



A mathematical model for multi-period multi-stage multi-mode multi-product capacitated wheat supply network design problem and a case study

Abdullah Oktay Dünder^{1*}, Mahmut Tekin², Kenan Peker³, Mehmet Akif Şahman⁴, İsmail Karaoğlan⁵

¹Necmettin Erbakan University, Faculty of Applied Sciences, Department of Logistics Management, 42090, Konya/Turkey

²Selçuk University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Business Management, 42250, Konya/Turkey

³Firat University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Business Management, 23119, Elazığ/Turkey

⁴Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Electrical and Electronic Engineering, 42250, Konya/Turkey

⁵Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Industrial Engineering, 42250, Konya/Turkey

Highlights:

- Wheat supply network design
- Reducing the number of vehicle trips
- Real life problem

Keywords:

- Operations research applications in agriculture,
- Agri-food supply chain management,
- Logistics,
- Mathematical model

Article Info:

Research Article
Received: 07.12.2020
Accepted: 22.05.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.837124

Correspondence:

Author: Abdullah Oktay
Dünder
e-mail:
aodundar@erbakan.edu.tr
phone: +90 532 776 9201

Graphical/Tabular Abstract

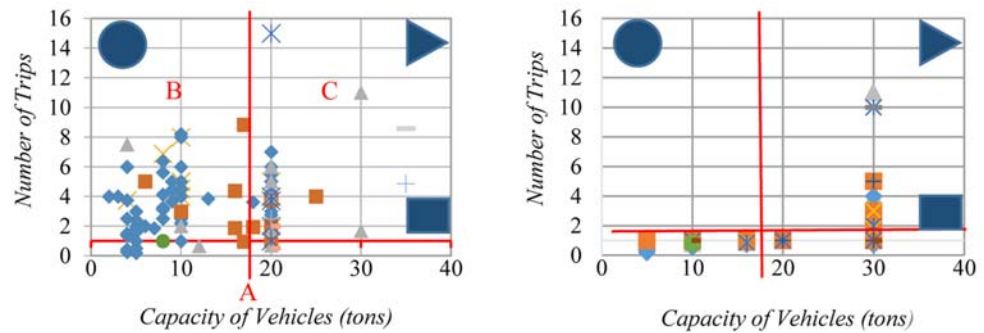


Figure A. Model solution result

Purpose: The purpose of this paper is to develop a cost-effective network design model, including transport and storage that will enable a decision at a tactical and strategic level to be taken to optimize the structure of the Turkey wheat supply chain.

Theory and Methods:

The proposed model was developed using 0-1 mixed integer linear programming. First, the model was tested with the data obtained from the interviews with 103 farmers to investigate whether the model worked properly. Then, the case study method was used to test the model with the data obtained from a Flour Mill Company which is one of the first 500 industrial enterprises in Turkey.

Results:

The results were obtained by using IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.6.2.0. Although farmers used eighteen different-capacity vehicles for transport, five different-capacity vehicles were used in the model. Smaller capacity vehicles were used by the farmers; however, the model proposed larger-capacity vehicles. Wheat was transported by farmers with 10-ton vehicles using 100 trips, 20-ton vehicles using 115 trips and 30-ton vehicles using 13 trips. However, the model proposed transportation using 10-ton vehicles and 13 trips, 20-ton vehicles and 22 trips and 30-ton vehicles and 151 trips. The proposed model reduced the number of smaller-capacity vehicle trips and increased the number of larger-capacity vehicle trips. As a result, the model has significantly reduced total transportation costs in wheat supply chain in Turkey.

Conclusion:

In this study, a mathematical model for multi-period multi-stage multi-mode multi-product capacitated was developed for wheat supply chain in Turkey. The developed supply network design model selected a vehicle of the appropriate capacity to suit the amount of load to be transported in the wheat supply chain and decrease the number of vehicle trips. This improvement gained by the model can be applied to other sectors. The model showed that supply warehouses, which have been considered for rental to the private sector, can be effectively used for cost-effectiveness. Additionally, the consolidation of the purchased wheat provides an alternative way for the wheat to be transported, in particular by rail.



Kapasite kısıtlı çok dönemli çok aşamalı çok taşıma seçenekli çok ürünlü buğday tedarik ağ tasarımı problemi için bir matematiksel model ve bir uygulama

Abdullah Oktay Dündar^{1*}, Mahmut Tekin², Kenan Peker³, Mehmet Akif Şahman⁴, İsmail Karaoğlan⁵

¹Necmettin Erbakan Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Lojistik Yönetimi Bölümü, 42090, Meram, Konya, Türkiye

²Selçuk Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, 42250, Selçuklu, Konya, Türkiye

³Fırat Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye

⁴Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, 42250, Selçuklu, Konya, Türkiye

⁵Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 42250 Selçuklu, Konya, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Buğday tedarik ağ tasarımı
- Araç sefer sayılarının azaltılması
- Gerçek hayat problemi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 07.12.2020

Kabul: 22.05.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.837124

Anahtar Kelimeler:

Tarımda yöneylem araştırması uygulamaları, tarım-gıda tedarik zinciri yönetimi, lojistik, matematiksel model

ÖZ

Dünya un ihracatında 1. sırada yer alan Türkiye’de yeterli miktarda buğday üretilmesine rağmen, yurt dışından buğday ithal edilmesi sektörü olumsuz etkilemektedir. Türkiye’de çiftçiler genellikle küçük üretim alanlarında az miktarda üretim yapmakta ve küçük kapasiteli araçlarla çok sayıda sefer yaparak ürünlerini teslim etmektedirler. Satın alınan buğdaylar toplama silolarında kalite özelliklerine göre sınıflandırılmakta ve buğday alımı harman zamanı ile kısıtlıdır. Diğer taraftan silolardan fabrikaya buğday sevkiyatı tüm yıl boyunca yapılabilmektedir. Bu çalışmada bir un fabrikasının yeterli, istenen kalitede ve en düşük maliyetle buğday temin edebilmesi için 0-1 karma tam sayılı buğday tedarik ağ tasarımı modeli önerilmiştir. Model farklı kapasitedeki araçları kullanmakta ve yük miktarına uygun araç seçerek sefer sayılarını azaltmaktadır. Model, karayoluna ek olarak demiryolu seçeneğini de değerlendirmektedir. Bu halyle incelenen problem, Kapasite Kısıtlı Çok Dönemli Çok Aşamalı Çok Taşıma Seçenekli Çok Ürünlü Buğday Tedarik Ağ Tasarımı Problemi olarak nitelendirilmektedir. Önerilen model Konya ilinde faaliyet gösteren bir un fabrikasında gerçek veriler kullanılarak çalıştırılmıştır. Firmanın üç farklı senaryosu için çalıştırılan model, yeterli ve istenen kalitede buğdayı taşıma maliyetlerini optimize ederek temin etmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda bazı bölgelerde demiryolu ile taşıma tavsiye edilmiştir. Model sonuçlarının, firmanın taktik ve stratejik planlarına yön verici nitelikte olduğu düşünülmektedir.

A mathematical model for multi-period multi-stage multi-mode multi-product capacitated wheat supply network design problem and a case study

HIGHLIGHTS

- Wheat supply network design
- Reducing the number of vehicle trips
- Real life problem

Article Info

Research Article

Received: 07.12.2020

Accepted: 22.05.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.837124

Keywords:

Operations research applications in agriculture, agri-food supply chain management, logistics, mathematical model

ABSTRACT

Although sufficient amounts of wheat are produced in Turkey, which ranks first in the world in terms of flour export, wheat imports negatively affect the sector. In general, farmers in Turkey produce in small quantities in small production area, and deliver their products with small capacity vehicles and multiple trips. Purchased wheat is classified according to quality characteristics in collection silos, and wheat purchase is limited by harvest period. On the other hand, shipments to the factory from collection silos can be made all year around. In this paper, a 0-1 mixed integer programming formulation for wheat supply network design is proposed to supply sufficient wheat with the desired quality and lowest cost. The proposed formulation uses vehicles with different capacities and reduces the number of trips by choosing the appropriate vehicle for the load amount. In addition to the road, the formulation also considers the rail option. In its current form, the considered problem is described as a wheat supply network design problem with capacity-constraint multi-period multi-stage multi-modal multi-product. The proposed formulation has been tested using real data in a wheat flour factory operating in Konya. The formulation, which was run for three different scenarios of the company, provided sufficient and desired quality wheat by optimizing transportation costs. Computational results recommend the rail transport option in some regions. The results of the formulation are thought to be of a nature that guides the company's tactical and strategic plans.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *aodundar@erbakan.edu.tr, mahtekin@selcuk.edu.tr, kpeker@firat.edu.tr, asahman@selcuk.edu.tr, ikaraoğlan@ktun.edu.tr / Tel: +90 532 776 9201

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sağlıklı bir yaşam için gıda güvencesi ve gıda güvenliği (kalite) en önemli iki konudur. 2010 yılında yayımlanan Türkiye Gıda Sektörü Raporunda Türkiye’de yiyecek ve içecek sektöründeki üretimin 2009 yılında 8,9 milyar ₺ olduğu ve bunun toplam üretimin %18-20’sini oluşturduğu belirtilmiştir [1]. Türkiye’de halkın beslenmesinde unlu mamullerin yeri oldukça önemlidir. Toplam gıda sanayilerinin yaklaşık %65’ini un ve unlu mamuller alt sektörü oluşturmaktadır [2]. Türkiye’de faaliyet gösteren un fabrikaları hem yoğun iç tüketimi karşılamakta hem de dünyada un ihracatında 1. sırada yer almaktadır [3]. Ancak, Türkiye’de buğday işletmelerinin küçük ölçekli ve üretimin büyük bölümünün kıraç arazilerde yapıyor olması buğday maliyetini artırmakta, buğday unu ihracatını olumsuz etkilemekte ve iç piyasadaki alıcıların ihtiyaç duyduğu kalitede buğday temini yapılamamaktadır.

Türkiye’de çoğu un fabrikası yerli buğdaydaki yetersiz kaliteden dolayı yurt dışından daha kaliteli buğday ithal etmektedir. Bu durum Türkiye’de tedarik zincirinin ve değer zincirinin yönetilmesini ve en önemlisi gıda sektörü ile tarım entegrasyonunu güçleştirmektedir. Un fabrikalarının yurtdışından buğday ithalatı, tarımsal ithalat ile cari açığın artmasına sebep olmaktadır. Diğer taraftan buğday ithalatı, un fabrikalarında maliyetlerin artmasına ve rekabet güçlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Türkiye’nin tahıl ambarı Konya’da her bir çiftçinin üretim miktarının az olması sebebiyle taşıma araçlarında kapasite kullanım oranları düşmekte veya küçük miktarlarda taşıma yapılmasından dolayı taşıma maliyetleri artmaktadır. Diğer taraftan tarımsal ürünlerde yüksek olan taşıma maliyetlerine çözüm olabilecek alternatif taşıma modlarının kullanılma potansiyeli ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada Konya buğday tedarik zinciri yapısına uygun taktik ve stratejik seviyede karar alabilmeyi sağlayacak, taşıma ve depolamayı içeren maliyet etkin bir ağ tasarımı modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır. İkinci bölümde tarım-gıda tedarik zinciri ile ilgili literatürde yapılan hesaplamalı çalışmaların kısa bir özeti verilmiş, üçüncü bölümde ele alınan problemin ayrıntılı tanımı yapılmış ve geliştirilen matematiksel model sunulmuştur. Dördüncü bölümde ise çiftçi anketlerinden elde edilen verilerle modelin etkinliği test edilmiş, Konya ilinde faaliyet gösteren bir un fabrikasının mevcut durumu, planlanan durumu ve alternatif senaryosu için model çalıştırılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Son bölümde model sonuçları yorumlanarak gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Tembo vd. [4] çalışmalarında, fazla un talebine cevap verebilmek için yeni inşa edilecek un değirmeni optimal sayısını, boyutunu ve yerleşim yerini tespit eden karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir.

Higgins [5] çalışmasında, Avustralya’daki şeker verimliliğinin hasat tarihi, mahsulün hasat yaşı, coğrafi konum ve mahsul sınıfına göre değişkenlik gösterdiğini bildirmiş, hasat zamanı, ekin döngüsü uzunluğu ve padokların nadasa bırakılıp bırakılmamasına ilişkin kararları optimize eden bir model geliştirmiştir. Higgins vd. [6], Avustralya şeker endüstrisinde günlük haldeki üreticileri bir değer zinciri etrafında toplamak için efektif bir harman süreci ve taşıma stratejileri içeren bir model geliştirmişlerdir. Reiner ve Trcka [7] çalışmalarında, tedarik zincirlerinin ürüne veya işletmeye özel olması gerektiği konusuna vurgu yapmışlardır. Bu nedenle, özel tedarik zinciri performansının artırılmasına yardımcı olmak için geliştirilmiş bir model önermişlerdir. Sachan vd. [8], sistem dinamikleri yaklaşımıyla Hindistan tahıl tedarik zinciri için toplam tedarik maliyetlerini azaltan bir model geliştirmişlerdir. Higgins ve Laredo [9], harman süreci ve taşıma sisteminin oluşturduğu karmaşıklığı çözmek için modeller geliştirmişlerdir. Çalışmada harman süreci, demiryolu ve karayolu taşımacılığı altyapısı yeniden düzenlenmiştir. Matopoulos vd. [10] tarım-gıda tedarik zincirinde işbirliğinin önemli olduğunu, ancak işbirliğini sağlamada sektör kaynaklı bazı zorluklarla karşılaşıldığını ve işbirliğinin genellikle operasyonel ve lojistik faaliyetlerle sınırlı olduğunu bildirmişlerdir. Hongling ve Lili [11], Çin için tahıl hasadından işlemeye kadar ve işlenmiş tahıl ürününden müşteriye kadar olan iki adet tedarik zinciri önerisinde bulunmuşlardır. Hong ve An [12], Pekin’deki tahıl endüstrisi için lojistik maliyetleri azaltan, sirkülasyon verimliliğini artıran tedarik zinciri yönetimi analizi yapmışlardır. O’Donnell vd. [13], Amerikan buğdayı vaka çalışması ile taşımanın tedarik zinciri sera gazı emisyonu üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Avustralya Ulusal Ulaştırma Komisyonu(NTC Australia) tarafından tahıl ve hayvancılık tedarik zincirlerinde karayolu ve demiryolu taşımacılığında ekonomik maliyetler bakımından belirlenen bazı yinelemelerin çözüm yolları araştırılmıştır [14]. Ahumada ve Villalobos [15], tarım ürünlerinin üretim ve dağıtım planlaması alanında yapılan çalışmaların önemli katkılarını incelemişlerdir. Mevcut çalışmaların analiziyle tarım-gıda tedarik zinciri modellemesi ile ilgili gelecekteki ihtiyaçları belirlemeye çalışmışlardır. Cohan ve Costa [16], Arjantin Buğdayı değer zinciriyle bağlantılı 13 unsurun girdi-çıkıtı ilişkilerini tanımlayan bir model geliştirmişlerdir. Thakur vd. [17], en az parti birleştirme miktarlarını belirleme ve tahıl paçallama maliyetlerinin en küçülenmesi için çok amaçlı bir model geliştirmişler ve modeli mısır yükleme senaryoları üzerinde denemişlerdir. Ding [18], çiftçiler tarafından satılan tahıl miktarı, tesis kurma ve depolama gibi belirsiz değişkenleri olan bir belirsiz tahıl tedarik zinciri geliştirmiştir. Gurning vd. [19], buğdayın konteynerlerle taşınmasındaki yük azaltıcı stratejilerini incelemişlerdir. Dört ana azaltıcı strateji (envanter ve kaynak azaltma, acil parkur, kurtarma planlaması ve iş sürekliliği planlaması) üzerinde değerlendirmede bulunmuşlardır. Ge vd. [20], Kanada’da gıda güvenliğini etkileyebilecek problemlerin optimizasyonunu sağlamak için karmaşık operasyonel ve kanuni düzenlemelerin olduğu buğday tedarik zincirinde

kalite test stratejileri belirleme amacıyla bir analitik ve bir de simülasyon modeli geliştirmişlerdir. An ve Ouyang [21], kesin olmayan verim şartları altında pazar kararları, depolama, taşıma ve dağıtım haldeki kooperatifleşmemiş çiftçiler için hasat zamanını dikkate alan iki seviyeli bir optimizasyon modeli önermişlerdir. Önerilen model Illinois ve Brezilya için uygulanmıştır. Mogale vd. [22] Hindistan tahıl tedarik zincirinde buğday açığı olan eyalet taleplerinin Kamu Dağıtım Sistemi tarafından karşılanması problemini ele almışlar ve bir karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirmişlerdir. Gholamian vd. [23] uzun vadeli tedarikçi ve silo yer seçimi, orta vadeli buğday ve buğday ürünleri atama ve dağıtım kararlarını içeren entegre bir buğday tedarik zinciri modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen model İran buğday tedarik zinciri için gerçek verilerle test edilmiştir. Mogale vd. [24] Hindistan tahıl tedarik zincirinde üç aşamalı tahıl dağıtım problemini ele alan karma tamsayı doğrusal olmayan bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Modelde mevsimsel tedarik, silo, araç kapasiteleri ve talep miktarları gibi kısıtlar değerlendirilmiş ve taşıma, stok tutma ve işletme maliyetlerinin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Mogale vd. [25] Hindistan tahıl tedarik zincirinde silo yer tahsis problemi için entegre çok amaçlı, çok modlu ve çok dönemli karma tamsayı doğrusal olmayan bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Modelde tedarik merkezleri, tarla siloları, temel silolar ve talep noktaları olmak üzere dört aşama ele alınmıştır. Çalışmada demiryolu kullanımını arttırmak için mevcut sorunların çözülmesi önerilmiştir. Hosseini-Motlagh vd. [26] buğday tedarik zincirinde toplama, üretim, envanter ve dağıtım aşamalarını eş zamanlı entegre ederek toplam maliyetleri optimize eden deterministik bir ağ tasarım modeli geliştirmişlerdir. Önerilen model İran'da gerçek bir vaka çalışması üzerinde denenmiştir,

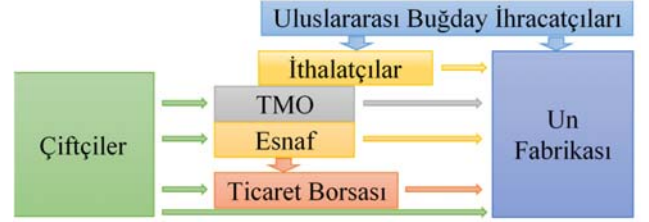
Literatür incelemesinde de görüldüğü üzere her ülkenin, bölgenin, firmanın özellikleri dikkate alınarak ve ürünün yapısına uygun bir tedarik zinciri tasarımı yapılması gerekmektedir. Literatürde Türkiye buğday tedarik zinciri yapısını dikkate alarak yapılmış bir ağ tasarımı çalışmasına rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında;

- Türkiye buğday tedarik zinciri yapısına uygun harman dönemini dikkate alan, taşıma ve depolama maliyetlerini en küçükleyen bir buğday tedarik ağ tasarımı modeli geliştirilmiş,
- Türkiye buğday üretiminde önemli bir yere sahip olan ve un fabrikalarının yoğunluklu olarak bulunduğu Konya ilinde gerçek veriler üzerinde modelin geçerliliği test edilmiştir.

3. PROBLEM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODEL (PROBLEM DEFINITION AND MATHEMATICAL MODEL)

Öncelikle Konya özelinde Türkiye'deki buğday tedarik sürecinin açıklanması ve probleme ilişkin değişkenlerin belirlenmesi gerekmektedir. Konya'da çiftçiler ürettikleri buğdayları esnaf, Toprak Mahsulleri Ofisi (TMO) ve un fabrikası gibi alıcılara doğrudan veya Ticaret Borsası

aracılığı ile satmaktadırlar. Un fabrikaları ise buğdayı yurt içinden veya yurt dışından farklı kanallarla satın almaktadır. Söz konusu buğday tedarik ağı Şekil 1'de gösterilmiştir. Çiftçiler satacağı buğdayı alıcıların tesislerine kendi araçlarıyla taşımaktadır. Ancak çiftçiler çoğunlukla düşük taşıma kapasiteli araçlara sahiptir. Bu durumda buğdayın tamamını teslim edebilmek için çok sayıda sefer yapılmakta ve taşıma maliyetleri artmaktadır. Satılacak buğdaya uygun kapasiteli araç seçimi yapıldığı zaman, araç sefer sayısı ve taşıma maliyetleri azaltılabilecektir.



Şekil 1. Buğday tedarik ağı (Wheat supply network)

Geliştirilen bu modelde her köyde hangi tip buğdaydan ne miktarda üretildiği önceden bilindiği varsayılmaktadır. Fabrika bir yıl boyunca üretimde kullanacağı buğdayı araçlar olmadan köylerden tedarik edecek ve taşımalar fabrika tarafından gerçekleştirilecektir. Böylelikle uygun kapasiteli araç seçimi yapılacak, sefer sayıları ve taşıma maliyetleri düşürülebilecektir. 1 yıllık süreç hasat ve üretim olmak üzere 2 dönemden oluşmaktadır. İlk 3 ay hasat dönemi, 12 ayın tamamı ise üretim dönemidir. Fabrikanın talep miktarı kadar buğday hasat dönemi içerisinde satın alınmalı ve köylerden tesislere yapılacak taşımaların tümü hasat dönemi içinde tamamlanmalıdır.

Fabrikalarda yeterli miktarda silo bulunmadığı için köyler ve fabrikalar arasında buğdayların konsolide edilebileceği ve depolanabileceği tedarik depoları kullanılmıştır. Satın alınan buğdaylar köylerden depolara ve köylerden fabrikalara karayoluyla, depolardan fabrikalara ise karayolu ve/veya demiryoluyla taşınmaktadır. Modelde TMO depoları kullanılmıştır. Bu depolar kiralalanabilmekte ve kapasiteleri bilinmektedir. Ancak depolarda kaç adet silo bulunduğu ve başlangıç stok miktarının bilinmediği, depolarda ürün çeşitlerinin birbirine karıştırılmadan tutulması organizasyonunun depo yönetimi tarafından yapıldığı varsayılmıştır. Fabrika tedarik depolarını kullandığında, her bir dönem içerisinde giriş-çıkış yapan ürünler için belli bir ücret, her bir dönem sonunda depoda kalan ürünler için ise başka bir ücret ödemektedir. TMO'ya ait bazı depoların demiryolu bağlantısı bulunmaktadır. Demiryolu taşımacılığı Uadgs Tipi Tahıl Vagonu kullanılarak yapılacaktır. Bu tip vagonlara helezonla yükleme yapılmakta, buğdaylar vagonun alt kısmından otomatik olarak boşaltılmaktadır. Dolayısıyla elleçleme maliyeti ortadan kalkmaktadır. Fabrikanın depolarında kaç adet silo olduğu, her birinin kapasitesi ve siloların başlangıç stok miktarları bilinmektedir. Aynı türdeki buğdaylar aynı silolara konulmalı ve ürün çeşitleri birbirine karıştırılmamalıdır. Fabrikada bir dönemde toplam buğdayın ve her bir çeşidinin

elleçlenebileceği kamyon sayısı sınırlıdır. Fabrikanın bir dönemde her bir buğday çeşidinden üretime gönderdiği miktar bellidir. Fabrika dönem sonunda depolarında her bir buğday çeşidinden belirlediği miktarda bulundurmaya zorundadır.

Bu özellikleri ile bu makalede ele alınan problem Kapasite Kısıtlı Çok Dönemli Çok Aşamalı Çok Taşıma Seçenekli Çok Ürünlü Buğday Tedarik Ağ Tasarımı Problemi olarak tanımlanmaktadır. Bu problemde dönem, taşıma seçenekleri ve ürün sayısı bir olarak kabul edildiğinde, problem NP-Zor yapıda olduğu bilinen çok aşamalı tedarik zinciri ağ tasarımı problemine dönüşmektedir [27]. Bu nedenle, bu makalede ele alınan problem de NP-Zor yapıdadır. Geliştirilen modelde amaç tedarik maliyetlerinin en küçüklenmesidir. Bu amaca ulaşmak için, karayolu taşıma araçlarının sefer sayılarının, demiryolu ile taşımalarda vagon sayılarının, buğday satın alma maliyetlerinin ve depolama maliyetlerinin en küçüklenmesi gerekmektedir. Modele ait bilgiler aşağıdaki gibidir.

Dizin Kümeleri ve Parametreler:

$h \in H$	Hasat dönemi kümesi
$t \in T$	Üretim dönemi kümesi
$k \in K$	Köyler kümesi
$d \in D$	Depolar kümesi
$f \in F$	Fabrikalar kümesi
$s \in S$	Silolar kümesi
$p \in P$	Ürünler kümesi
$m \in M$	Kamyonlar kümesi
W_{kp}	k 'nci köydeki p 'nci ürün üretim miktarı
A_d	d 'nci depo kapasite miktarı
E_{fs}	f 'nci fabrikadaki s 'nci silo kapasite miktarı
$B1_{sp}$	1. Fabrikanın s 'nci silosundaki p 'nci ürün başlangıç miktarı
$B2_{sp}$	2. Fabrikanın s 'nci silosundaki p 'nci ürün başlangıç miktarı
$V1_{pt}$	1. Fabrikanın p 'nci üründen t 'nci dönemde kullanım miktarı
$V2_{pt}$	2. Fabrikanın p 'nci üründen t 'nci dönemde kullanım miktarı
P_{pt}	p 'nci ürünün t 'nci dönemdeki satın alma fiyatı
R_m	m 'nci kamyonun kapasitesi
C_m	m 'nci kamyonun km başına taşıma maliyeti
L_m	m 'nci kamyonun sefer başına sabit maliyeti
Q_{df}	d 'nci depodan f 'nci fabrikaya demiryolu ile ton başına taşıma maliyeti
$U1_{kf}$	k 'nci köyden f 'nci fabrikaya uzaklık
$U2_{kd}$	k 'nci köyden d 'nci depoya uzaklık
$U3_{df}$	d 'nci depodan f 'nci fabrikaya uzaklık
μ_p	Son dönem p 'nci ürünün depoda kalması gereken miktarının depoda bulunan toplam ürün miktarına oranı
τ	Son dönem fabrikadaki depolarda bulunması istenen buğday miktarının depo kapasitesine oranı
n	Üretimin son dönemi
g	Hasadın son dönemi

δ	Çok büyük bir sayı
v	Bir vagonun taşıyabileceği yük miktarı
e	Demiryolu kıymet prim oranı
z	Bir seferde kullanılması gereken en az vagon sayısı
$c1$	1 dönemde bir birim ürünün depo kira maliyeti
$c2$	Bir birim ürünün depoya giriş-çıkış maliyeti
w	Depoların kullanımını için izin verilen en az miktar
q	1 dönemde fabrikada toplam elleçlenebilecek kamyon sayısı
r	1 dönemde fabrikada tek bir üründen elleçlenebilecek kamyon sayısı

Karar Değişkenleri:

Z_{hkfp}	h 'nci hasat döneminde k 'nci köyden f 'nci fabrikaya taşınan p 'nci ürün miktarı
X_{hkdp}	h 'nci hasat döneminde k 'nci köyden d 'nci depoya taşınan p 'nci ürün miktarı
Y_{tdfp}	t 'nci üretim döneminde d 'nci depodan f 'nci fabrikaya taşınan p 'nci ürün miktarı
α_{tdp}	t 'nci üretim döneminde d 'nci depodaki p 'nci ürün miktarı
β_{tfsp}	t 'nci üretim döneminde f 'nci fabrikadaki s 'nci siloda bulunan p 'nci ürün miktarı
$K1_{hkfp m}$	h 'nci hasat döneminde k 'nci köyden f 'nci fabrikaya gönderilen p 'nci ürün için m 'nci kamyon sefer sayısı
$K2_{hkdp m}$	h 'nci hasat döneminde k 'nci köyden d 'nci depoya gönderilen p 'nci ürün için m 'nci kamyon sefer sayısı
$K3_{tdfp m}$	t 'nci üretim döneminde d 'nci depodan f 'nci fabrikaya gönderilen p 'nci ürün için m 'nci kamyon sefer sayısı
ω_{tdfp}	t 'nci üretim döneminde d 'nci depodan f 'nci fabrikaya gönderilen p 'nci ürün için vagon sayısı
φ_{tdfp}	$\begin{cases} 1, & p\text{'nci ürün demiryolu ile taşınırsa} \\ 0, & \text{dd. (diğer durumlarda)} \end{cases}$
ϑ_{fsp}	$\begin{cases} 1, & p\text{'nci ürün depolanırsa} \\ 0, & \text{dd. (diğer durumlarda)} \end{cases}$

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min}Z = \sum_{h,k,f,p,m} \left(K1_{hkfp m} * L_m + \left(K1_{hkfp m} * C_m * U1_{kf} \right) \right) + \quad (1)$$

$$\sum_{h,k,d,f,p,m} \left(K2_{hkdp m} * L_m + \left(K2_{hkdp m} * C_m * U2_{kd} \right) \right) + \quad (2)$$

$$\sum_{t,d,f,p,m} \left(K3_{tdfp m} * L_m + \left(K3_{tdfp m} * C_m * U3_{df} \right) \right) + \quad (3)$$

$$\sum_{t,d,f,p} \left(\omega_{tdfp} * v * Q_{df} + \left(\omega_{tdfp} * v * P_{pt} * e \right) \right) + \quad (4)$$

$$\sum_{h,k,f,p} Z_{hkfp} * P_{ph} + \sum_{h,k,d,p} X_{hkdp} * P_{ph} + \quad (5)$$

$$\sum_{t,d,p} \alpha_{tdp} * c1 + \left(\sum_{h,k,d,p} X_{hkdp} - \sum_{h,d,p} \alpha_{hdp} \right) c2 \quad (6)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{h,f} Z_{hkfp} + \sum_{h,d} X_{hkdp} \leq W_{kp} \quad \forall k,p \quad (7)$$

$$Z_{hkfp} \leq \sum_m R_m * K1_{hkfp} \quad \forall h,k,f,p \quad (8)$$

$$X_{hkdp} \leq \sum_{m \in M} R_m * K2_{hkdp} \quad \forall h,k,d,p \quad (9)$$

$$Y_{tdfp} \leq \left(\sum_m R_m * K3_{tdfp} \right) + (v * \omega_{tdfp}) \quad \forall t,d,f,p \quad (10)$$

$$\omega_{tdfp} \leq \delta * \varphi_{tdfp} \quad \forall t,d,f,p \quad (11)$$

$$\sum_m K3_{tdfp} \leq \delta * (1 - \varphi_{tdfp}) \quad \forall t,d,f,p \quad (12)$$

$$\omega_{tdfp} = 0 \quad \forall t,d,f,p : Q_{df} = -1 \quad (13)$$

$$\omega_{tdfp} \geq z * \varphi_{tdfp} \quad \forall t,d,f,p \quad (14)$$

$$\sum_{k,p,m} K1_{hkfp} + \sum_{d,p,m} K3_{hdfp} \leq q \quad \forall h,f \quad (15)$$

$$\sum_{k,m \in K} K1_{hkfp} + \sum_{d,m} K3_{tdfp} \leq r \quad \forall h,f,p \quad (16)$$

$$\sum_{d,p,m} K3_{tdfp} \leq q \quad \forall f,t : t > g \quad (17)$$

$$\sum_{d,m} K3_{tdfp} \leq r \quad \forall f,t,p : t > g \quad (18)$$

$$\alpha_{hdp} = \alpha_{(h-1)dp} + \sum_k X_{hkdp} - \sum_f Y_{hdfp} \quad \forall h,d,p \quad (19)$$

$$\alpha_{tdp} = \alpha_{(t-1)dp} - \sum_f Y_{tdfp} \quad \forall t,d,p : t > g \quad (20)$$

$$\sum_p \alpha_{tdp} \leq A_d \quad \forall t,d \quad (21)$$

$$\sum_{h,k,p} X_{hkdp} \leq \delta * \rho_d \quad \forall d \quad (22)$$

$$w - \sum_{h,k,p} X_{hkdp} \leq \delta * (1 - \rho_d) \quad \forall d \quad (23)$$

$$\sum_s (\beta_{11sp} - B1_{sp}) = \sum_d Y_{1d1p} + \sum_k Z_{1k1p} - V1_{p1} \quad \forall p \quad (24)$$

$$\sum_s (\beta_{12sp} - B2_{sp}) = \sum_d Y_{1d2p} + \sum_k Z_{1k2p} - V2_{p1} \quad \forall p \quad (25)$$

$$\sum_s (\beta_{h1sp} - \beta_{(h-1)1sp}) = \sum_d Y_{hd1p} + \sum_k Z_{hk1p} - V1_{ph} \quad \forall h,p : h > 1 \quad (26)$$

$$\sum_s (\beta_{h2sp} - \beta_{(h-1)2sp}) = \left(\sum_d Y_{hd2p} + \sum_k Z_{hk2p} \right) - V2_{ph} \quad \forall h,p : h > 1 \quad (27)$$

$$\sum_s \beta_{t1sp} = \sum_s \beta_{(t-1)1sp} + \sum_d Y_{td1p} - V1_{pt} \quad t,p : t > g \quad (28)$$

$$\sum_s \beta_{t2sp} = \sum_s \beta_{(t-1)2sp} + \sum_d Y_{td2p} - V2_{pt} \quad t,p : t > g \quad (29)$$

$$\sum_{s,p} \beta_{nfsp} = \tau * \sum_s E_{fs} \quad \forall f \quad (30)$$

$$\sum_s \beta_{nfsp} = \mu_p * \tau * \sum_s E_{fs} \quad \forall f,p \quad (31)$$

$$\sum_p \vartheta_{fsp} \leq 1 \quad \forall f,s \quad (32)$$

$$\sum_{h,k} Z_{hkfp} + \sum_{h,d} Y_{hdfp} \leq \sum_s \delta * \vartheta_{fsp} \quad \forall f,p \quad (33)$$

$$\sum_{t,d,t>g} Y_{tdfp} \leq \sum_s \delta * \vartheta_{fsp} \quad \forall f,p \quad (34)$$

$$\beta_{tfsp} \leq E_{fs} * \vartheta_{fsp} \quad \forall t,f,s,p \quad (35)$$

$$\vartheta_{isp} = 0 \quad \forall f,s,p : E_{fs} = 0 \quad (36)$$

$$\vartheta_{1sp} = 1 \quad \forall s,p : B1_{sp} > 0 \quad (37)$$

$$\vartheta_{2sp} = 1 \quad \forall s,p : B2_{sp} > 0 \quad (38)$$

$$Z_{hkfp}, X_{hkdp}, Y_{tdfp}, \alpha_{tdp}, \beta_{tfsp} \geq 0 \quad \forall h,t,k,d,f,s,p \quad (39)$$

$$K1_{hkfp}, K2_{hkdp} \geq 0, tms \quad \forall h,k,d,f,p,m \quad (40)$$

$$K3_{tdfp}, \omega_{tdfp} \geq 0, tms \quad \forall t,d,f,p,m \quad (41)$$

$$\rho_d, \varphi_{tdfp}, \vartheta_{isp} = \{0,1\} \quad \forall t,d,f,s,p \quad (42)$$

Geliştirilen bu modelde Eş. 1 hasat döneminde köylerden fabrikalara gönderilen, Eş. 2 hasat döneminde köylerden depolara gönderilen, Eş. 3 üretim döneminde depolardan fabrikalara gönderilen karayolu toplam taşıma maliyetlerini amaç fonksiyonuna dâhil etmektedir. Eş. 4 ise üretim

döneminde depolardan fabrikalara gönderilen demiryolu toplam taşıma maliyetlerini amaç fonksiyonuna dâhil etmektedir. Demiryolu taşıma maliyeti, iki tesis arasında bir birim ürün taşıma bedelinin (Q_{df}) toplam taşınan ürün miktarıyla ($\omega_{tdfp} * v$) çarpılması, kıymet primi ise toplam taşınan ürünün bildirilen değeri ($\omega_{tdfp} * v * P_{pt}$) ile belirlenen prim miktarının (e) çarpılması ile bulunmaktadır. Eş. 5 hasat döneminde buğdayların satın alma maliyetlerini, köylerden fabrikalara (Z_{hkfp}) ve köylerden depolara (X_{hkdp}) gönderilen buğday miktarlarının birim satın alma fiyatıyla (P_{ph}) çarparak amaç fonksiyonuna dâhil etmektedir. Eş. 6 buğday depolama maliyetini, tüm dönemlerde depolarda tutulan buğday miktarı (α_{tdp}) ile birim ürün kira maliyetini çarparak ($c1$) ve hasat döneminde köylerden depolara gönderilen ürün miktarından (X_{hkdp}) o dönemde depoda tutulan ürün miktarının (α_{hdp}) çıkartılması ile hesap edilen giriş-çıkış yapan ürün miktarının giriş çıkış yapan ürün maliyeti ($c2$) ile çarparak amaç fonksiyonuna dâhil etmektedir.

Matematiksel modelde kısıtlar incelendiğinde, Eş. 7 hasat döneminde köylerden fabrikalara ve depolara gönderilen ürünün üretim miktarından az ya da eşit olmasını garanti etmektedir. Eş. 8 hasat döneminde köylerden fabrikalara Eş. 9 köylerden depolara taşıma yapan kamyonların sefer sayısı ile herhangi bir köyden herhangi bir fabrikaya ve herhangi bir depoya gönderilecek herhangi bir ürünün taşınmasını sağlamaktadır. Eş. 10 üretim döneminde depolardan fabrikalara taşıma yapan kamyonların belirlenen sefer sayısı ve belirlenen vagon sayısı ile herhangi bir depodan herhangi bir fabrikaya gönderilecek herhangi bir ürünün taşınmasını garanti etmektedir. Eş. 11 ve Eş. 12 üretim döneminde depolardan fabrikalara demiryolu ile taşıma yapıp yapılmayacağını belirlemektedir. Eğer demiryolu ile taşıma yapıyorsa karayolu ile taşıma yapılmamasını garanti etmektedir. Modelde demiryolu bağlantısı olmayan fabrikalar ve depolar arasındaki demiryolu taşıma maliyeti -1 olarak girilmektedir. Eş. 13 taşıma maliyeti -1 girilmiş ise demiryolu taşıması yapılmamasını garantilemektedir. TCDD 200 ton altındaki yüklerde liste fiyatı üzerinden belli oranlarda artış uygulamaktadır. Eş. 14 bu fiyat artışlarına maruz kalmamak için eğer demiryolu taşımacılığı yapılacaksa, taşınan miktarın en az 200 ton olmasını garantilemektedir. Eş. 15 her bir hasat döneminde fabrikada elleçlenen toplam kamyon sayısının elleçlenebilecek toplam kamyon sayısından az ya da eşit olmasını, Eş. 16 her bir hasat döneminde aynı üründen elleçlenen kamyon sayısının elleçlenebilecek kamyon sayısından az ya da eşit olmasını garantilemektedir. Eş. 17 hasat döneminden sonraki her bir üretim döneminde fabrikada elleçlenen toplam kamyon sayısının elleçlenebilecek toplam kamyon sayısından az ya da eşit olmasını, Eş. 18 hasat döneminden sonraki her bir üretim döneminde aynı üründen elleçlenen kamyon sayısının elleçlenebilecek kamyon sayısından az ya da eşit olmasını garantilemektedir. Eş. 19 her bir hasat döneminde depolarda bulunan ürün miktarını, bir önceki dönem depodaki ürün miktarı ($\alpha_{(h-1)dp}$) ve o dönem köylerden depoya gönderilen

ürün miktarı (X_{hkdp}) toplamının, o dönem depodan fabrikalara gönderilen miktarından (Y_{hdfp}) çıkartılması ile hesap etmektedir. Eş. 20 ise hasat döneminden sonraki her bir üretim döneminde ($t > g$) depolarda bulunan ürün miktarını, bir önceki dönem depodaki ürün miktarından ($\alpha_{(t-1)dp}$), o dönem depodan fabrikalara gönderilen miktarından (Y_{tdfp}) çıkartarak hesaplamaktadır. Eş. 21 her üretim döneminde depoda bulunan toplam ürün miktarının deponun kapasitesinden az ya da eşit olmasını garanti etmektedir. Eş. 22 ve Eş. 23 eğer herhangi bir depo kullanılacaksa, verilen en az kullanım miktarı kadar buğdayın depoya gönderilmesini sağlamaktadır. Eş. 24 1. dönem 1. fabrikanın depolarındaki ürün miktarları (β_{11sp}), 1. fabrikanın başlangıç stok miktarı ($B1_{sp}$), köylerden 1. fabrikaya gelen ürün miktarı (Z_{1k1p}), depolardan 1. fabrikaya gelen ürün miktarı (Y_{1d1p}) toplamından, 1. dönem 1. fabrikada her bir üründen üretimde kullanılan miktarın çıkartılması ile hesaplanmaktadır. Eş. 25 1. dönem 2. fabrikanın depolarındaki ürün miktarları Eş. (24)'a benzer şekilde hesaplanmaktadır. Eş. 26 1. dönem dışındaki hasat dönemleri ($h > 1$) için 1. fabrikanın depolarındaki ürün miktarları (β_{h1sp}), bir önceki dönem depodaki ürün miktarı ($\beta_{(h-1)1sp}$), köylerden 1. fabrikaya gelen ürün miktarı (Z_{hk1p}), depolardan 1. fabrikaya gelen ürün miktarı (Y_{hd1p}) toplamından 1. dönem dışındaki dönemlerde 1. fabrikada her bir üründen üretimde kullanılan miktarın çıkartılması ile hesaplanmaktadır. Eş. 27'de 1. dönem dışındaki hasat dönemlerinde ($h > 1$) 2. fabrikanın depolarındaki ürün miktarları Eş. (26)'e benzer şekilde hesaplanmaktadır. Eş. 28 hasat dönemleri dışındaki üretim dönemleri ($t > g$) için 1. fabrikanın depolarındaki ürün miktarları (β_{t1sp}), bir önceki dönem depodaki ürün miktarı ($\beta_{(t-1)1sp}$), depolardan 1. fabrikaya gelen ürün miktarı (Y_{td1p}) toplamından hasat dönemleri dışındaki üretim dönemlerinde 1. fabrikada her bir üründen üretimde kullanılan miktarın çıkartılması ile hesaplanmaktadır. Eş. 29'de hasat dönemleri dışındaki üretim dönemlerinde ($t > g$) 2. fabrikanın depolarındaki ürün miktarları Eş. 28'e benzer şekilde hesaplanmaktadır. Eş. 30 son üretim döneminde ($t = n$) her bir fabrikanın deposunda bulundurmak istediği buğday miktarını, fabrikanın her bir silosunun toplam kapasitesinin (E_{fs}), son dönem fabrikadaki depolarda bulunması istenen buğday miktarının depo kapasitesine oranıyla çarparak garanti etmektedir. Eş. 31 son üretim döneminde her bir fabrikanın deposunda bulunduracağı her bir çeşit ürün miktarının deposunda olmasını garanti etmektedir. Eş. 32 fabrikanın her bir silosunda tek çeşit ürün bulunmasını böylelikle ürünlerin birbirine karışmamasını garanti etmektedir. Eş. 33 hasat döneminde Eş. 34 hasat döneminden sonraki üretim dönemlerinde köylerden ve depolardan fabrikalara gönderilen ürünlerin, fabrikaların herhangi bir silosunda eğer ürün varsa o ürünle aynı olmasını, aynı değilse boş bir siloya boşaltılmasını sağlamaktadır. Eş. 35 fabrikaların silolarına boşaltılan ürünlerin o silonun kapasitesinden az ya da kapasitesine eşit olmasını garanti etmektedir. Eş. 36 eğer silo kapasitesi sıfır olarak belirtilmişse, o siloya ürün konulmamasını garanti etmektedir. Eş. 37 ve Eş. 38 sırasıyla

1. ve 2. fabrikanın başlangıçta silolarında ürün bulunuyorsa, aynı silolara aynı çeşit ürün boşaltılmasını sağlamaktadır. Eş. 39-Eş. 42 ise işaret kısıtlarıdır.

Modeli tanıttıktan sonra çözülecek problem ile ilgili aşağıda verilen detayları deneysel çalışmalar içerisinde verelim. Geliştirilen modelde taşıma için 5, 10, 16, 20 ve 30 ton taşıma kapasitesine sahip 5 farklı kamyon kullanılmıştır. Model herhangi bir buğday miktarı için taşıma aracı belirlerken şu şekilde çalışmaktadır. Eğer taşınacak miktar taşıma aracı kapasitesine denk ise araç taşıma için seçilecektir. Eğer taşınacak miktar iki taşıma aracının kapasitesi arasında ise miktardan ilk büyük kapasiteli araç seçilecektir. Eğer taşınacak miktar tüm taşıma aracı kapasitelerinden daha büyük ise ilk önce taşıma kapasitesi en yüksek araç kapasitesinin katları alınacak ve artan miktar için yukarıda bahsedilen durumlar tekrar değerlendirilecektir. Örneğin 100 ton için öncelikle en yüksek kapasiteye sahip 30 tonluk araç 3 sefer yapacak, kalan 10 ton için önceki durumlar değerlendirilecektir. Modelin çalışması için benzer sınıftaki farklı taşıma kapasitelerine sahip araçların km başına yakıt tüketimi kullanılmalıdır. Modelde kullanılan değerler Tablo 1’de, taşınacak miktarlar için araç seçimi ve sefer sayıları örneği Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Araçların km başına yakıt maliyeti (Fuel cost per km of vehicles)

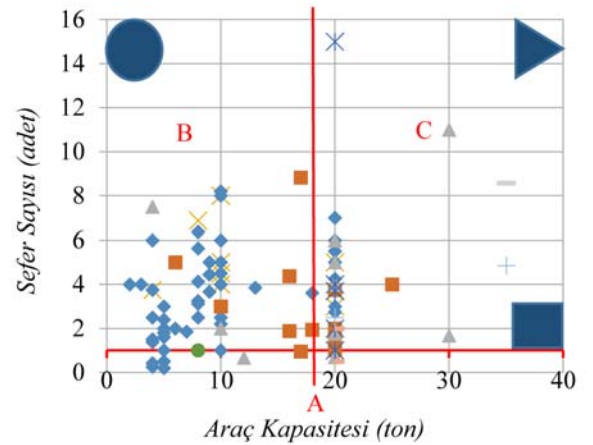
Araç Kapasitesi	Taşıma Maliyeti (km/₺)
5 ton	0,63
10 ton	0,75
16 ton	0,89
20 ton	0,98
30 ton	1,22

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (COMPUTATIONAL EXPERIMENTS)

4.1. Sefer Sayılarının Azaltılması (Reducing the Number of Trips)

Modelin amaca uygun çalışıp çalışmadığını test etmek için Konya’da buğday üretimi yapan 103 adet çiftçi ile görüşülmüştür. Bu çiftçilere en son ne kadar buğday

sattıkları ve hangi kapasitede araçla taşıma yaptıkları sorulmuş, elde edilen veriler Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde çok sayıda farklı kapasitede aracın kullanıldığı görülmektedir. Şekil 2 A, B ve C olmak üzere 3 alana bölünmüştür. Sefer sayısı 1’in altında olan noktaların bulunduğu A bölgesi “atıl kapasite” kullanımının olduğu taşımaları temsil etmektedir. Araç kapasitesi 17 tondan geçen kırmızı çizgi grafiği dikeyde iki alana bölmektedir. Şekil 2’nin sol tarafı olan B bölgesi, yanlış araç seçiminden dolayı fazla sefer sayısının olduğu taşımaları temsil etmektedir. Şekil 2’nin sağ tarafı olan C bölgesi belli miktardaki ürünün nispeten “doğru seçilmiş” araçlarla yapıldığı taşımaları göstermektedir. Sefer sayısı 1 çizgisi üzerinde olan taşımalar miktar ve araç seçimi açısından tam olarak verimlidir. Taşımaların B bölgesinde yoğunlaşması taşımanın verimsizliğini ve yüksek taşıma maliyetlerini göstermektedir. B bölgesindeki daire alana yaklaşacak taşımalarda daha çok verimsizlik söz konusu olacaktır. C bölgesindeki taşımaların ise kare alana yaklaşması ile verimliliğin daha fazla artacağı görülmektedir. Taşımaların C bölgesindeki üçgen alan civarında yoğunlaşması, karayolu taşımacılığının değerlendirilmesi ve alternatif olarak demiryolu taşımacılığının düşünülmesi gerektiğini anlatmaktadır. Burada demiryolu taşıması yapılmadan önce taşıma mesafelerinin de analiz edilmesi ve özellikle uzak mesafeli taşımalarda demiryolunun tercih edilmesi gerekmektedir.



Şekil 2. Anket verileri (Survey data)

Tablo 2. Model çalışma prensibi (Model working principle)

Taşınacak Miktar (Ton)	Taşıma Aracı Kapasitesi					Toplam Sefer Sayısı (Adet)
	5 ton	10 ton	16 ton	20 ton	30 ton	
3,5	1					1
10		1				1
12			1			1
20				1		1
25					1	1
40		1			1	2
45			1		1	2
52					2	2
60					2	2
64	1				2	3
90					3	3

oranları kullanılmıştır. Ürünler için üretim miktarları, üretim yapılan köy sayısı ve fabrikanın bu ürünlere ait talep miktarı Tablo 4’de, Konya ilinde faaliyet gösteren TMO depolarının toplam kapasiteleri Tablo 5’de, depolarda bir dönem kira ve dönem içinde giriş-çıkış yapma maliyetleri Tablo 6’da verilmiştir.

Depolardan fabrikalara demiryolu ile taşınacak her bir ton buğdayın taşıma maliyeti Tablo 7’de verilmiştir. “-1” değeri depodan fabrikaya demiryolu bağlantısının olmadığını ifade etmektedir.

Modelde dönem içindeki buğday satış fiyatları aylık dönemler için bir önceki döneme 4 ₺ ilave edilerek belirlenmiştir. Model maliyetleri düşürebilmek için

buğdayları ilk dönemlerde satın almaya çalışacaktır. Buğday satış fiyatları Tablo 8’de, modele ilişkin diğer parametre değerleri Tablo 9’da verilmiştir.

Her üç senaryo, Intel Xeon CPU E5-2620 2.00 Ghz, 56 Gb fiziksel ram ve 250 Gb sanal ram, Windows 8 64 bit işletim sistemi bulunan bilgisayarda ve IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Sürüm: 12.6.2.0 yazılımı kullanılarak çözümlenmiştir.

4.2.1. Birinci senaryo (mevcut durum) (First scenario (current situation))

Birinci senaryo firmanın şu an faaliyet gösterdiği mevcut durumudur. Firmanın eski fabrikası 800 ton/gün, yeni

Tablo 5. TMO depoları ve kapasiteleri (TMO warehouses and capacities)

TMO Depo	Kapasite (ton)	TMO Depo	Kapasite (ton)	TMO Depo	Kapasite (ton)
Selçuklu	62.000	Ereğli	17.100	Meydan	9.200
Karapınar	47.700	Cihanbeyli	35.000	Arıkören	5.600
Sarayönü	14.500	Kulu	42.000	Yeniceoba	10.000
Akşehir	10.000	Kadınhanı	20.000	Çeşmelisebil	10.000
Ilgın	4.000	Beyşehir	2.000	Pınarbaşı	10.000
Doğanhisar	2.000	Çumra	49.900	Altnekin	10.000
Yunak	40.000	Çeltik	10.000	Sülüklü	10.000

Tablo 6. TMO depoları kira maliyeti (Wheat holding cost in TMO warehouses)

	Aylık (₺)
Kira maliyeti (c_1)	3
Giriş-çıkış maliyeti (c_2)	1,5

Tablo 7. Demiryolu taşıma maliyeti (ton) (Rail transport cost (tons))

TMO Depo	1. Fabrika	2. Fabrika	TMO Depo	1. Fabrika	2. Fabrika
Selçuklu	-1	9,35 ₺	Beyşehir	-1	-1
Karapınar	-1	-1	Çumra	-1	9,35 ₺
Sarayönü	-1	9,35 ₺	Çeltik	-1	-1
Akşehir	-1	9,35 ₺	Meydan	-1	9,35 ₺
Ilgın	-1	9,35 ₺	Arıkören	-1	9,35 ₺
Doğanhisar	-1	-1	Yeniceoba	-1	-1
Yunak	-1	-1	Çeşmelisebil	-1	-1
Ereğli	-1	17,25 ₺	Pınarbaşı	-1	9,35 ₺
Cihanbeyli	-1	-1	Altnekin	-1	-1
Kulu	-1	-1	Sülüklü	-1	-1
Kadınhanı	-1	9,35 ₺			

Tablo 8. Buğdayların aylık dönemlerde satış fiyatı (₺) (Sales price of wheat in monthly periods (₺))

	1. Ay	2. Ay	3. Ay
(p_1)	800	804	808
(p_2)	750	754	758
(p_3)	700	704	708

Tablo 9. Diğer parametre değerleri (Other parameter values)

Çok büyük bir sayı (δ)	1.000.000
Bir vagonun taşıyabileceği yük miktarı (v)	50 ton
Demiryolu kıymet prim oranı (e)	0,001
Bir seferde en az taşınması gereken vagon sayısı (z)	4 adet
Depoların kullanımı için izin verilen en az miktar (w)	1.000 ton

fabrikası ise 400 ton/gün buğday kırma kapasitesine sahiptir. Bu senaryoya ait diğer bilgiler aşağıda verilmiştir.

4.2.1.1. Problem bilgileri (Problem data)

1.(Eski) fabrikada 14 adet 2.000 ton çelik silo, 1 adet 1.750 ton, 1 adet 1.250 ton, 8 adet 900 ton ve 2 adet 700 ton yatay ambar bulunmaktadır. 1. Fabrikanın toplam depo kapasitesi 39.700 tondur. 2.(yeni) fabrikada 16 adet 2.500 ton çelik silo bulunmaktadır. 2. Fabrikanın toplam depo kapasitesi 40.000 tondur. Fabrikalarda tüm ürünler ve her bir ürün için 1 dönemde elleçlenebilecek toplam kamyon sayısı Tablo 10'da, fabrikaların aylık olarak buğday çeşitlerinden üretimde kullandığı miktarlar Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 10. Fabrikalarda bir dönemde elleçlenebilecek kamyon sayısı

(The number of trucks that can be handled in a period in factories)

	Aylık (adet)
Tüm Ürünler için (q)	1.560
Her bir ürün için (r)	780

Firma son dönem her bir fabrikasında depo kapasitesinin %25(μ_p)'i kadar buğday bulundurmamak istemektedir. Her bir buğday çeşidinin son dönem depoda bulunan buğday miktarına oranları Tablo 12'de verilmiştir.

4.2.1.2. Çözüm sonuçları (Solution results)

Matematiksel model 253.770 adet karar değişkeni ve 45.786 adet kısıt içermektedir. İlgilenilen problem NP-Zor kategorisinde olduğu için büyük boyutlu problemlerde optimal çözümlere ulaşmak zor olabilmektedir. Bu amaçla matematiksel modelin çözümü esnasında alt ve üst sınırlar arasında elde edilen sapma (gap) değerini çok düşük tutarak (%0.01) 14.588 sn. de tam sayılı uygun bir çözüm elde

edilmiştir. Modelin elde ettiği çözüm Şekil 5'de görselleştirilmiştir. Birinci senaryo çözümünde; 374.401 ton buğday, 4.062.406 ₺ karayolu maliyeti, 81.363 ₺ demiryolu maliyeti ve 3.413.391 ₺ depolama maliyeti ile temin edilmiştir. Firma satın aldığı buğdaylar için 282.530.468 ₺ ödemiştir. Dönemlere göre köylerden satın alınan ve sevk edilen buğday miktarları Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13 incelendiğinde depo kullanımı olduğu görülmektedir. Bu durum fabrikalardaki depolama olanaklarının fabrika buğday tedarik miktarından daha düşük olduğunu göstermektedir. Fabrikalara ilk dönemlerde daha çok buğday sevkiyatının yapıldığı görülmektedir. İlk dönemde tüm buğday alımlarının bitirilememesinin sebebi kamyon elleçleme kısıtıdır. İlk dönemde yapılan alımlarla fabrikaların siloları dolmaya başlamış ve daha sonraki dönemlerde gerçekleştirilen alımlar azalmıştır. Diğer taraftan kira maliyeti olmasına karşın alımı gerçekleştirilen ve depolara sevk edilen ürünlerin neredeyse tamamı 1. dönem gerçekleşmiştir. Depolara sevkiyatların 1. dönem gerçekleşmesinin sebebi, dönemler arasındaki buğday satın alma maliyeti artışının (4 ₺) depo kiralama maliyetinden (3 ₺) daha fazla olmasıdır. Bu şekilde model toplam maliyetleri düşürmeye odaklanmıştır. Kamyonlar bazında tesisler arasında gerçekleşen sefer sayıları Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 14 incelendiğinde tüm sevkiyatların %99,68 oranında 30 tonluk araçlarla yapıldığı görülmektedir. Bu oran modelin istenen amaç doğrultusunda çalıştığını ve birim taşıma maliyetlerini en düşük seviyeye çektiğini göstermektedir. Diğer taraftan aynı miktarda buğday taşınmasına rağmen köylerden depolara toplam 7.366 adet sefer yapılırken depolardan fabrikalara 7.099 adet sefer gerçekleştirilmiştir. Bu durum köylerden fabrikalara gerçekleştirilen sevkiyatlarda daha fazla oranda atıl kapasitenin olduğunu göstermektedir. 12 depodan 2 fabrikaya yapılan seferlere

Tablo 11. Üretimde kullanılan buğday miktarları (The amount of wheat used in production)

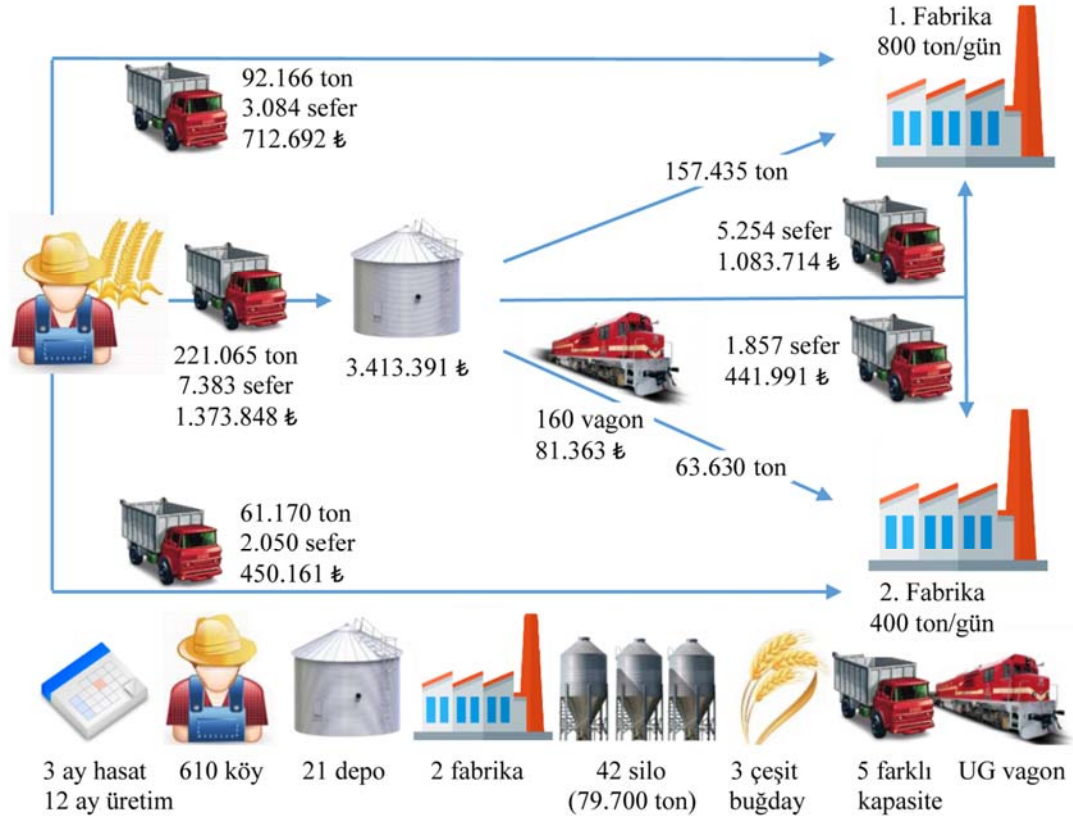
Buğday Çeşidi	Fabrika (V1) (ton/ay)	Fabrika (V2) (ton/ay)
A Sınıfı Buğday (p_1)	3.120	1.560
B Sınıfı Buğday (p_2)	16.016	8.008
C Sınıfı Buğday (p_3)	1.664	832

Tablo 12. Son dönem fabrika silolarında bulundurulacak güvenlik stok miktarı oranları (Safety stock amount ratios to be kept in recent factory silos)

Buğday Çeşidi	Fabrika (ton)
A Sınıfı Buğday (p_1)	% 15
B Sınıfı Buğday (p_2)	% 77
C Sınıfı Buğday (p_3)	% 8

Tablo 13. Köylerden sevk edilen buğday miktarları (The amount of wheat shipped from villages)

	1. Fabrikaya (ton)	2. Fabrikaya (ton)	Depolara (ton)
1. Dönem	43.702,00	35.992,00	221.049,00
2. Dönem	27.671,87	14.808,00	16,00
3. Dönem	20.792,13	10.370,00	0,00
TOPLAM	92.166,00	61.170,00	221.065,00



Şekil 5. Birinci senaryo çözüm sonuçları (First scenario solution results)

Tablo 14. Tesisler arasında gerçekleşen sefer sayıları (Number of trips between facilities)

	Araç Kapasitesi (adet)				
	5 ton	10 ton	16 ton	20 ton	30 ton
Köyler - 1. Fabrika	0	4	4	8	3.068
Köyler - 2. Fabrika	0	5	5	6	2.034
Köyler - Depolar	3	2	6	6	7.366
Depolar - 1. Fabrika	0	1	5	3	5.245
Depolar - 2. Fabrika	0	0	0	3	1.854
TOPLAM	3	12	20	26	19.567

Tablo 15. Depoların kullanım miktarları (Warehouse usage amounts)

TMO Depo	Kullanım Miktarı (ton)	TMO Depo	Kullanım Miktarı (ton)	TMO Depo	Kullanım Miktarı (ton)
Selçuklu	61.982,78	Ereğli	0,00	Meydan	9.200,00
Karapınar	0,00	Cihanbeyli	27.746,00	Arıkören	3.510,00
Sarayönü	14.489,80	Kulu	0,00	Yeniceoba	0,00
Akşehir	8.506,92	Kadınhanı	19.960,91	Çeşmelisebil	17.96,35
Ilgın	4.000,00	Beyşehir	0,00	Pınarbaşı	9.990,00
Doğanhisar	0,00	Çumra	49.892,24	Altınekin	9.990,00
Yunak	0,00	Çeltik	0,00	Sülüklü	0,00

göre çok daha fazla sayıda köylerden aynı sayıda depolara gerçekleştirilen seferlerde atıl kapasitenin olması modelin atıl kapasitelere izin vermesinden dolayı beklenen bir durumdur. Depoların kullanım miktarları Tablo 15'de verilmiştir. Tablo 15 incelendiğinde 12 adet deponun kullanıldığı görülmektedir. Firma Arıkören ve Çeşmelisebil

depolarının dışında kullanılan depoların olduğu bölgelerde kendisi depo açma yatırımı düşünebilir. Bunun için modele depo açıp açmama kararlarının da eklenmesi gerekmektedir. Firmanın her bir fabrikasında bir sonraki hasat dönemine istenen miktarda emniyet stoku bulundurarak girmesi sağlanmıştır.

4.2.2. İkinci senaryo (planlanan durum) (Second scenario (planned situation))

İkinci senaryo firmanın gelecekte olmak istediği durumdur. Firma mevcut duruma alternatif olarak, eski fabrikayı kapatmayı düşünmekte ve yeni fabrikanın kapasitesini ise 1600 ton/güne çıkartmayı hedeflemektedir. Bu senaryoya ait problem bilgileri aşağıda verilmiştir.

4.2.2.1. Problem bilgileri (Problem data)

Bu senaryoda tek bir fabrikada 32 adet 2500 ton çelik silo bulunmaktadır. Fabrikanın toplam depo kapasitesi 80000 tondur. Fabrikanın tüm ürünler ve her bir ürün için 1 dönemde elleçlenebilecek toplam kamyon sayısı Tablo 16'da, fabrikanın aylık dönemlerde buğday çeşitlerinden üretimde kullanılan miktarları Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 16. Fabrikada bir dönemde elleçlenebilecek kamyon sayısı (The number of trucks that can be handled in a factory in a period)

	Aylık (adet)
Tüm Ürünler için (q)	3.120
Her bir ürün için (r)	1.560

Tablo 17. Üretimde kullanılan buğday miktarları (The amount of wheat used in production)

	Aylık (ton)
A Sınıfı Buğday (p_1)	6.240
B Sınıfı Buğday (p_2)	32.032
C Sınıfı Buğday (p_3)	3.328

4.2.2.2. Çözüm sonuçları (Solution results)

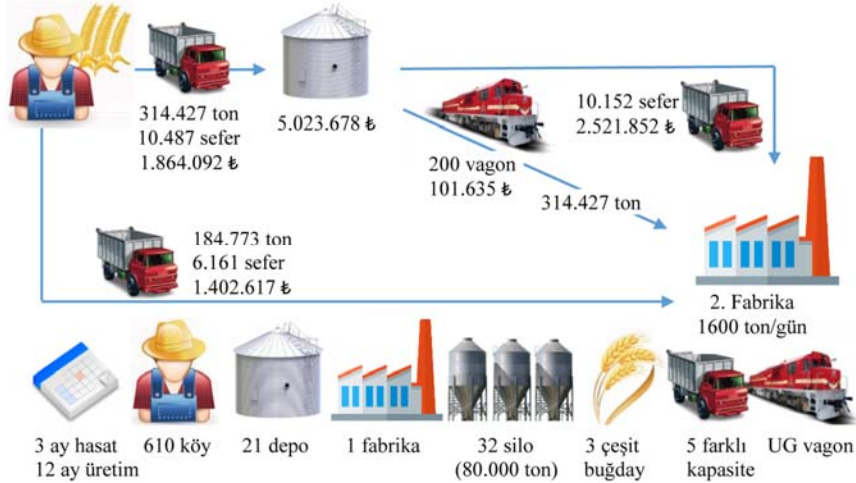
Matematiksel modelde 238.365 adet karar değişkeni ve 42.861 adet kısıt bulunmaktadır. Model, bir önceki çözümde olduğu gibi kabul edilebilir sapma değeri %0.01 alınarak 3.670 sn. de tam sayılı uygun bir çözüm bulmuş ve bu çözüm Şekil 6'da görselleştirilmiştir. İkinci senaryo çözümünde; 499.200 ton buğday, 3.518.891₺ karayolu maliyeti, 101.635 ₺ demiryolu maliyeti ve 5.023.678 ₺ depolama maliyeti ile temin edilmiştir. Firma satın aldığı buğdaylar için 376.725.773 ₺ ödemiştir.

Dönemlere göre köylerden satın alınan ve sevk edilen buğday miktarları Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18. Köylerden sevk edilen buğday miktarları (The amount of wheat shipped from villages)

	2. Fabrikaya (ton)	Depolara (ton)
1. Dönem	84.267,90	314.427,00
2. Dönem	56.366,70	0,00
3. Dönem	44.138,40	0,00
TOPLAM	184.773,00	314.427,00

Bu çözümde de firmanın mevcut depo olanakları yeterli olmadığı için daha fazla dış depo kullanımı söz konusudur. Modelde ki kamyon elleçleme kısıtı fabrikanın dönem içindeki alım miktarları üzerinde belirleyici rol oynamıştır. Tesisler arasında gerçekleşen sefer sayıları Tablo 19'da verilmiştir.



Şekil 6. İkinci senaryo çözüm sonuçları (Second scenario solution results)

Tablo 19. Tesisler arasında gerçekleşen sefer sayıları (Number of trips between facilities)

	Araç Kapasitesi (adet)				
	5 ton	10 ton	16 ton	20 ton	30 ton
Köy - Fabrika	0	0	0	0	6.161
Köy - Depolar	0	1	3	7	10.476
Depolar - Fabrika	0	1	1	5	10.145
TOPLAM	0	2	4	12	26.782

Tablo 19 incelendiğinde tüm sevkiyatların %99,93 oranında 30 tonluk araçlarla yapıldığı görülmektedir. Model önceki çözümde olduğu gibi amaca uygun bir şekilde çalışmış ve toplam taşıma maliyetlerini en aza indirmiştir. Diğer taraftan aynı miktarda buğday taşınmasına rağmen köylerden depolara toplam 10.476 adet sefer yapılırken depolardan fabrikalara 10.145 adet sefer gerçekleştirilmiştir. Bu durum köylerden fabrikalara gerçekleştirilen sevkiyatlarda daha fazla oranda atıl kapasitenin olduğunu göstermektedir. Depoların kullanım miktarları Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20 incelendiğinde önceki çözümden farklı olarak sadece Kulu ve Ereğli depolarının kullanılmadığı toplamda 19 adet deponun kullanıma alındığı görülmektedir. Bu çözümde fabrika kapasitesinin artırılmış olması nedeniyle daha fazla sayıda depoya ihtiyaç duyulmuştur. 15 adet depoda kapasite kullanım oranları %100 veya bu orana çok yakındır. Firmanın fabrikada bir sonraki hasat dönemine istenen miktarda emniyet stoku bulundurarak girmesi sağlanmıştır.

4.2.3. Üçüncü senaryo (alternatif senaryo) (Third scenario (alternative scenario))

Fabrikanın gelecekte planladığı duruma alternatif olarak farklı üretim kapasitesinde sonuçların nasıl etkileneceğini belirlemek amacıyla üçüncü senaryo ele alınmıştır. Üçüncü senaryoda üretim kapasitesi 2.000 ton/gün olan bir fabrika

bulunmaktadır. Üçüncü senaryoya ait problem bilgileri bir sonraki bölümde verilmiştir.

4.2.3.1. Problem bilgileri (Problem data)

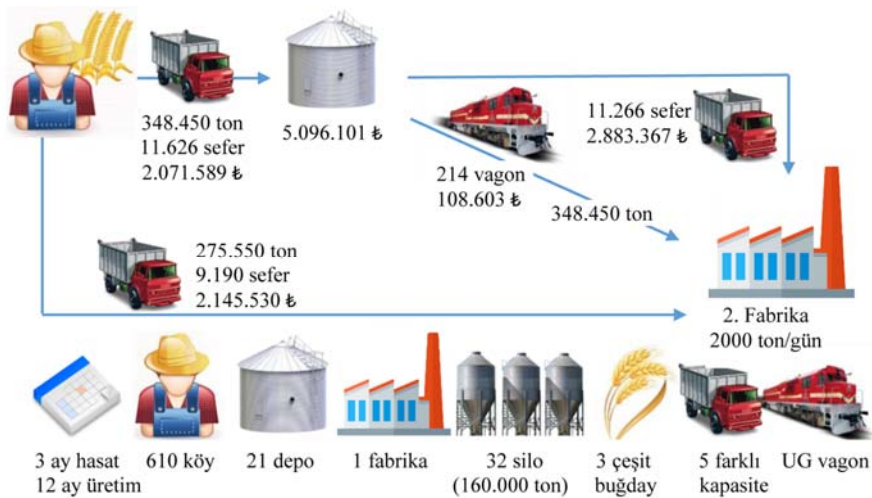
Bu senaryoda, ikinci senaryoya göre fabrikanın üretim kapasitesi %25 oranında, depo ve elleçleme kapasitesi %100 oranında artırılmıştır. Üçüncü senaryoda, fabrikanın 32 adet 5.000 ton çelik siloya sahip olduğu, depo kapasitesinin 160.000 ton olduğu, kamyon elleçleme kapasitesinin tüm ürünler için (q) 6.240 adet, her bir ürün için (r) 3.120 adet olduğu ve fabrikanın a sınıfı buğdaydan 7.800 ton/ay, b sınıfı buğdaydan 40.040 ton/ay ve c sınıfı buğdaydan 4.160 ton/ay talebi olduğu varsayılmıştır.

4.2.3.2. Çözüm sonuçları (Solution results)

Matematiksel modelde 238.347 adet karar değişkeni ve 42.831 adet kısıt bulunmaktadır. Model, diğer iki çözümde olduğu gibi kabul edilebilir sapma değeri %0.01 alınarak 3.070 sn. de tam sayılı uygun bir çözüm bulmuş ve bu çözüm Şekil 7’de görselleştirilmiştir. Üçüncü senaryo çözümünde; 624.000 ton buğday, 7.100.487 ₺ karayolu maliyeti, 108.603 ₺ demiryolu maliyeti ve 5.096.101 ₺ depolama maliyeti ile temin edilmiştir. Firma satın aldığı buğdaylar için 470.907.546.69 ₺ ödemiştir. Dönemlere göre köylerden satın alınıp fabrika ve depolara sevk edilen buğday miktarları Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 20. Depoların kullanım miktarları (Warehouse usage amounts)

TMO Depo	Kullanım Miktarı (ton)	TMO Depo	Kullanım Miktarı (ton)	TMO Depo	Kullanım Miktarı (ton)
Selçuklu	61.997,40	Ereğli	0,00	Meydan	9.200,00
Karapınar	37.615,60	Cihanbeyli	35.000,00	Arıkören	5.580,00
Sarayönü	14.500,00	Kulu	0,00	Yeniceoba	3.630,00
Akşehir	10.000,00	Kadınhanı	19.994,00	Çeşmelisebil	9.990,00
Ilgın	3.990,00	Beyşehir	2.000,00	Pınarbaşı	10.000,00
Doğanhisar	1.980,00	Çumra	49.900,00	Altınekin	9.990,00
Yunak	10.980,00	Çeltik	9.990,00	Sülüklü	8.090,00



Şekil 7. Üçüncü senaryo çözüm sonuçları (Third scenario solution results)

Tablo 21. Köylerden sevk edilen buğday miktarları
(The amount of wheat shipped from villages)

	2. Fabrikaya (ton)	Depolara (ton)
1. Dönem	146.213,40	348.450,00
2. Dönem	77.786,60	0,00
3. Dönem	51.550,00	0,00
TOPLAM	275.550,00	348.450,00

Üçüncü senaryoda fabrikanın depo kapasitesi önemli oranda artırılmasına rağmen daha fazla dış depo kullanımı söz konusudur. Kamyon elleçleme kapasite artışı modele yansımış ve ilk dönemlerde buğday alım miktarında artış yaşanmıştır. Tesisler arasında gerçekleşen sefer sayıları Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22 incelendiğinde tüm sevkiyatların %99,91 oranında 30 tonluk araçlarla yapıldığı görülmektedir. Model ilk iki çözümde olduğu gibi daha büyük kapasiteli araçlar kullanarak taşıma maliyetlerini optimize etmiştir. İlk iki çözümde olduğu gibi köylerden depolara taşıma esnasında kamyon kapasitelerinin tam olarak kullanılmadığı görülmektedir. Depoların kullanım miktarları Tablo 23’de verilmiştir. Üçüncü senaryoda Kulu deposu da kullanıma girmiş ve toplamda 20 adet TMO deposu kullanılmıştır. Ereğli deposu bu çözümde de kullanılmamıştır. Bu senaryoda fabrika depo kapasitesi %100 artmasına rağmen üretim kapasitesindeki artıştan dolayı ikinci senaryoya göre depo kullanım sayısı artmıştır. Bu senaryoda da 15 adet

depoda kapasite kullanım oranları %100 veya bu orana çok yakındır. Firmanın fabrikada bir sonraki hasat dönemine istenen miktarda emniyet stoku bulundurarak girmesi sağlanmıştır.

4.2.4. Senaryoların karşılaştırılması (Comparison of scenarios)

Geliştirilen model firmanın üç farklı senaryosu için çalıştırılmış ve kabul edilebilir sapma değeri için tüm kısıtları sağlayan uygun çözümlere ulaşılmıştır. Senaryolara ait maliyet bilgileri Tablo 24’de verilmiştir. Senaryolarda fabrika kapasiteleri değiştiği için her bir senaryoda kapasiteye uygun şekilde buğday temin edilmiştir. Buğday miktarına bağlı olarak taşıma maliyetlerinde de farklılıklar gerçekleşmiştir. Diğer taraftan birim başına düşen toplam lojistik maliyetleri (taşıma ve depolama) 1. senaryoda 20,18 ₺ iken, 2. senaryoda 17,31 ₺ ve 3. senaryoda 19,72 olarak gerçekleşmiştir. 2. senaryoda 1. senaryoya göre %14,22 oranında daha düşük lojistik maliyet gerçekleşmiştir. Firma 2. senaryo ile her 7 yılda bir 1. senaryonun toplam maliyeti kadar tasarruf sağlayacaktır. 3. senaryoda talep artışına bağlı olarak fabrika daha uzak köylerden buğday temin ettiği için taşıma maliyetleri 2. senaryoya göre yüksek ancak 1. senaryoya göre düşüktür. 3. senaryoda 1. Senaryoya göre %2,18 oranında daha düşük lojistik maliyet gerçekleşmiştir. 2. senaryoda tek depodan demiryolu taşıması gerçekleşirken, 3. senaryoda yüksek karayolu taşıma maliyetlerinden dolayı 3 depodan demiryolu taşıması gerçekleşmiştir.

Tablo 22. Tesisler arasında gerçekleşen sefer sayıları (Number of trips between facilities)

	Araç Kapasitesi (adet)				
	5 ton	10 ton	16 ton	20 ton	30 ton
Köy - Fabrika	0	0	0	4	9.186
Köy - Depolar	2	4	1	8	11.611
Depolar - Fabrika	0	2	3	5	11.256
TOPLAM	2	6	4	17	32.053

Tablo 23. Depoların kullanım miktarları (Warehouse usage amounts)

TMO Depo	Kullanım Miktarı (ton)	TMO Depo	Kullanım Miktarı (ton)	TMO Depo	Kullanım Miktarı (ton)
Selçuklu	62.000,00	Ereğli	0,00	Meydan	9.200,00
Karapınar	40.590,00	Cihanbeyli	35.000,00	Arıkören	5.599,78
Sarayönü	14.489,00	Kulu	17.010,00	Yeniceoba	9.990,00
Akşehir	10.000,00	Kadınhanı	19.992,00	Çeşmelisebil	10.000,00
Ilgın	3.770,00	Beyşehir	1.980,00	Pınarbaşı	9.999,22
Doğanhisar	2.000,00	Çumra	49.900,00	Altınekin	10.000,00
Yunak	18.870,00	Çeltik	9.990,00	Sülüklü	8.070,00

Tablo 24. Senaryoların maliyet açısından karşılaştırılması (Comparison of scenarios in terms of cost)

	Satın Alınan Buğday Miktarı (Ton)	Toplam	Toplam	Toplam Depolama Maliyeti (₺)	Toplam Maliyet (₺)	Birim Maliyet (₺)
		Karayolu Taşıma Maliyeti (₺)	Demiryolu Taşıma Maliyeti (₺)			
1. Senaryo	374.401	4.062.406	81.363	3.413.391	7.557.160	20,18
2. Senaryo	499.200	3.518.891	101.635	5.023.678	8.644.204	17,31
3. Senaryo	624.000	7.100.487	108.603	5.096.101	12.305.191	19,72

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, Türkiye buğday tedarik zinciri yapısına uygun kapasite kısıtlı çok dönemli çok aşamalı çok taşıma seçenekli çok ürünlü tedarik ağ tasarımı modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model ile buğday tedarik zincirinde taşınacak yük miktarına uygun kapasiteli araç seçimi sağlanmış, toplam araç sefer sayıları ve toplam taşıma maliyetleri optimize edilmiştir. Modelin bu kısmı her sektörde uygulanabilecek yapıdadır. Model, Konya’da faaliyet gösteren bir un fabrikasının üç farklı senaryosu için gerçek veriler ile çalıştırılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Senaryo sonuçlarına göre, eski fabrikanın kapatılıp yeni fabrika üretim kapasitesinin belli bir oranda artırılması firmaya önemli maliyet tasarrufları sağlayacaktır. Ancak daha fazla üretim kapasite artışına bağlı olarak daha uzak köylerden buğday temin edilmesi taşıma maliyetlerinde önemli artışlara neden olmaktadır. Bu durumda firmaya taşıma maliyetlerine odaklanması ve yakın köylerdeki çiftçiler ile sözleşmeli tarım uygulamasına geçmesi önerilmektedir. Sözleşmeli tarım kapsamında firma çiftçilere eğitim, planlama ve finansal destek sağlayarak satın alınacak buğdayda kalite ve verim artışı sağlayabilir. Böylelikle daha yakın köylerden daha büyük miktarda kaliteli buğday temin edileceğinden taşıma maliyetleri kontrol altına alınabilir. Model, yakın zamanda Türkiye’de özel sektöre kiralanması düşünülen TMO depolarının amaç doğrultusunda etkin şekilde kullanılabilmesini göstermiştir. Satın alınan buğdaylar konsolide edilirse, taşımada alternatif olarak demiryolu kullanılabilir. Ancak demiryolu taşımacılığının kullanılabilmesi için mevcut hatlardan fabrikalara iltisak hatlarının çekilmesi gerekmektedir. Çalışmada un fabrikasının bir yıllık buğday ihtiyacını hasat zamanı satın alması durumunda Konya ilinin hangi bölgelerinde depolara ihtiyacı olabileceği belirlenmiştir. Model bu bölgelerde depo kur-depo kirala gibi farklı senaryolar ile çalıştırılarak firmanın taktik ve stratejik kararlarına yön verecek farklı sonuçlar elde edilebilir.

Sonuç olarak, Konya özelinde Türkiye buğday tedarik zinciri yapısına uygun, taşınacak miktar için doğru araç seçimi yaparak araç sefer sayılarını azaltan kapasite kısıtlı çok dönemli çok aşamalı çok taşıma seçenekli çok ürünlü 0-1 karma tam sayılı buğday tedarik ağ tasarımı modeli literatüre kazandırılmıştır. Gelecek çalışmalar için, modele depo kirala- depo kur, filo kirala-filo satın al gibi değişkenlerin eklenmesi, modelinin çözüm zamanlarının azaltılabilmesi ve operasyonel seviyede (haftalık, günlük) çalışabilmesini sağlamak amacıyla sezgisel yöntemlerin kullanılması, modelin bölgesel ve ulusal çapta uygulamalarının yapılması ve farklı tahıl ürünleri (arpa, yulaf gibi) için uygulamaların gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 0509.STZ.2013-2 nolu Santez projesi olarak desteklenen Abdullah Oktay Dündar’ın “Tedarik Ağ Tasarımı ve E-Yönetişim” başlıklı doktora tezinden türetilmiştir.

Desteklerinden dolayı uygulamanın yapıldığı un fabrikası yöneticilerine teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Deloitte, Türkiye Gıda Sektörü Raporu, Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Yatırım Destek ve Tanıtım Ajansı. <http://www.investingaziantep.gov.tr/upload/yazilar/Turkiye-Gida-Sektoru-Raporu-379778.pdf>. Yayın tarihi Temmuz, 2010. Erişim tarihi Temmuz 15, 2015.
2. Devlet Planlama Teşkilatı, Dokuzuncu Kalkınma Planı 2007-2013 Bölgesel Gelişme Özel İhtisas Raporu, Rapor No: 2766, Ankara, 2008.
3. Alpan M., Engüzel B., Buğday Unu Raporu, Orta Anadolu İhracatçılar Birliği, Ankara, 2015.
4. Tembo G., Holcomb R. B., Kenkel P., Tilley, D. S., Using mixed-integer programming to determine the potential for flour-milling industry expansion, *Journal of Food Distribution Research*, 30 (3), 12-21, 1999.
5. Higgins, A. J., Optimizing cane supply decisions within a sugar mill region, *Journal of Scheduling*, 2 (5), 229-244, 1999.
6. Higgins A., Antony G., Sandell G., Davies I., Prestwidge D., Andrew, B., A framework for integrating a complex harvesting and transport system for sugar production, *Agricultural Systems*, 82 (2), 99-115, 2004.
7. Reiner G., Trcka M., Customized supply chain design: problems and alternatives for a production company in the food industry. A simulation based analysis, *International Journal of Production Economics (Int. J. Prod. Econ)*, 89 (2), 217-229, 2004.
8. Sachan A., Sahay B. S., Sharma D., Developing Indian grain supply chain cost model: a system dynamics approach, *International Journal of Productivity and Performance Management*, 54 (3), 187-205, 2005.
9. Higgins A. J., Laredo, L. A., Improving harvesting and transport planning within a sugar value chain, *Journal of the Operational Research Society*, 57 (4), 367-376, 2006.
10. Matopoulos A., Vlachopoulou M., Manthou, V., Manos B., A conceptual framework for supply chain collaboration: empirical evidence from the agri-food industry, *Supply Chain Management: an International Journal*, 12 (3), 177-186, 2007.
11. Hongling S., Lili W., Building logistic mode to optimal allocate grain processing enterprises in supply chain, *International Conference on Management Science and Engineering*, Chongqing-China, 3-8 November, 605-610, 2008.
12. Hong L., An Y., A basic analysis of the structure of grain supply chain in Beijing, *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, Hunan-China, 20-22 October, 597-603, 2008.
13. O'Donnell B., Goodchild A., Cooper J., Ozawa T., The relative contribution of transportation to supply chain greenhouse gas emissions: a case study of American wheat, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14 (7), 487-492, 2009.

14. National Transport Commission, Pilot Supply Chain Studies - Grain & Livestock: Stage Two Final Report, Melbourne, Australia, 2009
15. Ahumada O., Villalobos J. R., Application of planning models in the agri-food supply chain: a review, *European Journal of Operational Research (Eur. J. Oper. Res.)*, 196 (1), 1-20, 2009.
16. Cohan L., Costa R., 10 years of value added in the Argentine wheat value chain, VII International Pensa Conference "Economic Crisis: Food, Fiber and Bioenergy chains", San Pablo, Brazil, 26-28 November, 1-17, 2009.
17. Thakur M., Wang L., Hurburgh C. R., A multi-objective optimization approach to balancing cost and traceability in bulk grain handling, *Journal of Food Engineering*, 101 (2), 193-200, 2010.
18. Ding S., A new uncertain programming model for grain supply chain design. *Information*, 16 (2), 1069-1076, 2013.
19. Gurning S., Cahoon S., Dragovic B., Nguyen H. O., Modelling of multi-mitigation strategies for maritime disruptions in the wheat supply chain, *Journal of Mechanical Engineering*, 59 (9), 499-510, 2013.
20. Ge H., Gray R., Nolan, J., Agricultural supply chain optimization and complexity: a comparison of analytic vs simulated solutions and policies, *International Journal of Production Economics*, 159, 208-220, 2015.
21. An K., Ouyang Y., Robust grain supply chain design considering post-harvest loss and harvest timing equilibrium, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review (Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.)*, 88, 110-128, 2016.
22. Mogale, D. G., Dolgui, A., Kandhway, R., Kumar, S. K., Tiwari, M. K., A multi-period inventory transportation model for tactical planning of food grain supply chain, *Computers & Industrial Engineering*, 110, 379-394, 2017.
23. Gholamian, M. R., Taghanzadeh, A. H., Integrated network design of wheat supply chain: A real case of Iran, *Computers and Electronics in Agriculture*, 140, 139-147, 2017.
24. Mogale, D. G., Kumar, S. K., Tiwari, M. K., An MINLP model to support the movement and storage decisions of the Indian food grain supply chain, *Control Engineering Practice*, 70, 98-113, 2018.
25. Mogale, D. G., Kumar, M., Kumar, S. K., Tiwari, M. K., Grain silo location-allocation problem with dwell time for optimization of food grain supply chain network, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 111, 40-69, 2018.
26. Hosseini-Motlagh, S. M., Samani, M. R. G., Saadi, F. A., Strategic optimization of wheat supply chain network under uncertainty: a real case study, *Operational Research*, 1-41, 2019.
27. Syarif, A., Yun, Y., Gen, M. Study on multi-stage logistic chain network: a spanning tree-based genetic algorithm approach, *Computers & Industrial Engineering*, 43 (1-2), 299-314, 2002.
28. Göcen İ., Kara ulaşım araçlarının karbondioksit (CO₂) emisyonlarına eko-verimlilik yaklaşımı, *Anahtar Dergisi*, 277, 40-46, 2012.
29. Dündar A. O., Tedarik ağ tasarımı ve e-yönetişim, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya, 2016.

