periyot					
	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I
HT6	582	-	-	-	4	93	365	-	-	1	2	112
HT7	730	-	-	2	6	64	711	-	-	4	5	81
HT8	708	-	-	8	1	40	735	-	-	7	2	68
HT9	661	-	-	1	6	62	656	-	-	4	4	81
HT10	731	-	-	-	8	64	722	-	-	-	7	112
HT11	219	-	-	-	-	62	574	-	-	5	-	105
HT12	698	-	-	7	-	73	683	-	-	9	-	84
HT13	673	-	-	8	-	48	429	-	-	2	-	107
HT14	695	-	-	4	4	54	630	-	-	2	4	98
HT15	478	-	-	5	-	46	484	-	-	3	-	104

Üst düzey müşteriler	3. Periyot						4. Periyot					
	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I
HT6	535	-	-	-	4	148	637	-	-	3	4	164
HT7	707	-	-	2	7	95	723	-	-	3	6	110
HT8	590	-	-	5	1	99	676	-	-	-	7	128
HT9	718	-	-	3	4	123	505	-	-	3	3	132
HT10	748	-	-	1	7	140	694	-	-	-	7	166
HT11	738	-	-	7	1	224	-	-	-	-	-	121
HT12	682	-	-	7	-	117	541	-	-	6	-	131
HT13	742	-	-	8	-	135	733	-	-	8	-	158
HT14	722	-	-	-	7	137	735	-	-	4	5	150
HT15	571	-	-	7	-	114	720	-	-	9	-	127

HT: Üst düzey müşteriler, Q: Müşteriye depolardan aktarılan ürün miktarı, L⁺: müşteriye diğer müşterilerden parti boyutunda

Özetle, bu senaryoda eğer üst düzey müşteriler arasında ürün aktarımı yapılabilme imkânı kısıtlanırsa, bu durumun toplam maliyeti artırdığı, özellikle depolardan hareket eden araç sayılarında ve dolayısıyla araç sabit maliyetlerinde ve depolardan müşterilere ürün taşıma maliyetlerinde ciddi yükselişlere neden olduğu gösterilmiştir.

4.3.2. S2 Senaryosunun Çözümü

Matematiksel modeli S2 senaryosuna uygun hale getirebilmek için l_{ij} ($i \in V_1, j \in V_3$) parametresinin değerleri, temel düzey müşterilerin üst düzey müşterilere mesafeleri 75 km'den küçükse 1, değilse 0 olacak şekilde güncellenmiştir. Güncellenenin ardından (5) numaralı kısıt seti, temel düzey müşterilerin 75 km'den daha uzakta konumlanmış üst düzey müşterilerden ürün teslim almalarını engellemektedir.

S2 senaryosunun çözümünü özetleyen temel performans kriterleri Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10'da temel düzey müşterilerin üst düzey müşterilerden ürün teslim alabilmeleri için belirlenen maksimum mesafe 100 km'den 75 km'ye düştüğünde, toplam maliyet 11.910,72 € olduğu görülmektedir. S2 senaryosunun çözümü, örnek olay çözümü ile karşılaştırıldığında maliyet kalemlerindeki en ciddi farkın kayıp satış maliyetlerinde meydana geldiği ve örnek olay çözümünde 113,4€ olan kayıp satış maliyetinin S2 senaryosunda %183 artarak 321,3€'ya yükseldiği görülmektedir. Örnek olay çözümünde temel düzey müşterilerin karşılanamayan talepleri toplamda 6 parti ürünken, S2 senaryosunda temel düzey müşterilerin 17 parti ürün talebi karşılanamamış, bu durum da kayıp satış maliyetlerini ciddi oranda artırmıştır.

Tablo 10 S2 Senaryosunun Çözümüne Dair Temel Performans Kriterleri

TPK	S2
Araç kullanımı sabit maliyeti (€)	3.300
Elde bulundurma maliyeti (€)	6.499,4
Kayıp satış maliyeti (€)	321,3
Depodan müşterilere ürün taşıma maliyeti (€)	1.334,5
Ürün aktarma maliyeti (€)	455,52
Toplam Maliyet (€)	11.910,72
Üst düzey müşteriler arasında aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	19
Üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	116
Depolardan orta düzey müşterilere gönderilen ürün miktarı (parti adedi)	0
Orta düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	0
Temel düzey müşterilerin teslim aldığı ürün miktarı (parti adedi)	131
Temel düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	17

S2 senaryosunda karşılanmayan talepler değerlendirildiğinde; 31, 33 ve 37 numaralı temel düzey müşterilerin birinci periyottaki taleplerinin tamamının ya da bir kısmının karşılanmadığı, 41 ve 43 numaralı temel düzey müşterilerin taleplerinin tamamının ise hiçbir periyotta karşılanmadığı görülmektedir. Düşümler arasındaki mesafelere bakıldığında 41 ve 43 numaralı temel düzey müşterilere 75 km'den daha yakın konumda bulunan herhangi bir üst düzey müşteri olmadığı, fakat 100 km'den daha yakında üst düzey müşteriler bulunduğu görülmektedir. Bu nedenle örnek olay çözümünde müşteriler taleplerini karşılayabilmek için 100 km'den daha yakında yer alan üst düzey müşterilerden ürün tedarik edebilmişler, fakat mesafe limiti 75 km'ye düştüğünde taleplerini karşılayacak ürün tedarik edebilmeleri mümkün olmamıştır. Bu durum da karşılanamayan taleplerin bu senaryoda yükselmesine sebep olmuştur.

Özetle, bu senaryoda taleplerini üst düzey müşterilere bırakılan ürünleri tedarik ederek karşılamak durumunda olan temel düzey müşterilerin ürünleri teslim alabilecekleri üst düzey müşteriler ile aralarında bulunan mesafe kısıtının, kayıp satış miktarlarında yükselmeye sebep olabileceği ve bu durumun maliyet unsurlarını ciddi oranda artırabileceği gösterilmiştir.

4.3.3. S3 Senaryosunun Çözümü

S3 senaryosunun çözümünü alabilmek için matematiksel modelde bulunan (8) numaralı kısıt seti olmadan çalıştırılmıştır. İlgili kısıt kümesi depolardan her periyotta hareket edebilecek araçların sayısını düzenlemekte, dolayısıyla model bu kısıt kümesi olmadan çalıştırıldığında depolardan hareket edebilecek araçların sayısında herhangi bir sınır olmamaktadır.

S3 senaryosunun çözümü özetleyen temel performans kriterleri Tablo 11'de ve bu senaryoda depolardan hareket eden araç sayılarına dair veriler Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 11'de S3 senaryosunun toplam maliyeti, örnek olay çözümünün toplam maliyetine oranla yaklaşık %1 azalarak 11.678,14 € olmuştur. Araç kullanımının sabit maliyeti bu senaryoda değişmemiş, fakat depolardan müşterilere ürün taşıma maliyeti yaklaşık %14 azalarak 1.184,6 € olmuştur. Bu durum, depolarda hazır bulunan araçların sayısında bir kısıtlama olmadığı durumda, toplamda aynı sayıda araç kullanılmasına rağmen müşterilere mesafe olarak daha yakın depolardan ürün dağıtımının gerçekleştirilmesi yoluyla dağıtım maliyetlerinin düşürülebileceğini göstermektedir. Üst düzey müşteriler arasında aktarımı yapılan parti ürün miktarı, örnek olaya oranla %25 artarak 25 partiye yükselmiştir. Depolarda bulunan araç sayılarındaki kısıtlamadan kaynaklı olarak daha uzaktaki depolardan müşterilere ürün teslimatı yapmak yerine, ürünlerin depolardan yakın üst düzey müşterilere gönderilip bu müşterilerden diğer müşterilere ürün aktarımının yapılmasına yönelik eğilim bu senaryoda artmıştır.

Tablo 11 S3 Senaryosunun Çözümüne Dair Temel Performans Kriterleri

TPK	S3
Araç kullanımı sabit maliyeti (€)	3.400
Elde bulundurma maliyeti (€)	6.534,6
Kayıp satış maliyeti (€)	94,5
Depodan müşterilere ürün taşıma maliyeti (€)	1.184,6
Ürün aktarma maliyeti (€)	464,44
Toplam Maliyet (€)	11.678,14*
Üst düzey müşteriler arasında aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	25
Üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	116
Depolardan orta düzey müşterilere gönderilen ürün miktarı (parti adedi)	0
Orta düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	0
Temel düzey müşterilerin teslim aldığı ürün miktarı (parti adedi)	143
Temel düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	5
*12 saatlik çözüm süresi limitinde %0,23 tolerans seviyesinde bulunan çözümün amaç fonksiyonu değeri, elde edilen en iyi alt sınır: 11.650,79	

Tablo 12, S3 senaryosunun çözümünde yalnızca 3 ve 4 numaralı depoların kullanıldığını göstermektedir. Örnek olay çözümünde her depoda her periyotta hazır bulunan 3 araç bulunması nedeniyle 1 numaralı depodan da ürün gönderimi yapılmış, S3 senaryosunda ise araç kısıtı bulunmaması nedeniyle 3 ve 4 numaralı depolar kullanılarak toplamda aynı sayıda araç ile ürün gönderim işlemleri daha az maliyetli olarak gerçekleştirilebilmiştir.

Tablo 12. S3 Senaryosunun Çözümünde Depolardan Hareket Eden Araç Sayıları

	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot	4. Periyot
Depo1	-	-	-	-
Depo2	-	-	-	-
Depo3	4	5	5	4
Depo4	5	3	4	4
Depo5	-	-	-	-

Özetle, bu senaryoda depolardan üst düzey ve orta düzey müşterilere ürün taşıyan araçların sayısında herhangi bir sınırlama bulunmadığı durum incelenmiştir. Müşteriler arasında ürün aktarımı seçeneğinin olması durumunda, depolardan direkt olarak müşterilere ürün taşınması yerine, depolara daha yakın konumda yer alan müşterilere taşınan ürünlerin bu noktalardan diğer müşterilere dağıtılmasının daha avantajlı olabileceği görülmüştür.

4.3.4. S4 Senaryosunun Çözümü

Matematiksel modeli S4 senaryosuna uygun hale getirebilmek için (17) numaralı kısıt seti modele eklenmiştir. Eklenen kısıt kümesi, bütün periyotlarda orta düzey müşterilerin üst düzey müşterilerden teslim aldıkları ürün miktarını kontrol eden karar değişkenlerini sıfıra eşitleyerek üst düzey müşterilerin orta düzey müşterilere ürün aktarmalarını engellemektedir.

$$Z_{i,j,t} = 0 \quad \forall i \in V_1, j \in V_2, t \in T \quad (17)$$

Üst düzey müşteriler ile orta düzey müşteriler arasında ürün akışına izin verilmediği durumda elde edilen çözümü özetleyen temel performans kriterleri Tablo 13'te, üst düzey müşterilerin ürün akışlarına ve dönem sonu envanter miktarlarına dair detaylar Tablo 14'te gösterilmiştir.

Tablo 13'e bakıldığında, S4 senaryosunun toplam maliyeti, örnek olay çözümünün toplam maliyetine oranla yaklaşık %35 artarak 15.938,49 € olmuştur. Bu değer aynı zamanda incelenen senaryolar arasındaki en yüksek toplam maliyet miktarıdır. Orta düzey müşterilerin üst düzey müşterilerden ürün

aktarımı yapamadığı durumda meydana gelen en büyük değişim, kayıp satış maliyetlerindeki ciddi yükseliştir. Örnek olay çözümünde 113,4 € olan kayıp satış maliyeti, S4 senaryosunda 4.958,1 €'ya yükselmiştir. Orta düzey müşteriler ürün taleplerini yalnızca depolardan karşılayabildikleri için, pek çok durumda araçların depolardan müşterilere olan hareketleri, sabit araç maliyetinin de etkisiyle kayıp satış maliyetlerini aşmakta, dolayısıyla model kayıp satış maliyetine katlanmayı sıklıkla tercih etmektedir. Öyle ki, orta düzey müşterilerin planlama ufku boyunca toplam ürün talepleri 116 parti iken, bu taleplerin yalnızca %18'i karşılanabilmiş ve orta düzey müşterilere depolardan 21 parti ürün teslim edilmiştir. Karşılanamayan 95 parti talep 4.788 € kayıp satış maliyetine yol açmış, temel düzey müşterilerin karşılanamayan 9 parti talebinden kaynaklanan 170,1 € ile S4 senaryosunda toplamda 4.958,1 € kayıp satış maliyetine neden olmuştur.

Tablo 13 S4 Senaryosunun Çözümüne Dair Temel Performans Kriterleri

TPK	S4
Araç kullanımı sabit maliyeti (€)	3.100
Elde bulundurma maliyeti (€)	6.666,2
Kayıp satış maliyeti (€)	4.958,1
Depodan müşterilere ürün taşıma maliyeti (€)	1.081
Ürün aktarma maliyeti (€)	133,19
Toplam Maliyet (€)	15.938,49*
Üst düzey müşteriler arasında aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	48
Üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarılan ürün miktarı (parti adedi)	0
Depolardan orta düzey müşterilere gönderilen ürün miktarı (parti adedi)	21
Orta düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	95
Temel düzey müşterilerin teslim aldığı ürün miktarı (parti adedi)	139
Temel düzey müşterilerin karşılanamayan talep miktarı (parti adedi)	9
*12 saatlik çözüm süresi limitinde %0,31 tolerans seviyesinde bulunan çözümün amaç fonksiyonu değeri, elde edilen en iyi alt sınır: 15.888,95	

Tablo 14 incelendiğinde bütün periyotlarda orta düzey müşterilere üst düzey müşterilerden teslim edilen ürünlerin miktarını belirten Z sütunlarının boş olduğu görülmektedir. Ayrıca S4 senaryosunda, üst düzey müşteriler arasında aktarılan ürün miktarının diğer senaryolara ve örnek olaya oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, depolardan hareket eden araçların daha çok orta düzey müşteri taleplerini karşılamak için kullanılması, üst düzey müşterilerin ise sıklıkla kendi aralarında aktarım yoluyla taleplerini karşılamalarından kaynaklanmaktadır.

Tablo 14 S4 Senaryosunun Çözümünde Üst Düzey Müşteri Ürün Akışları ve Dönem Sonu Envanter Miktarları

Üst düzey müşteriler	1. Periyot						2. Periyot					
	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I
HT6	708	-	4	2	-	93	-	3	-	-	-	125
HT7	730	-	-	8	-	64	725	-	-	9	-	95
HT8	708	-	4	5	-	40	735	-	-	9	-	68
HT9	-	4	-	-	-	94	-	2	-	-	-	87
HT10	-	4	-	-	-	89	697	-	5	2	-	112
HT11	730	-	6	2	-	69	-	4	-	-	-	105
HT12	698	-	-	7	-	73	746	-	1	9	-	84
HT13	-	3	-	-	-	68	724	-	7	-	-	107
HT14	695	-	-	8	-	54	-	4	-	-	-	98
HT15	-	3	-	-	-	72	714	-	-	7	-	108

Üst düzey müşteriler	3. Periyot						4. Periyot					
	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I	Q	L ⁺	L ⁻	Y	Z	I
HT6	718	-	-	7	-	155	-	3	-	-	-	164
HT7	-	2	-	-	-	95	723	-	-	9	-	110
HT8	716	-	2	6	-	99	739	-	8	-	-	128
HT9	713	-	-	7	-	124	-	2	-	-	-	132
HT10	749	-	-	8	-	141	-	4	-	-	-	166
HT11	-	2	-	-	-	116	-	2	-	-	-	139
HT12	745	-	2	6	-	117	730	-	1	8	-	131
HT13	-	4	-	-	-	149	593	-	-	6	-	158
HT14	722	-	6	1	-	137	735	-	2	7	-	150
HT15	-	2	-	-	-	114	531	-	-	6	-	127

HT: Üst düzey müşteriler, Q: Müşteriye depolardan aktarılan ürün miktarı, L⁺: müşteriye diğer müşterilerden

Özetle, bu senaryoda orta düzey müşterilerin üst düzey müşterilerden ürün aktarımı yapamadıkları durum incelenmiştir. Bu durum orta düzey müşterilerin taleplerinin büyük kısmının karşılanamamasına, dolayısıyla kayıp satış maliyetlerinin yükselmesine neden olmuştur. Ayrıca bu senaryoda üst düzey müşterilerin kendi aralarında gerçekleştirdikleri ürün aktarım miktarlarında da artış olduğu görülmüştür.

5. SONUÇ

Tedarik zincirinde ağ tasarımı problemi, toplam maliyeti minimize edecek şekilde müşterilerin talebinin karşılanmasını sağlayan ürün akışlarının optimize edilmesi olarak açıklanmaktadır. Bu çalışmada tedarik zinciri ağ tasarımı problemine yönelik bir doğrusal tam sayılı programlama (ILP) modeli formülasyonu geliştirilmiştir. Tedarik zincirinde sonlu planlama ufkuna sahip ve talep belirsizliği varsayımı altında aralarında yatay iş birliği bulunan üst düzey, orta düzey ve temel düzey müşteriler olacak şekilde heterojen müşteri segmentleri ele alınmıştır. Müşterilere tedarikçi tarafından sunulan dağıtım planlaması, dağıtım kanalı seçimi, aktarma, envanter ve atama hizmetlerinin farklılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında tedarikçi tarafından verilen tüm hizmetlerinin heterojen müşterileri segmentlerinde yer alan müşterilerin istek ve ihtiyaçlarına daha iyi cevap verecek şekilde sunulması sağlanmaktadır. Artan dağıtım sorunlarının önüne geçmek için tedarik zincirinde üst düzey ve orta düzey müşteriler arası yapılan aktarma yoluyla sağlanan yatay iş birliği ile maliyetlerin azaltılması hedeflenmektedir.

Model formülasyonunun ardından ele alınan problem genel amaçlı bir çözücü kullanılarak bir örnek olay ve bu örnek olaydan türetilen farklı senaryolar için çözülmüştür. Gerçekleştirilen nümerik analizler ile modelin işlevselliği gösterilmiştir. Benzer karar süreçlerini içeren durumlarla karşılaşan karar vericiler için önemli birtakım çıktılar, nümerik analizler yoluyla ortaya koyulmuştur. 5 depo düğümü, 10 üst düzey müşteri, 15 orta düzey müşteri ve 25 temel düzey müşteri düğümünden meydana gelen örnek olay belirlenen temel performans kriterlerinin değerlendirilebilmesi için toplam maliyeti minimize edecek şekilde optimal olarak çözülmüştür. Daha sonra üst düzey müşteriler arasında ve üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere ürün aktarımı seçeneğinin bulunmadığı durum senaryo analizlerinde değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, üst düzey müşteriler arasında ürün aktarımı seçeneğinin bulunmamasının toplam maliyeti yaklaşık olarak %1 oranında yükselttiği, bu durumun özellikle de depolardan hareket eden araç sayılarında ve araçların kullanımından kaynaklanan sabit maliyetlerde artışa neden olduğu gözlemlenmiştir. Üst düzey müşterilerden orta düzey müşterilere aktarım yapılamadığı durumda ise ortaya çıkan yüksek kayıp satış maliyeti dolayısıyla toplam maliyetin yaklaşık %35 oranında arttığı görülmüştür. Bu analize bakılarak, tedarik zinciri elemanları arasında kurulan yatay iş birliklerinin toplam ağ maliyetinde iyileşme sağladığı söylenebilmektedir. Temel düzey müşterilerin ürün teslim alabilecekleri lokasyonlara olan uzaklığın değiştirilmesi ile yapılan analize bakıldığında toplam maliyetin yaklaşık %1 oranında arttığı görülmektedir. Bu analiz sonucunda müşterilerin ürün teslim alabilecekleri lokasyonlara olan uzaklık kısıtlarının doğru belirlenmesinin önemi ortaya konmuştur. Bahsedilen kısıtların kayıp satış miktarlarında ve bunlardan kaynaklanan maliyet artışlarında ciddi rol oynadıkları görülmüştür. Ayrıca depolardan müşterilere ürün taşıyan araçların sayısında sınır olmadığı durumda, depolara yakın mesafede bulunan üst düzey müşterilere daha fazla

miktarda ürün gönderildiği, diğer müşterilerin ise taleplerini aktarım yoluyla karşılama eğilimlerinin arttığı görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile heterojen müşteri segmenti ve yatay iş birliğinin tedarik zinciri ağ tasarımı problemindeki öneminin ortaya koyulduğu düşünülmektedir. Çalışma karmaşık dağıtım ağlarında ve farklı müşteri portföylerinde hizmet veren işletmeler için karşılıklı yarar sağlayan iş birlikleri kurmanın faydalarını göstermektedir. İş birlikleri yoluyla, işletmelerin tedarik zinciri maliyetlerini azaltmak ve pazar koşullarını iyileştirmek gibi katkılar elde edeceği düşünülmektedir.

Gelecekte, tartışılan problemdeki farklı unsurların belirsiz olarak ele alınmalarının problemi gerçek hayata daha yakın hale getireceği ve bu şekilde literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Problemin araç rotalama kararlarını içerecek şekilde genişletilmesi ve yatay iş birliğinin esnekliğini artıracak envanter havuzlama gibi seçeneklerin eklenmesinin problemi daha kapsamlı bir hale getireceği düşünülmektedir. Ayrıca problemin daha büyük boyutlu örneklerde çözülebilmesi için sezgisel ya da meta-sezgisel algoritmaların geliştirilmesinin de literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Adams, F. G., Richey Jr, R. G., Autry, C. W., Morgan, T. R., & Gabler, C. B. (2014). Supply chain collaboration, integration, and relational technology: How complex operant resources increase performance outcomes. *Journal of Business Logistics*, 35(4), 299-317.
- Aghalari, A., Nur, F., & Marufuzzaman, M. (2020). A Bender's based nested decomposition algorithm to solve a stochastic inland waterway port management problem considering perishable product. *International Journal of Production Economics*, 229, 107863.
- Aghdaie, M. H., Tafreshi, P. F., & Behzadian, M. (2014). Customer-oriented benefit segmentation: an integrated approach. *International Journal of Business Innovation and Research*, 8(2), 168-189.
- Alamdari, N. E., & Savard, G. (2021). Deep reinforcement learning in seat inventory control problem: an action generation approach. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 1-14.
- Alavidoost, M. H., Tarimoradi, M., & Zarandi, M. F. (2018). Bi-objective mixed-integer nonlinear programming for multi-commodity tri-echelon supply chain networks. *Journal of intelligent manufacturing*, 29, 809-826.
- Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L., & Karaoglan, I. (2009). A steady-state genetic algorithm for multi-product supply chain network design. *Computers & industrial engineering*, 56(2), 521-537.
- Basso, F., D'Amours, S., Rönnqvist, M., & Weintraub, A. (2019). A survey on obstacles and difficulties of practical implementation of horizontal collaboration in logistics. *International Transactions in Operational Research*, 26(3), 775-793.
- Battarra, M., Balcik, B., & Xu, H. (2018). Disaster preparedness using risk-assessment methods from earthquake engineering. *European journal of operational research*, 269(2), 423-435.
- Bayram, V., Gzara, F., & Elhedhli, S. (2019). Joint capacity, inventory, and demand allocation decisions in manufacturing systems. *IIE Transactions*, 51(3), 248-265.
- Björnfot, A., & Torjussen, L. (2012). Extent and effect of horizontal supply chain collaboration among construction SME. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 2(1), 47-55.
- Chen, Z & Rossi, R 2017, 'Single item stochastic lot sizing problem considering capital flow and business overdraft', Paper presented at the 8th International Workshop on Lot Sizing, Glasgow, United Kingdom, 23/08/17 - 25/08/17 pp. 69-73.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Supply Chain Management: Strategy, planning, and Operation* (5th ed.). Pearson Education.
- Cordeau, J. F., Pasin, F., & Solomon, M. M. (2006). An integrated model for logistics network design. *Annals of operations research*, 144(1), 59-82.
- Dai, Y., Chao, X., Fang, S. C., & Nuttle, H. L. (2005). Game theoretic analysis of a distribution system with customer market search. *Annals of Operations Research*, 135(1), 223-228.
- Dong, J. X., & Song, D. P. (2009). Container fleet sizing and empty repositioning in liner shipping systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(6), 860-877.
- Ehsani, B., Karimi, H., Bakhshi, A., Aghsami, A., & Rabbani, M. (2023). Designing humanitarian logistics network for managing epidemic outbreaks in disasters using Internet-of-Things. A case study: An earthquake in Salas-e-Babajani city. *Computers & industrial engineering*, 175, 108821.

- Esfandiari, N., & Seifbarghy, M. (2013). Modeling a stochastic multi-objective supplier quota allocation problem with price-dependent ordering. *Applied Mathematical Modelling*, 37(8), 5790-5800.
- Fakhrzad, M. B., & Goodarzian, F. (2019). A fuzzy multi-objective programming approach to develop a green closed-loop supply chain network design problem under uncertainty: modifications of imperialist competitive algorithm. *RAIRO-Operations Research*, 53(3), 963-990.
- Gebennini, E., Gamberini, R., & Manzini, R. (2009). An integrated production–distribution model for the dynamic location and allocation problem with safety stock optimization. *International Journal of Production Economics*, 122(1), 286-304.
- Ghezavati, V. R., Jabal-Ameli, M. S., & Makui, A. (2009). A new heuristic method for distribution networks considering service level constraint and coverage radius. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 5620-5629.
- Gou, Q., Zhang, J., Liang, L., Huang, Z., & Ashley, A. (2014). Horizontal cooperative programmes and cooperative advertising. *International Journal of Production Research*, 52(3), 691-712.
- Guo, P., Liu, F., & Wang, Y. (2020). Pre-positioning and Deployment of Reserved Inventories in a Supply Network: Structural Properties. *Production and Operations Management*, 29(4), 893-906.
- Habibi, M. K., Allaoui, H., & Goncalves, G. (2018). Collaborative hub location problem under cost uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 124, 393-410.
- Han, C., & Damrongwongsiri, M. (2005). Stochastic modeling of a two-echelon multiple sourcing supply chain system with genetic algorithm. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16(1), 87-108.
- Han, G., Dong, M., & Shao, X. (2011). A stochastic dynamic programming approach-based yield management with substitution and uncertainty in semiconductor manufacturing. *Computers & Mathematics with Applications*, 61(4), 1241-1253.
- Han, G., Dong, M., & Shao, X. (2012). Yield management with downward substitution and uncertainty demand in semiconductor manufacturing. *International Journal of Production Research*, 50(3), 743-756.
- Hemmati, M., & Pasandideh, S. H. R. (2021). A bi-objective supplier location, supplier selection and order allocation problem with green constraints: scenario-based approach. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12, 8205-8228.
- Hwang, H., Jung, T., & Suh, E. (2004). An LTV model and customer segmentation based on customer value: a case study on the wireless telecommunication industry. *Expert systems with applications*, 26(2), 181-188.
- Jackson, P. L., Muckstadt, J. A., & Li, Y. (2019). Multiperiod stock allocation via robust optimization. *Management Science*, 65(2), 794-818.
- Juhari, T., & Juarna, A. (2022). Implementation RFM Analysis Model For Customer Segmentation Using The K-Means Algorithm Case Study XYZ Online Bookstore. *Explore*, 12(1), 107-118.
- Kim, J. S., Jeon, E., Noh, J., & Park, J. H. (2019). A model and an algorithm for a large-scale sustainable supplier selection and order allocation problem. *Mathematics*, 6(12), 325.
- Klosterhalfen, S. T., Kallrath, J., & Fischer, G. (2014). Rail car fleet design: Optimization of structure and size. *International Journal of Production Economics*, 157, 112-119.
- Li, X. (2013). An integrated modeling framework for design of logistics networks with expedited shipment services. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 56, 46-63.
- Lin, Y. S., & Wang, K. J. (2018). A two-stage stochastic optimization model for warehouse configuration and inventory policy of deteriorating items. *Computers & Industrial Engineering*, 120, 83-93.
- Lv, Y., Wang, G., & Tang, L. (2014). Scenario-based modeling approach and scatter search algorithm for the stochastic slab allocation problem in steel industry. *ISIJ international*, 54(6), 1324-1333.

- Maji, A., Bhunia, A. K., & Mondal, S. K. (2022). A production-reliability-inventory model for a series-parallel system with mixed strategy considering shortage, warranty period, credit period in crisp and stochastic sense. *OPSEARCH*, 59(3), 862-907.
- Manupati, V. K., Schoenherr, T., Wagner, S. M., Soni, B., Panigrahi, S., & Ramkumar, M. (2021). Convalescent plasma bank facility location-allocation problem for COVID-19. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 156, 102517.
- McDonald, M. (2012). *Market segmentation: How to do it and how to profit from it*. John Wiley & Sons.
- Memari, A., Ahmad, R., Rahim, A. R. A., & Hassan, A. (2018). Optimizing a Just-In-Time logistics network problem under fuzzy supply and demand: two parameter-tuned metaheuristics algorithms. *Neural Computing and Applications*, 30, 3221-3233.
- Mousavi, S. M., Pardalos, P. M., Niaki, S. T. A., Fügenschuh, A., & Fathi, M. (2019). Solving a continuous periodic review inventory-location allocation problem in vendor-buyer supply chain under uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 541-552.
- Natarajan, K. V., & Swaminathan, J. M. (2017). Multi-treatment inventory allocation in humanitarian health settings under funding constraints. *Production and Operations Management*, 26(6), 1015-1034.
- Paksoy, T., Pehlivan, N., & Ozceylan, E. (2010). Application of Fuzzy mathematical programming approach to the aggregate production/distribution planning in a supply chain network problem. *Scientific research and Essays*, 5(22), 3384-3397.
- Papadopoulos, H. T., & Vidalis, M. I. (2001). Minimizing WIP inventory in reliable production lines. *International Journal of Production Economics*, 70(2), 185-197.
- Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Asadi, K. (2015). Bi-objective optimization of a multi-product multi-period three-echelon supply chain problem under uncertain environments: NSGA-II and NREGA. *Information Sciences*, 292, 57-74.
- Patne, K., Shukla, N., Kiridena, S., & Tiwari, M. K. (2018). Solving closed-loop supply chain problems using game theoretic particle swarm optimisation. *International Journal of Production Research*, 56(17), 5836-5853.
- Ramezani, M., Kimiagari, A. M., & Karimi, B. (2015). Interrelating physical and financial flows in a bi-objective closed-loop supply chain network problem with uncertainty. *Scientia Iranica E*, 22(3), 1278-1293.
- Rezaei, A., Shahedi, T., Aghsami, A., Jolai, F., & Feili, H. (2021). Optimizing a bi-objective location-allocation-inventory problem in a dual-channel supply chain network with stochastic demands. *RAIRO-Operations Research*, 55(5), 3245-3279.
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2022). *The handbook of logistics and distribution management: Understanding the supply chain*. Kogan Page Publishers.
- Schulz, S. F., & Blecken, A. (2010). Horizontal cooperation in disaster relief logistics: benefits and impediments. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40(8/9), 636-656.
- Simatupang, T. M., & Sridharan, R. (2002). The collaborative supply chain. *The international journal of logistics management*, 13(1), 15-30.
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & Van Der Vorst, J. G. (2014). Modelling food logistics networks with emission considerations: The case of an international beef supply chain. *International Journal of Production Economics*, 152, 57-70.
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Haijema, R., & Van Der Vorst, J. G. (2015). Modeling an inventory routing problem for perishable products with environmental considerations and demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 164, 118-133.
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Haijema, R., & van der Vorst, J. G. (2018). Modeling a green inventory routing problem for perishable products with horizontal collaboration. *Computers & Operations Research*, 89, 168-182.
- Soysal, M., Çimen, M., Belbağ, S., & Toğrul, E. (2019). A review on sustainable inventory routing. *Computers & Industrial Engineering*, 132, 395-411.

- Soysal, M., Belbağ, S., & Erişkan, S. (2022). Horizontal Collaboration among SMEs through a Supply and Distribution Cooperative. *Open Transportation Journal*, 16.
- Soysal, M., Koç, Ç., Çimen, M., & İbiş, M. (2023). Managing returnable transport items in a vendor managed inventory system. *Socio-Economic Planning Sciences*, 86, 101504.
- Swaminathan, J. M., & Srinivasan, R. (1999). Managing individual customer service constraints under stochastic demand. *Operations research letters*, 24(3), 115-125.
- Syarif, A., Yun, Y., & Gen, M. (2002). Study on multi-stage logistic chain network: a spanning tree-based genetic algorithm approach. *Computers & Industrial Engineering*, 43(1-2), 299-314.
- Şentürk, H., & Selçuk, A. L. P. (2023). Perakende Sektöründe RFM Analizi ile Müşteri Segmentasyonu. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Girişimcilik Dergisi*, 7(13), 1-10.
- Taghavi, S. M., Ghezavati, V., Bidhandi, H. M., & Al-e-Hashem, S. M. J. M. (2022). Green-Resilient Supplier Selection and Order Allocation Under Disruption by Utilizing Conditional Value at Risk: Mixed Response Strategies. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 1-22.
- Tanonkou, G. A., Benyoucef, L., & Xie, X. (2008). A scenario analysis of a location problem with uncertain demand. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 32(4), 290-297.
- Tikani, H., Honarvar, M., & Mehrjerdi, Y. Z. (2018). Developing an integrated hub location and revenue management model considering multi-classes of customers in the airline industry. *Computational and Applied Mathematics*, 37, 3334-3364.
- Topaloglu, H., & Kunnumkal, S. (2006). Approximate dynamic programming methods for an inventory allocation problem under uncertainty. *Naval Research Logistics (NRL)*, 53(8), 822-841.
- Wu, Y., Wang, J., & Li, C. (2019). Decisions of supply chain considering chain-to-chain competition and service negative spillover effect. *Sustainability*, 11(6), 1612.
- Zheng, M., Du, N., Zhao, H., Huang, E., & Wu, K. (2021). A study on the optimal inventory allocation for clinical trial supply chains. *Applied Mathematical Modelling*, 98, 161-184.
- Zhou, Y., Zhao, L., Zhao, X., & Jiang, J. (2011). A supplier selection and order allocation problem with stochastic demands. *International Journal of Systems Science*, 42(8), 1323-1338.

Research Article

Heterojen Müşteri Segmentleri ve Talep Belirsizliği Varsayımlarıyla Ağ Tasarımı Problemi İçin Bir Model Önerisi

A Model Proposal For The Network Design Problem With Heterogeneous Customer Segments And Demand Uncertainty Assumptions

Hande Cansın KAZANÇ Arş. Gör, Çankaya Üniversitesi İİBF, İşletme Bölümü ckazanc@cankaya.edu.tr https://orcid.org/0000-0002-5550-2847	Erencan YAVRUCU Arş. Gör, Türk-Alman Üniversitesi İİBF, İşletme Bölümü erencan.yavrucu@tau.edu.tr https://orcid.org/0000-0003-1888-7722	Mehmet SOYSAL Doç. Dr, Hacettepe Üniversitesi İİBF, İşletme Bölümü mehmetsoysal@hacettepe.edu.tr https://orcid.org/0000-0002-1570-660X
--	---	--

Extensive Summary

The increasing competitiveness of the business environment and the globalization of the world have increased the complexity of business processes (Adams et al., 2014; Wu et al., 2019). Supply chains are based on the business relationships that companies develop to enhance their production and distribution processes (Chopra & Meindl, 2013). Supply chains are integrated structures comprised of suppliers, manufacturers, distributors, retailers, transporters, and wholesalers that aim to meet customer needs. The decision-making processes in the supply chain are broken down into three distinct dimensions. The most difficult, time-consuming, and costly decisions to reverse are strategic ones. Tactical decisions, which are medium-term decisions, consist of supplier selection, distribution channel selection, and delivery type, and seek to maximize supply chain surplus in the medium term. Operational decisions, which include daily or weekly short-term decisions, are the decision stage in which short-term activities are planned in accordance with medium and long-term decisions, to meet customer demands in the most effective manner possible (Cordeau et al., 2006; Chopra & Meindl, 2013; Rushton et al., 2022). This study focuses on distribution channel selection and distribution planning, which are among the tactical supply chain decisions.

Businesses aim to establish strong, mutually beneficial relationships and collaborations to manage increasingly complex distribution networks (Bjorfot & Torjussen, 2012). These partnerships are formed to reduce supply chain costs, enhance market conditions, reduce market variability, comply with operational and environmental constraints, and gain access to new markets (Basso et al., 2019). Vertical collaboration, horizontal collaboration, and lateral transshipment are the most common types of collaborative structures in the supply chain (Simatupang & Sridhar, 2002). This study examines horizontal collaborations between industrial customers during the product distribution phase and highlights the advantages of these collaborations for the distribution network.

In today's competitive markets, it has become increasingly difficult for businesses to satisfy consumers on all levels and meet their expectations. It is currently impossible for businesses to meet customer expectations with a single distribution plan and a unified strategy for all customers, as they serve numerous customer portfolios with unique characteristics, requirements, and desires. Therefore, market and customer segmentation approaches are frequently used to address these issues and meet customer expectations for a variety of product lines (Aghdaie et al., 2014). The objective of market segmentation is to group customers with similar characteristics, requirements, and expectations, and by doing so, to select target markets that align with the business's objectives (McDonald, 2012). According to Hwang et al. (2004), customer segmentation is defined as dividing customer groups into smaller groups based on their characteristics and providing goods and services that better meet customers' wants and

requirements. In this study, consumer segmentation was achieved by grouping customers served at different levels of a distribution network, and the effects of this strategy were assessed.

Supply chain network design is defined as the optimization of product flows to satisfy customer demand at the lowest possible overall cost (Altıparmak et al., 2009, Soysal et al., 2014). In this study, a linear integer programming model is developed for the network design problem involving distribution channel selection, distribution planning, inventory, transshipment, and assignment decisions in heterogeneous customer segments including high-tier customers, mid-tier customers, and basic customers with horizontal collaboration among them and with a finite planning horizon. Within the scope of the study, it is intended to differentiate the selection of distribution channels, direct distribution, inventory management, and collaboration services offered by the supplier to customers to better meet the wants and requirements of diverse customer segments. Following the formulation of the model, the problem was solved with a general-purpose solver for a single case study and various scenarios derived from this case study. The numerical analysis demonstrated the model's applicability. Through numerical analysis, key outcomes for decision-makers in situations involving similar decision processes are revealed. The case involving five warehouse nodes, ten high-tier customers, fifteen mid-tier customers, and twenty-five basic customer nodes was effectively resolved to minimize the total cost of evaluating the key performance criteria. The scenario analysis then evaluates the situation in which there is no option for product transshipment between high-tier customers and from high-tier customers to mid-tier customers. According to the obtained results, the lack of product transshipment between high-tier customers increased the total cost by approximately 1 percent, particularly the number of vehicles travelling from the warehouses and the fixed costs resulting from the use of vehicles. Due to the high cost of lost sales, the overall cost increased by around 35% if transshipment from high-tier to mid-tier consumers was not possible. This research shows that when different parts of the supply chain work together, it reduces the total cost of the network as a whole. The analysis by changing the distance to the locations where the basic customers can pick up products shows that the total cost increases by about 1%. As a result of this analysis, the importance of correctly determining the distance constraints of the customers to the locations where they can receive the products has been revealed. These constraints were found to play a significant role in lost sales and the resulting cost increases. Furthermore, it is noted that when there is no limit to the number of trucks transporting items from warehouses to consumers, more products are supplied to high-tier customers located near the warehouses, while the demands of other customers are typically met through transshipment. Supplier-level customer segmentation enables businesses to better serve customers with varying characteristics needs, and wants by tailoring inventory and distribution plans to each group. This research may provide light on the significance of horizontal collaboration and heterogeneous segmentation of customers in the supply chain network design problem.