



Methodology for the selection of fuzzy-based transportation method in industrial cells: case study

Ozan Ateş^{1*}, Mehmet Bülent Durmuşoğlu²

¹Department of Industrial Engineering, Faculty Engineering, Istanbul Gedik University, 34876, Kartal, Istanbul, Türkiye

²Department of Industrial Engineering, Faculty Management, Istanbul Technical University, 34367, Maçka, Istanbul, Türkiye

Highlights:

- Bringing a new study to the in-plant logistics literature, which contains a limited number of studies
- Bringing innovation to the literature by using the axiomatic design approach in in-plant logistics
- Enabling decision-making without hesitation with sensitivity analyses

Keywords:

- Production logistics
- Internal logistics
- Axiomatic design
- Lean logistics
- Information Axiom

Article Info:

Research Article

Received: 30.03.2022

Accepted: 17.09.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1095850

Correspondence:

Author: Ozan Ateş

e-mail:

ozan.ates@outlook.com.tr

phone: +90 531 947 2676

Graphical/Tabular Abstract

Contrary to other dimensions of logistics, there is not enough study on production logistics or internal logistics in the literature. However, logistics occupies an important place within the production activities, and it has a direct effect on the production period and the product quality. When we look at the limited number of studies in the literature on production logistics that are so important, we see that the work is concerned with the determination of storage strategies, the selection of storage means, the structuring of material handling movements, the selection of material transport vehicle types, cellular placement, and the structuring of intracellular and intracellular movements. The use of fuzzy-based approach in fuzzy and weighted information axiom for the actions of transportation in industrial cells will be a new study. The axiom of the information axiom in the design methodology with axioms has been used in determining the simplest internal logistics transportation technique. Lean logistics is the logistical dimension of lean production. An application study has been put into practice in the factory of an automotive supplier company related to this paper. Different transport techniques are available for use in the production environment. The fuzzy information axiom and the weighted fuzzy information axiom have been used to find the most simple, most efficient and most efficient cell feeding method that customer expects most. The differences between the current inplant logistics and the suggested lean inplant transportation are included in our study. Our study has been fortified with sensitivity analysis in order to help the decision-makers decide without hesitation. The benefits of this study to the company's internal logistics operation are as in Table A.

Table A Comparison of transport by wheelbarrow – transport by combined transport 4

Transport by Wheelbarrow	Combined Transport 4
Too much transport traffic	Less traffic
Too many machines being idle	Less machines being idle
High probability of materials going to the wrong machine	Low probability of materials going to the wrong machine
Average Transport Time: 5,5 minutes	Average Transport Time: 1,5 minutes
Coordination is low, it is not clear which transport vehicle is where, instant routing is difficult	Coordination is high, where vehicles are known, instant routing is easy
There are 91 wheelbarrows in total	30 tugger trains are enough
High rate of material damage	Low rate of material damage
The average number of 300 trips per day	The average number of 100 trips per day

Purpose:

Selection of the most appropriate intralogistics transportation method in production

Theory and Methods:

Fuzzy Information Axiom, Weighted Fuzzy Information Axiom, Sensitivity Analysis

Results:

- Average transport time decreased therefore production time decreased.
- The average of trips on production area decreased.
- Problems caused by traffic, idleness of machines and workers, damage during transportation, and difficulty in coordination of transportation tools have been reduced.

Conclusion:

Our study brings innovation to the limited literature on in-plant logistics and the use of axioms and design in in-plant logistics brings originality. In addition, our study was strengthened with sensitivity analysis.



Endüstriyel hücrelerde bulanık tabanlı taşıma yöntemi seçimi için geliştirilen bir yaklaşım: vaka çalışması

Ozan Ateş^{1*}, Mehmet Bülent Durmuşoğlu²

¹İstanbul Gedik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34876, Kartal, İstanbul, Türkiye

²İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34367, Maçka, İstanbul, Türkiye

ÖNEÇİKANLAR

- Sınırlı sayıda çalışma içeren tesis içi lojistik literatürüne yeni bir çalışmanın kazandırılması
- Aksiyomlarla tasarım yaklaşımının tesis içi lojistikte kullanılması ile literatüre yenilik getirilmesi
- Duyarlılık analizi ile tereddütten uzak karar verilebilmesinin sağlanması

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 30.03.2022
Kabul: 17.09.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1095850

Anahtar Kelimeler:

Üretim lojistiği,
iç lojistik,
aksiyonlarla tasarım,
yalın lojistik,
bilgi aksiyomu

ÖZ

Lojistiğin diğer boyutlarının aksine üretim lojistiği veya iç lojistik ile ilgili literatürde yeterli sayıda denebilecek çalışma mevcut değildir. Hâlbuki üretim faaliyetleri içerisinde lojistik, önemli bir yer işgal eder, üretimin süresine ve ürün kalitesine doğrudan etki eder. Böylesine önemli olan üretim lojistiği ile ilgili literatürdeki sınırlı sayıda çalışmaya bakıldığında çalışmaların depolama stratejilerinin belirlenmesi, depolama araçlarının seçimi, malzeme taşıma hareketlerinin yapılandırılması, malzeme taşıma araç türlerinin seçimi, hücresel yerleşim, hücre içi ve hücreler arası hareketlerin yapılandırılması ile ilgili olduğu görülmektedir. Bulanık tabanlı bir seçim yaklaşımı olan bulanık ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomunun endüstriyel hücrelerdeki taşıma faaliyetleri için kullanılması literatürde yeni sayılabilecek bir çalışma olacaktır. Aksiyomlarla tasarım metodolojisi içerisinde yer alan bilgi aksiyomu, en yalın iç lojistik taşıma yönteminin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bir otomotiv yan sanayi firmasının fabrikasında uygulama çalışması yapılmıştır. Farklı kriterler ile alternatif taşıma yöntemleri içinden en uygun seçenek bulanık bilgi aksiyomu ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu metodolojileri uygulanarak belirlenmiştir. Bu yaklaşımlar ile müşteri beklentilerin en çok sağlayan, en yalın ve en verimli hücre besleme yöntemi bulunmaya çalışılmıştır. Mevcut iç lojistik taşıma yöntemi ile önerilen yalın iç lojistik taşıma yöntemi arasındaki farklara yer verilmiştir. Karar vericilerin tereddütten uzak karar verebilmelerine yardımcı olabilmek için duyarlılık analizi ile çalışma güçlendirilmiştir.

Methodology for the selection of fuzzy-based transportation method in industrial cells: case study

HIGHLIGHTS

- Bringing a new study to the in-plant logistics literature, which contains a limited number of studies
- Bringing innovation to the literature by using the axiomatic design approach in in-plant logistics
- Enabling decision-making without hesitation with sensitivity analysis

Article Info

Research Article
Received: 30.03.2022
Accepted: 17.09.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1095850

Keywords:

Production logistics,
internal logistics,
axiomatic design,
lean logistics,
information axiom

ABSTRACT

logistics occupies an important place in production activities and directly affects the duration of production and product quality. Considering the limited number of studies in the literature on production logistics, which is so important, it is seen that the studies are related to the determination of storage strategies, selection of storage vehicles, structuring of material transport movements, selection of material transport vehicle types, cellular layout, structuring of intracellular and intercellular movements. The use of fuzzy and weighted fuzzy information axiom, which is a fuzzy-based selection approach, for transport activities in industrial cells will be a new study in the literature. The information axiom, which is included in the design methodology with axioms, was used to determine the simplest internal logistics transportation method. An application study was carried out in the factory of an automotive supplier company. The most suitable option among alternative transport methods with different criteria was determined by applying fuzzy information axiom and weighted fuzzy information axiom methodologies. With these approaches, it has been tried to find the simplest and most efficient cell feeding method that provides the most customer expectations. The differences between the current internal logistics transportation method and the proposed lean internal logistics transportation method are given. In order to help decision makers, make decisions without hesitation, the study has been strengthened with sensitivity analysis.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *ozan.ates@outlook.com.tr, durmusoglum@itu.edu.tr / Tel: +90 531 947 2676

1. Giriş (Introduction)

Günümüzün hızla değişen, belirsizliklerle boğuşan, krizlerle sarsılan, pandeminin getirdiği ekonomik zorluklarla uğraşan ve yapay zekâ ile dijitalleşme ile şekillenen iş dünyasında değişen müşteri beklentileri ve acımasızlaşan rekabet, firmaları daha az maliyet ile daha çok fayda üretmek zorunda bırakmıştır. Firmalar ürünlerini daha kaliteli yapmaya, daha hızlı üretmeye ve daha çabuk teslim etmeye doğru yönelmekte, ulusal ve uluslararası piyasalarda pazar payını muhafaza etme ve arttırmada, düşük maliyetli girdi teminini, ayrıca üretilen malların yine ulusal ve uluslararası piyasalara rekabet edebilir fiyatlarla, zamanında arzını gerekli kılmaktadır. Bu amaçları elde edebilmek için işletmeler bir yalınlaşma ve değişim süreci içine girmişlerdir. Rekabet ortamının geçmiş yıllara göre daha da arttığı günümüz şartlarında gerek üretim gerekse de hizmet sektörüne yönelik tüm israflardan arınmayı hedefleyen yalın üretim yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bu yaklaşımda önemli israf kaynaklarından biri de malzeme taşımayla ilişkili israflardır. Bu kapsamda ön plana çıkan önemli konulardan biri yalın üretim ortamında lojistik sisteminin nasıl olması gerektiğidir. Böylece yalın lojistik olarak literatürde yerini almaya başlamıştır [1]. İnternetin yaygınlaşması, yapay zekânın uygulama alanlarının artması, dijitalleşme ve müşterilerin bilinç düzeyinin artması ile beraber ortaya çıkan yeni düzen lojistiğin boyutlarının birbirinden bağımsız ele alınmasını imkânsız hale getirmiş ve bunun bir sonucu olarak da lojistik yönetimi kavramı akademi ve endüstri çevrelerinde yoğun bir şekilde ele alınmaya başlamıştır. Lojistiğin boyutları dört şekilde ele alınabilir. Bunlar tedarik lojistiği, tesis içi lojistik, dağıtım lojistiği ve tersine lojistikdir. Diğerlerinin aksine tesis içi lojistik hakkındaki literatür araştırmaları yetersiz düzeydedir [1]. Her ne kadar son yıllarda konu ile ilgili tez, çalışma ve makalelerin sayısı artış gösterse de henüz yeterli denebilecek sayıda çalışma mevcut değildir.

Yalın lojistik yalın üretimin lojistik boyutudur. Üretim ortamındaki lojistik faaliyetler ne kadar yalın, etkin ve verimli olursa aynı şekilde üretim de yalın, etkin ve verimli olur. Çünkü üretim lojistiği, taşınan ürünlerin vaktinde ve hasarız taşınması bakımından üretimin süresine ve kalitesine doğrudan etki etmektedir. İç lojistik ile ilgili ScienceDirect, Google Scholar ve Web of Science web sitelerinde “intercellular movements”, “in-plant logistics”, “production logistics”, “axiomatic design and in-plant logistics” ve “internal logistics” anahtar kelimeleri ile taramalar yapılmıştır. 2011 – 2022 yılları arasında 40 makale yayınlanmış olup bu yayınlardan 7 tanesi depo fonksiyonları ile ilgili, 19 tanesi malzeme taşıma araçları ile ilgili ve 14 tanesi ise hücre yerleşimi – hücreler arası hareket ile ilgilidir. Bazı yayımlar birden fazla konu ile ilgilidir. Makale, iç lojistik literatüründe kendisine daha az yer bulan hücreler arası parça taşıma yönteminin seçilmesi ile ilgilidir ve bu yönü ile literatüre bir yenilik sunmaktadır. Detaylı çalışma Tablo 1’de sunulmuştur. Söz konusu çalışmalar ve çalışma alanları şu şekilde sunulmuştur.

Boysen ve Bock [2] dinamik programlama ve tavlama benzetimi kullanarak karma modellenmiş montaj hatlarının ihtiyaç duydukları parçaların merkezi bir depodan istasyonlardaki stok miktarını minimize edecek şekilde kutu sırası belirlenerek forklifte yüklenmesi üzerine çalışmışlardır. Kılıç vd. [3] karma tam sayılı model kullanarak zaman periyodunun belli olduğu bir model ve bir araca birden fazla rota atama durumu ile üretim ortamında araç rotalama çalışması yapılmışlardır. Pıllac vd. [4] dinamik araç rotalama problemlerine dair uygulama ve çözüm yöntemlerine ilişkin kapsamlı bir inceleme sunmuşlardır. Schmid vd. [5] karma tam sayılı programlamaya dayalı sezgisel ile lot büyüklüğü, planlama, paketlenme, istifleme, stoklama ve intermodaliteye odaklanarak yeni bir araç rotalama yaklaşımına

odaklanılmışlardır. Gyulai vd. [6] başlangıç çözümü sezgisel ve yerel arama metoduna dayanan ARP yaklaşımı ile lojistik araçların sınırlı kapasitesi ve zaman kısıtı altında lojistik faaliyetlerin üretimi hatasız şekilde destekleyebilmesi için yeni araç rotalama yaklaşımları önermişlerdir. Ma ve Wei [7] zaman pencereli araç rotalama problemi ile tedarik ve üretim lojistiğinde etkin bir araç rotalama yaparak otomotiv sektörü için yedek parça hareketlerinin üretimi daha hızlı besleyecek şekilde yapılmasını hedeflenmişlerdir.

Alnahhal ve Noche [8] talep odaklı ve e-kanban sistemlerinin karışımından oluşan bir strateji ile kısa trenlerin kullanıldığı bir üretim ortamında araç rotalama, yükleme ve programlama sürecini kolaylaştırmak amaçlanmıştır. Boysen vd. [9] kavramsal modelleme ile otomotiv sektöründeki yedek parça lojistiğinin tüm boyutlarıyla geliştirilmesi için karar problemleri, literatür araştırmaları ve araştırma ajandası sunmuşlardır. Zhang vd. [10] simülasyon modelleme ile döngüsel seferler montaj hattı etkinliği, depo – üretim arası malzeme hareketlerinin etkinliği arttırmışlardır. Yapılan simülasyon çalışması ile takt zamanları, tampon kapasitesi, tedarik süresi analizi yapılmıştır. Seebacher vd. [11] otomatik tanımlama teknolojileri ve simülasyon yardımıyla üretim lojistiğindeki zaman kayıplarının azaltılması ve iş akışlarının doğru modellenmesini amaçlamışlardır. Korytkowski ve Karkoszka [12] döngüsel seferler montaj hattı etkinliği, depo – üretim arası malzeme etkinliğinin artırılması hedeflenmiştir. Yapılan simülasyon çalışması ile takt zamanları, tampon kapasitesi, tedarik süresi analizi yapılmıştır. Uçar ve Bayrak [13] kavramsal modelleme ile süpermarket tipi üretim ortamındaki küçük dâhili depoların ve iç taşıma faaliyetlerinin ergonomik açıdan geliştirilmesini hedeflemişlerdir. Schmidt vd. [14] Döngüsel sefer ile taşıma her ne kadar yüksek taşıma kapasitesi, iş gücü tasarrufu, birden fazla değişik noktadaki teslimatı kısa sürede sağlasa da diğer taşıma yöntemlerinin aksine planlaması daha zordur. Bu çalışmada bu zorluğa aşmak için literatür araştırması sunmuşlardır.

Yılmaz vd. [15] çalışmalarında uygun malzeme taşıma ekipmanı ve doğru hat besleme yönteminin seçilebilmesi için bulanık analitik ağ prosesinden faydalanılmış ve sonuçlar bir montaj tesisinde canlı olarak test edilmiştir. Greenwood vd. [16] simülasyon modellemeyen yararlanarak çok seviyeli çerçeve çalışması ile araçların ve operatörlerin fiziksel eylemleri, lojistik faaliyetleri ve stratejik düzey planlama ve karar değişkenleri de dahil olmak üzere üretim sistemlerinin işleyişini iyileştirmek amaçlanmıştır. Saez-Mas vd. [17] çalışmalarında hareketli araç gövdelerinin boyahanedeki montaj hattına taşınması işleminin uygun sıralama ile gerçekleşmesi örnek uygulaması ve yerleşim düzeninin değerlendirildiği örnek uygulamasına göre yapılan simülasyon çalışması ile farklı operasyon katmanlarının taşıma verimliliği ilişkisi incelenmiştir.

Zhang vd. [18] üretim lojistiğinin operasyonel verimliliğini ölçmek amacıyla bulanık entropi modeli önermişlerdir. Hücresel imalat yapılan bir işletmede model uygulanarak öncesi ve sonrası karşılaştırılmıştır. Ağlan ve Durmuşoğlu [19] üretim lojistiğinde parça besleme ve malzeme taşıma faaliyetlerinin entegrasyonu ve koordinasyonu için Bağımsızlık Aksiyomundan yararlanılmışlardır. Altın ve Sipahioğlu [20], iç lojistikteki hücreler arası malzeme taşıma faaliyetlerinde döngüsel sefer çalışma prensibine uygun olarak Otomatik Yönlendirmeli Araçlar kullanılmışlardır. Bu araçların rotalamalarının ve periyotlarının belirlenmesinde karma tamsayı modellemeyen yararlanılmış ve GAMS yazılımı kullanılmıştır. Zheng vd. [21] yaptıkları çalışmada karma model otomotiv montaj hatları için RFID tabanlı malzeme teslimat modelini önermişlerdir. Bu amaçla montaj hatlarının malzeme sınıflandırması ve dağıtım modeli analiz edilmiş, RFID ile üretim devamlılığı veri toplama şeması tasarlanmıştır. Periyodik stok izleme stratejisine dayalı olarak montaj hatları için doğru malzeme besleme hizmeti sağlamak için bir tampon

Tablo 1. Tesis İçi Lojistik Literatür Taraması (In-Plant Logistics Literature Review)

Yazarlar	Depo Fonksiyonları	Malzeme Taşıma Aracı	Hücre Yerleşimi – Hücreler Arası Hareket	Amaç	Çözüm Yöntemi
Boysen ve Bock (2011)		✓	✓	Karma modellenmiş montaj hatlarının ihtiyaç duydukları parçaların merkezi bir depodan istasyonlardaki stok miktarını minimize edecek şekilde kutu sırası belirlenerek forklifte yüklenmesi	Dinamik programlama ve tavlama benzetimi
Kılıç vd (2011)		✓	✓	Zaman periyodunun belli olduğu bir model ve bir araca birden fazla rota atama durumu ile üretim ortamında araç rotalama çalışması yapılmıştır	Karma Tamsayılı Model
Pillac vd. (2012)		✓		Dinamik araç rotalama problemlerine dair uygulama ve çözüm yöntemlerine ilişkin kapsamlı bir inceleme sunulmuştur.	Dinamik ve deterministik model
Schmid vd. (2012)	✓	✓		Lot büyüklüğü, planlama, paketleme, istifleme, stoklama ve intermodaliteye odaklanarak yeni bir araç rotalama yaklaşımına odaklanılmıştır.	Karma Tamsayılı Programlamaya dayalı sezgisel Başlangıç
Gyulai vd. (2013)		✓		Lojistik araçların sınırlı kapasitesi ve zaman kısıtı altında lojistik faaliyetlerin üretimi hatasız şekilde destekleyebilmesi için yeni araç rotalama yaklaşımları önerilmiştir.	çözümü sezgisel ve yerel arama metoduna dayanan ARP yaklaşımı
Ma ve Wei (2013)		✓		Tedarik ve üretim lojistiğinde etkin bir araç rotalama yaparak otomotiv sektörü için yedek parça hareketlerinin üretimi daha hızlı besleyecek şekilde yapılması hedeflenmiştir.	Zaman pencereci araç rotalama problemi
Alnahhal ve Noche (2014)		✓		Kısa trenlerin kullanıldığı bir üretim ortamında araç rotalama, yükleme ve programlama sürecini kolaylaştırmak amaçlanmıştır. Çalışmada aynı zamanda makine arızası, hat durması ve arızalı parçalar gibi sorunlu durumlara odaklanılmıştır.	Talep odaklı ve e-kanban sistemlerinin karışımından oluşan bir strateji
Boysen vd. (2014)	✓	✓		Otomotiv sektöründeki yedek parça lojistiğinin tüm boyutlarıyla geliştirilmesi için karar problemleri, literatür araştırması ve araştırma ajandası sunulmuştur.	Kavramsal modelleme
Zhang vd. (2014)		✓		Otomatik tanımlama teknolojilerinin sağladığı gerçek zamanlı bilgi alışverişi ile malzeme elleçleme görevlerinin optimizasyonu amaçlanmıştır.	Dinamik optimizasyon modelleme
Seebacher vd. (2015)			✓	Otomatik tanımlama teknolojileri ve simülasyon yardımıyla üretim lojistiğindeki zaman kayıplarının azaltılması ve iş akışlarının doğru modellenmesi amaçlanmıştır.	Simülasyon modelleme
Korytkowski ve Karkoszka (2015)	✓			Döngüsel seferler montaj hattı etkinliği, depo – üretim arası malzeme hareketlerinin etkinliği artırmaktadır. Yapılan simülasyon çalışması ile takt zamanları, tampon kapasitesi, tedarik süresi analizi yapılmıştır.	Simülasyon modelleme
Ucar ve Bayrak (2015)		✓		Bu çalışmada süpermarket tipi üretim ortamındaki küçük dâhili depoların ve iç taşıma faaliyetlerinin ergonomik açıdan geliştirilmesi hedeflenmiştir.	Kavramsal Modelleme
Schmidt vd. (2016)		✓		Döngüsel sefer ile taşıma her ne kadar yüksek taşıma kapasitesi, iş gücü tasarrufu, birden fazla değişik noktadaki teslimatı kısa sürede sağlasa da diğer taşıma yöntemlerinin aksine planlamasının zorluğuna dair literatür araştırması sunulmuştur.	Literatür Taraması
Yılmaz vd. (2017)		✓	✓	Uygun malzeme taşıma ekipmanı ve doğru hat besleme yönteminin seçilebilmesi için bulanık analitik ağ prosesi ve uygulaması	Bulanık Analitik Ağ Prosesi
Greenwood vd. (2017)	✓	✓		Çok seviyeli çerçeve çalışması ile araçların ve operatörlerin fiziksel eylemleri, lojistik faaliyetleri ve stratejik düzey planlama ve karar değişkenleri de dâhil olmak üzere üretim sistemlerin işleyişini iyileştirmek amaçlanmıştır.	Simülasyon modelleme
Saez-Mas vd. (2018)			✓	Hareketli araç gövdelerinin boyahanedeki montaj hattına taşınması işleminin uygun sıralama ile gerçekleşmesi örnek uygulaması ve yerleşim düzeninin değerlendirildiği örnek uygulamasına göre yapılan simülasyon çalışması ile farklı operasyon katmanlarının taşıma verimliliği ilişkisi incelenmiştir.	Simülasyon Modelleme
Zhang vd. (2019)			✓	Üretim lojistiğinin operasyonel verimliliğini ölçmek amacıyla bulanık entropi modeli önerilmiştir. Hücresel imalat yapılan bir işletmede model uygulanarak öncesi ve sonrası karşılaştırılmıştır.	Bulanık Entropi Teorisi

stok talep modeli ve optimize teslimat planı oluşturulmuştur. Saez-Mas vd. [22] çalışmalarında üretim hatlarındaki farklı iş istasyonlarını

beslemek ve parça ile bileşenlerin akışlarını optimize eden matematiksel bir model önermişlerdir.

Yazarlar	Depo Fonksiyonları	Malzeme Taşıma Aracı	Hücre Yerleşimi – Hücreler Arası Hareket	Amaç	Çözüm Yöntemi
Ağlan ve Durmuşoğlu (2019)			✓	Üretim lojistiğinde parça besleme ve malzeme taşıma faaliyetlerinin entegrasyonu ve koordinasyonu için Bağımsızlık Aksiyomundan yararlanılmıştır.	Aksiyomlarla Tasarım
Sipahioğlu ve Altın (2019)			✓	İç lojistikteki hücreler arası malzeme taşıma faaliyetlerinde Milk Run çalışma prensibine uygun olarak Otomatik Yönlendirmeli Araçlar kullanılmaktadır. Bu araçların rotalamalarının ve periyotlarının belirlenmesinde karma tamsayılı modellemeden yararlanılmış ve GAMS yazılımı kullanılmıştır.	Karma Tamsayılı Modelleme
Bocewicz vd. (2019)		✓		Üretim lojistiğinde kullanılan Milk Run araçların yükleme, boşaltma zamanlarının takibi, rotalamalarının yapılması ve çizelgelemelerin oluşturulmasında karar destek yaklaşımından faydalanılmıştır.	Karar Destek Sistemleri
Zheng vd. (2020)			✓	Yapılan çalışmada karma model otomotiv montaj hatları için RFID tabanlı malzeme teslimat modeli önerilmiştir. Bu amaçla montaj hatlarının malzeme sınıflandırması ve dağıtım modeli analiz edilmiş, RFID ile üretim devamlılığı veri toplama şeması tasarlanmıştır. Periyodik stok izleme stratejisine dayalı olarak montaj hatları için doğru malzeme besleme hizmeti sağlamak için bir tampon stok talep modeli ve optimize teslimat planı oluşturulmuştur.	RFID Tabanlı Malzeme Teslimat Modeli
Sacz-Mas vd. (2020)			✓	Çalışmada üretim hatlarındaki farklı iş istasyonlarını beslemek ve parça ile bileşenlerin akışlarını optimize eden matematiksel bir model önerilmektedir.	Matematiksel Modelleme
Yang vd. (2021)	✓			Tedarik zincirleri içindeki dağıtım merkezlerinin artan önemine karşın buralarda oluşan darboğazların tespiti için simülasyondan yararlanılmıştır.	Simülasyon Modelleme
Altın ve Sipahioğlu (2021)			✓	Döngüsel sefer taşıma sistemi olan Milk-Run sistemi tedarik ve üretim lojistiğinin verimliliğinin artıran ve yalın felsefeye uygun bir taşıma şeklidir. Çalışmada Milk-Run çalışma şeklinin zor olduğu durumlar için Benzetimli Tavlama Algoritmasından yararlanılmıştır.	Benzetimli Tavlama Algoritması
Boroanovo vd. (2021)	✓			Kanban ve Döngüsel Sefer Taşıma Sistemi ile depo ortamındaki taşımaları iyileştirerek daha kısa malzeme teslim süreleri, ürünün pazara daha hızlı sunularak müşteri memnuniyeti elde edilmesi ve maliyet tasarrufu sağlanmıştır.	Kanban ve Döngüsel Sefer Taşıma Sistemi
Antoniuk vd. (2021)		✓		Endüstri 4.0 konseptiyle birlikte iç taşımaların da otomatik yönlendirmeli araçlar sayesinde dijitalleşmesi mümkün olmuştur. Çalışma Endüstri 4.0 araçları ile iç taşımaların dijitalleşmesi ile ilgili uygulama çalışması içermektedir.	Endüstri 4.0 Araçları
Dönmez vd. (2021)		✓		İç mekanlarda akıllı lojistik sistemlerin daha fazla uygulama alanı bulması ile beraber lojistik robotlar olarak adlandırılan taşıma aletlerinin siber fiziksel sistem ile entegre edilerek konumlandırma, yol planlama, çoklu görev dağılımı, enerji yönetimi, görev önceliklendirme, optimizasyon, engellerden kaçınma gibi bir dizi karmaşık işlevi yerine getirmesi ile ilgili çalışmaları açıklamaktadır.	Siber Fiziksel Sistem
Thanou ve Matopoulos (2021)	✓			Bir otomotiv üretim fabrikasında tesis içi lojistik sistemleri ile ilgili olarak depolama, üretim ve tersine akış arasındaki malzeme akışlarının incelendiği çalışmada ayrık olay tabanlı simülasyon yaklaşımı ile tersine akıştaki trafik yoğunluğunun azaltılması ve bu yolla verimliliğin artırılması hedeflenmiştir.	Ayrık Olay Tabanlı Simülasyon
Coelho vd. (2021)			✓	Tesis içi lojistik faaliyetler operasyonların üretkenliğini ve verimliliklerini arttırmaları sebebiyle organizasyonların önemli bir parçasıdır. Bu sebeple çevik karar verme, üretim planlama operasyonlarının etkin bir şekilde yapılması ve kontrol edilmesi ön plana çıkmıştır. Bu çalışma bu ihtiyacı ele almak suretiyle Lojistik 4.0'a doğru simülasyon tabanlı bir karar verme destek aracı önermektedir.	Simio – Akıllı Nesnelere Yönelik Simülasyon Modellemesi
Qu vd. (2021)		✓		Akıllı fabrikaların gelişimi, otomobil montaj sistemi için daha esnek lojistik ihtiyaçlar doğurmuştur ve bu ihtiyacı karşılamak için verimli çizelgeleme stratejilerine gerek duyulmuştur. Bu çalışmada verimli çizelgelemeler oluşturabilmek için otomatik yönlendirmeli araçlar (AGV) ile malzeme dağıtımı sorunlarına odaklanılmıştır.	Genetik Algoritma

Yazarlar	Depo Fonksiyonları	Malzeme Taşıma Aracı	Hücre Yerleşimi – Hücreler Arası Hareket	Amaç	Çözüm Yöntemi
Jeong vd. (2021)			✓	Çalışma akıllı üretim lojistiğinde pekiştirmeli öğrenmeyi analiz ediyor. Otomotiv endüstrisinin dinamik lojistik ortamında pekiştirmeli öğrenme modelinin ampirik sonuçlarına dayalı katkıları ortaya konulmuştur.	Pekiştirmeli Öğrenme Modeli
Zhang vd. (2021)		✓		Bu çalışmada akıllı fabrikalarda gecikmeleri en aza indirmek ve maliyetleri doğru yönetebilmek için kendi kendine organize olabilen otomatik taşıma araçlarının tek bir araç gibi görevlerini yerine getirebildiği ve iletişim kurabildiği dinamik çizelgeleme yöntemi incelenmiştir.	Dinamik Çizelgeleme Methodu
Diefenbach vd. (2022)			✓	Tesis içi lojistikte belirli bir menzile sahip olan elektrikli taşıma araçları için şarj molalarının planlanabilmesi ve araç filosunun en aza indirilmesi amacıyla yeni bir araç çizelgeleme problemi sunulmaktadır.	Tamsayılı Programlama Modeli, Tam Bir Dal ve Kontrol Çözüm Prosedürü
Zhao vd. (2022)		✓		Tedarik zinciri içerisinde giderek daha fazla ilgi gören üretim lojistiğinde belirsizlikler ve dinamik olma zorunluluğu nedeniyle kaynakların mekânsal düzensizliği ve zamansal uyumsuzlukları verimli kaynak tahsisinde büyük zorluklar çıkarmaktadır. Bu nedenle gereksiz uzun mesafeler ve aşırı bekleme süreleri ortaya çıkmaktadır. Sorunun çözümü için çalışmada dinamik uzay-zaman bilgi grafiği yaklaşımı incelenmiştir.	Uzay – Zaman Bilgi Grafiği Yaklaşımı
TOPLAM	7	19	14		

Bocewicz vd. [23] üretim lojistiğinde kullanılan döngüsel sefer araçların yükleme, boşaltma zamanlarının takibi, rotalamalarının yapılması ve çizelgelerin oluşturulmasında karar destek yaklaşımından faydalanmışlardır. Yang vd. [24] tedarik zincirleri içindeki dağıtım merkezlerinin artan önemine karşın buralarda oluşan darboğazların tespiti için simülasyondan yararlanmışlardır. Altın ve Sipahioğlu [25] döngüsel sefer taşıma sistemi ile tedarik ve üretim lojistiğinin verimliliğinin arttıran ve yalın felsefeye uygun bir taşıma şeklidir. Çalışmada döngüsel sefer çalışma şeklinin zor olduğu durumlar için Benzetimli Tavlama Algoritmasında yararlanılmıştır. Boronovo vd. [26] kanban ve döngüsel sefer taşıma sistemi ile depo ortamındaki taşımaları iyileştirerek daha kısa malzeme teslim süreleri, ürünün pazara daha hızlı sunularak müşteri memnuniyeti elde edilmesi ve maliyet tasarrufu sağlanmıştır. Antoniuk vd. [27] Endüstri 4.0 konseptiyle birlikte iç taşımaların da otomatik yönlendirmeli araçlar sayesinde dijitalleşmesine odaklanmışlardır. Çalışma Endüstri 4.0 araçları ile iç taşımaların dijitalleşmesi ile ilgili uygulama çalışması içermektedir. Dönmez vd. [28] iç mekânlarda akıllı lojistik sistemlerin daha fazla uygulama alanı bulması ile beraber lojistik robotlar olarak adlandırılan taşıma aletlerinin siber fiziksel sistem ile entegre edilerek konumlandırma, yol planlama, çoklu görev dağılımı, enerji yönetimi, görev önceliklendirme, optimizasyon, engellerden kaçınma gibi bir dizi karmaşık işlevi yerine getirmesi ile ilgili çalışmalarını açıklamaktadır.

Thanou ve Matopoulos [29] bir otomotiv üretim fabrikasında tesis içi lojistik sistemleri ile ilgili olarak depolama, üretim ve tersine akış arasındaki malzeme akışlarını inceledikleri çalışmalarında ayrık olay tabanlı simülasyon yaklaşımı ile tersine akıştaki trafik yoğunluğunun azaltılmasını ve bu yolla verimliliğin artırılmasını hedeflemişlerdir. Coelho vd. [30] tespitlerine göre tesis içi lojistik faaliyetler operasyonların üretkenliğini ve verimliliklerini arttırmaları sebebiyle organizasyonların önemli bir parçasıdır. Bu sebeple çevik karar verme, üretim planlama operasyonlarının etkin bir şekilde yapılması ve kontrol edilmesi ön plana çıkmıştır. Bu çalışma bu ihtiyacı ele almak suretiyle Lojistik 4.0'a doğru simülasyon tabanlı bir karar verme destek aracı önermektedir.

Qu vd. [31] araştırmaları akıllı fabrikaların gelişimi, otomobil montaj sistemi için daha esnek lojistik ihtiyaçlar doğurmuştur ve bu ihtiyacı karşılamak için verimli çizelgeleme stratejilerine gerek duyulduğunu

ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada verimli çizelgelenmeler oluşturabilmek için otomatik yönlendirmeli araçlar (AGV) ile malzeme dağıtım sorunlarına odaklanılmıştır. Jeong vd. [32] çalışması akıllı üretim lojistiğinde pekiştirmeli öğrenmeyi analiz ediyor. Otomotiv endüstrisinin dinamik lojistik ortamında pekiştirmeli öğrenme modelinin ampirik sonuçlarına dayalı katkıları ortaya konulmuştur. Zhang vd. [33] çalışmalarında akıllı fabrikalarda gecikmeleri en aza indirmek ve maliyetleri doğru yönetebilmek için kendi kendine organize olabilen otomatik taşıma araçlarının tek bir araç gibi görevlerini yerine getirebildiği ve iletişim kurabildiği dinamik çizelgeleme yöntemi incelenmiştir.

Diefenbach [34] tesis içi lojistikte belirli bir menzile sahip olan elektrikli taşıma araçları için şarj molalarının planlanabilmesi ve araç filosunun en aza indirilmesi amacıyla yeni bir araç çizelgeleme problemi sunmuşlardır. Zhao vd. [35] tespitlerine göre tedarik zinciri içerisinde giderek daha fazla ilgi gören üretim lojistiğinde belirsizlikler ve dinamik olma zorunluluğu nedeniyle kaynakların mekânsal düzensizliği ve zamansal uyumsuzlukları verimli kaynak tahsisinde büyük zorluklar çıkarmaktadır. Bu nedenle gereksiz uzun mesafeler ve aşırı bekleme süreleri ortaya çıkmaktadır. Sorunun çözümü için çalışmada dinamik uzay-zaman bilgi grafiği yaklaşımı incelenmiştir.

Yayınlanan çalışmalar incelendiğinde iç lojistik ile ilgili çalışmalarda hücreler arası hareket ile ilgili daha az sayıda çalışma olması ve aksiyomlarla tasarım yönteminin iç lojistik için kullanıldığı az sayıda yayın olması sebebiyle çalışma, literatüre yenilik kazandıracaktır. Uygulama çalışması yapılan firmada yapılan ön gözlemler ve değerlendirmeler neticesinde fabrikadaki mevcut taşıma yönteminin verimsiz, karmaşık, hataya açık ve üretimin hızı ile uyumadığı tespit edilmiştir. Firmanın ihtiyaç ve beklentileri ile literatürdeki açık birlikte düşünüldüğünde makalenin ve uygulama çalışmasının faydalı olacağı düşünülmüştür.

Hem literatürdeki çalışmalara katkı sağlamak hem de üretim lojistiğinde aksiyomlarla tasarım metodolojisinin kullanılması noktasındaki eksikliği gidermek amacıyla çalışma, saha çalışması ile güçlendirilmiştir. Aksiyomlarla tasarım metodolojisinin endüstriyel hücreler arası taşıma faaliyetleri için bir başka deyişle tesis içi lojistik içindeki kullanımı çok yenidir. Aksiyomlarla tasarımın bilgi

aksiyonu ve bağımsızlık aksiyonu şeklinde uygulamaları vardır. Makalede birden fazla seçenek arasından en uygununu belirleyebilmek amacıyla bilgi aksiyomundan faydalanılmıştır. Müşterilerin her zaman kesin sayı ve tariflerden oluşmayan bulanık beklentileri sebebiyle bulanık tabanlı seçim yaklaşımlarından bulanık bilgi aksiyomu ve tasarım parametrelerinin aynı önem seviyesinde olmaması nedeniyle ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu yaklaşımları makalemizde birlikte kullanılmıştır.

Çalışmanın saha uygulaması bir otomotiv yan sanayi firmasının fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Fabrikadaki mevcut iç lojistik yapısı incelenmiş ve üretim ortamında kullanılacak 8 farklı taşıma yöntemi belirlenmiştir. Daha sonra bu taşıma yöntemlerinin en uygununu seçmek için kullanılacak 7 kriter tespit edilmiştir. Söz konusu kriterler firmanın beklentileri, firmanın müşterilerinin talepleri ve teknolojinin gerektirdiklerine göre firmanın lojistik uzmanları ile beraber belirlenmiştir.

8 farklı iç lojistik taşıma yöntemi, 7 kriter bakımından bulanık bilgi aksiyomu metodolojisi kullanılarak incelenmiş ve en uygun taşıma yöntemi belirlenmiştir. Daha sonra söz konusu 7 kriterin farklı önem seviyeleri dikkate alınarak ağırlıklandırma yapılmış ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu yaklaşımı da kullanılarak en uygun taşıma tekniği yeniden belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda bulanık bilgi aksiyomu ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu sonuçları karşılaştırılarak en uygun taşıma yönteminin hangisi olduğu kararlaştırılmıştır.

Bilgi içeriği değerlerinin birbirine yakın çıkması karar vericiyi tereddütte düşürebilmektedir, bu nedenle bulanık bilgi aksiyomu ile ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu yaklaşımları beraber uygulanarak her iki yaklaşıma göre tereddütten uzak karar verebilmek mümkündür. Bir diğer yaklaşım ise duyarlılık analizi uygulamasıdır. Çalışmanın bir diğer özgün yönü olan duyarlılık analizi ile mevcut

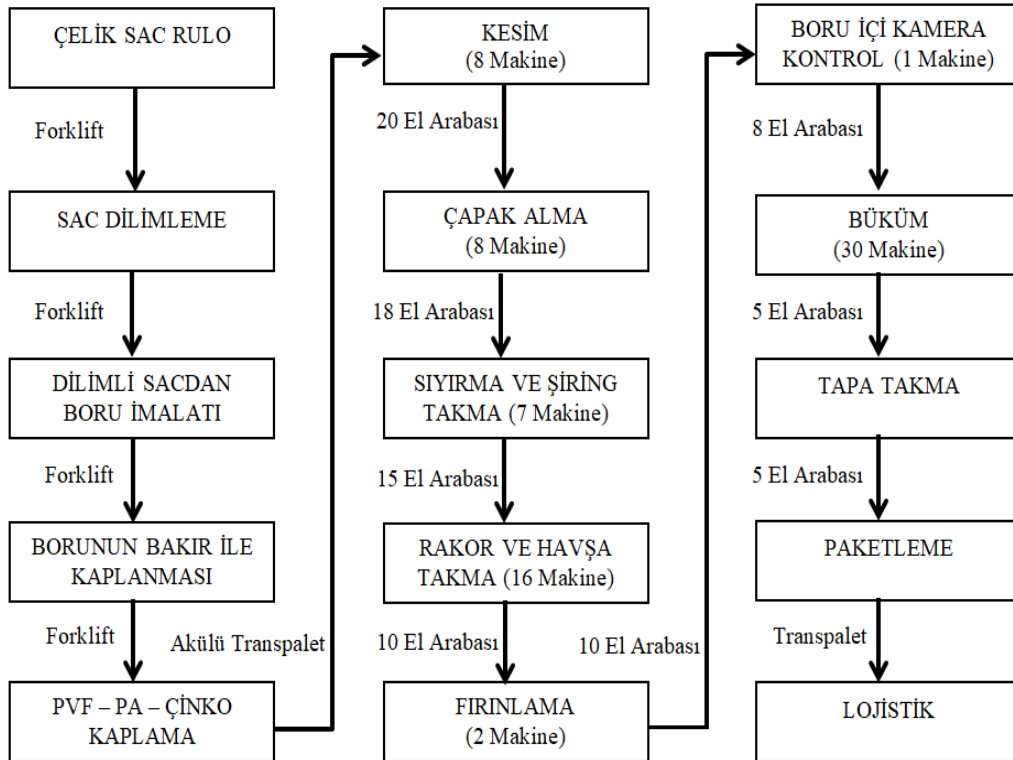
taşıma yöntemi ile belirlenen yeni taşıma yöntemi “ekonomik ömür” kriterine göre değerlendirilmiştir.

2. Bulanık ve Ağırlıklandırılmış Bulanık Bilgi Aksiyomu ile Üretimde Uygun Taşıma Yönteminin Seçilmesine Dair Uygulama Çalışması

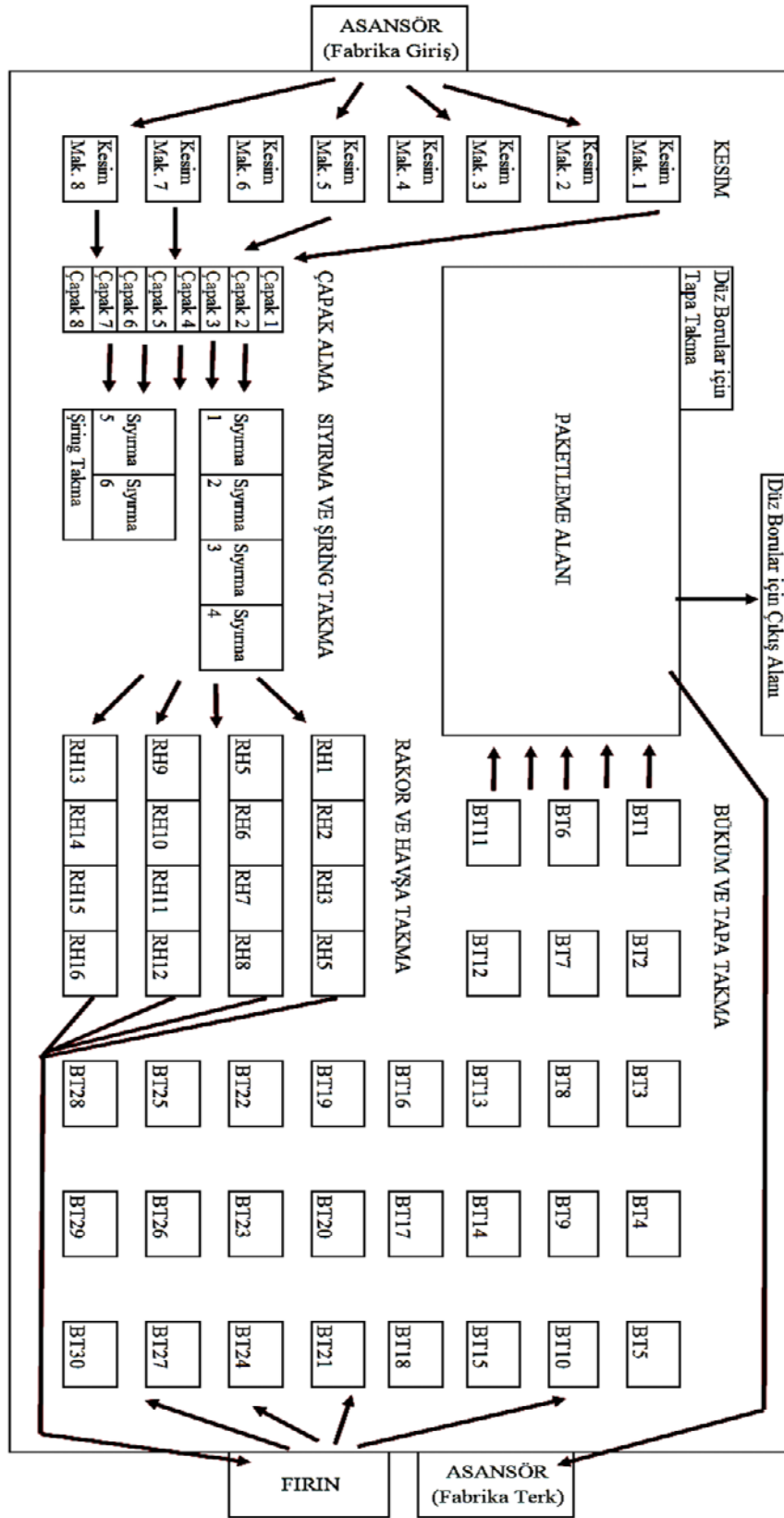
(Applicable Study on Selecting the Suitable Handling Method in Production With the Information Axiom of Fuzzy and Weighted Fuzzy)

Beyaz eşya ve otomotiv sektörüne yarı mamul tedarik eden söz konusu yan sanayi firmasında aşağıdaki 5 ana ürün çeşidi üretilmektedir. Firmanın kaplama ve şekillendirme fabrikaları bulunmaktadır. Uygulama çalışmamız şekillendirme fabrikasında gerçekleştirilmiş olup üretilen boruların çelik sac rulo halinden bitmiş ürüne kadarki üretim süreçleri Şekil 1’de gösterilmiştir. Şekil 1’deki ilk 5 adım kaplama fabrikasında, sonraki 10 adım ise şekillendirme fabrikası içerisinde gerçekleştirilmektedir. Her adım bir iş istasyonu (hücre) olup şekillendirme fabrikası istasyonlarının içerdikleri makine sayısı ve istasyonlar arası hangi türden kaç taşıma aracı ile taşıma yapıldığı şekil üzerinde gösterilmiştir. Mevcut taşıma tekniği olarak el arabası denilen araçlarla manuel bir taşıma yapılmaktadır. 7 iş istasyonunda 72 makine mevcut olup toplamda 81 el arabası ile hücreler arası malzeme transferleri gerçekleştirilmektedir. Şekil 2’de şekillendirme fabrikasının yerleşim düzenine ve malzeme hareketlerine yer verilmiştir. Malzeme hareketleri Şekil 1’deki iş istasyonlarının sırasına göredir. U tipi bir yerleşim söz konusu olup asansör ve fırın fabrikasının sağ tarafına konumlandırılmıştır.

- Fren Borusu
- Klima Borusu
- Direksiyon Borusu
- Yakıt Borusu
- Vakum Hortum



Şekil 1. Boru üretim süreci (Pipe production process)



Şekil 2. Şekillendirme fabrikası yerleşim düzeni ve malzeme hareketleri şablonu (Forming factory layout and material movements template)

Üretim ortamında yapılan incelemeler ve lojistik uzmanları ile yapılan toplantılar neticesinde aşağıdaki taşıma yöntemi alternatifleri belirlenmiştir.

- El Arabası ile Taşıma (EAT)
- Akülü Transpalet ile Taşıma (ATT)
- Otomatik Yönlendirmeli Araçlar ile Taşıma (OYAT)
- Kısa Tren ile Taşıma (KTT)
- Kombine Taşıma 1 (Otomatik Malzeme Taşıma Makinesi + El Arabası) (KT1)
- Kombine Taşıma 2 (Otomatik Malzeme Taşıma Makinesi + Akülü Transpalet) (KT2)
- Kombine Taşıma 3 (Otomatik Malzeme Taşıma Makinesi + Otomatik Yönlendirmeli Araçlar) (KT3)
- Kombine Taşıma 4 (Otomatik Malzeme Taşıma Makinesi + Kısa Tren) (KT4)

Söz konusu taşıma tekniklerinden en uygun seçeneği seçmek için aşağıdaki kriterler lojistik uzmanları ile beraber belirlenmiştir. Kriterlerin açıklamaları Tablo 2'deki gibidir.

3. 1 Bulanık Bilgi Aksiyomu Yaklaşımı ile Uygun İç Taşıma Yönteminin Belirlenmesi

(Determining the Appropriate Internal Transport Method with the Fuzzy Information Axiom Approach)

Fabrikanın üretim ortamında faaliyet gösterecek taşıma yönteminin sağlanması gereken tasarım aralığı değerleri ile alternatif taşıma yöntemlerinin değerleri Tablo 3'deki gibidir.

Bulanık bilgi aksiyomu metodolojisine göre bilgi içeriği sonuçları Tablo 4'deki gibidir.

El arabası ile taşıma yönteminin teslim kalitesi bilgi içeriği hesaplaması Eş. 1 ve Eş. 2'ye göre aşağıdaki gibidir. Diğer taşıma yöntemlerinin diğer kriterlere göre bilgi içeriği hesaplamaları Eş. 1 ve Eş. 2'ye [36] göre yapılarak sonuçlara Tablo 3'de yer verilmiştir.

$$ITTTK = \log_2 \left(\frac{100-90}{100-95} \right) = \log_2(2) = 1$$

$$I_i = \log_2 \left(\frac{\text{Sistem Aralığı}}{\text{Ortak Aralık}} \right) \quad (1)$$

$$I_i = d \left(\frac{\text{Üçgensel Bulanık Sayılar Sistem Aralığı}}{\text{Ortak Aralık}} \right) \quad (2)$$

3. 2 Ağırlıklandırılmış Bulanık Bilgi Aksiyomu Yaklaşımı ile Uygun İç Taşıma Yönteminin Belirlenmesi

(Determining the Appropriate Internal Transport Method with the Weighted Fuzzy Information Axiom Approach)

7 bilgi aksiyomu kriterinin aynı önem seviyesinde olmamasından dolayı Tablo 5'deki önem derecelerine göre ağırlıklandırma yapılmıştır. Bu yaklaşımda 1-9 önem aralığı kullanılmış ve düzenlenen ikili karşılaştırma matrisi öz vektör yöntemi ile analiz edilerek kriterlere ilişkin ağırlık değerleri tablodaki gibi belirlenmiştir.

Kriterler önem derecelerine göre ağırlıklandırıldıktan sonraki bilgi içeriği sonuçlarına Tablo 6'da yer verilmiştir.

Tablo 2. Bilgi aksiyomu kriterleri ve açıklamaları (Information axioms criterias and descriptions)

Kriterler	Açıklamalar
Teslim Kalitesi (TK)	Üretilen nihai ürünlerin müşteri beklentisini sağlama durumu
Lojistik Maliyet (LM)	Taşıma yöntemlerinin kurulum ve işletme maliyetleri
Teslim Süresi (TS)	İstasyonlar arası malzeme transfer süreleri
Uygunluk (U)	Seçilen taşıma yönteminin üretim ortamına uygun olma durumu
Taşıma Hacmi (TH)	Taşıma yöntemlerinin tek seferde yapabileceği malzeme transfer hacimleri
Bakım Onarım Sıklığı (BOS)	İlgili taşıma yönteminin işler halde tutulması için gerekli olan bakım sıklığı
Koordinasyon Kolaylığı (KK)	İlgili taşıma yöntemine ait araçların kolay koordine edilebilme yeteneği

Tablo 3. Firma İç Lojistik Yapısına Uygun Tasarım Parametre Aralıkları ile Alternatif Taşıma Yöntemlerinin Tasarım Parametre Aralıkları

(Design parameter suitability ranges for internal logistics structure of company and design parameter ranges of alternative transportation methods)

Kriterler	Tas. Ara	TT	ATT	OYAT	KTT	KT1	KT2	KT3	KT4
TK	>%95	>90	>%93	>%94	>%93	>%95	>%95	>95	>%95
LM	(2, 9, 9)	Düşük	Yüksek	Yüksek	Ç. Düş.	Ç. Yük	Ç. Yük	Ç. Yük	Yüksek
TS	2-6 Min.	6-10 Min.	3-8 Min.	3-8 Min.	4-10 Min.	3-8 Min.	3-8 Min.	2-5 Min.	2-5 Min.
U	Çok U.	Çok U.	Çok U.	Çok U.	Uygun	Çok U.	Çok U.	Çok U.	Uygun
TH	(6,10,10)	Orta	Orta	Orta	İyi	Çok İ.	Çok İ.	Çok İ.	Çok İ.
BOS	(2, 9, 9)	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Ç. Yük	Ç. Yük	Yüksek
KK	(6,10,10)	Orta	Orta	Çok İ.	İyi	İyi	İyi	Çok İ.	Çok İ.

Tablo 4. Taşıma yöntemleri için bilgi içeriği sonuçları (Information content results for transport methods)

	ITK	ILM	ITS	IU	ITH	IBOS	IKK	ΣI
EAT	1	1,5	∞	0	4,059	1,5	4,059	∞
ATT	0,48	0,071	0,41	0	4,059	0,071	4,059	9,15
OYAT	0,26	0,071	0,41	0	4,059	0,071	0	4,871
KTT	0,48	4,91	1	3,17	1,152	0,071	0,876	11,659
KT1	0	2	0,41	0	0	0,071	0,876	3,357
KT2	0	2	0,41	0	0	2	0,876	5,286
KT3	0	2	0	0	0	2	0	4
KT4	0	0,071	0	3,17	0	0,071	0	3,312

El arabası ile taşıma yönteminin tüm kriterlere göre ağırlıklandırılmış bilgi içeriği hesaplamaları Eş. 3'e göre aşağıdaki gibi yapılmıştır. Diğer taşıma yöntemlerinin tüm kriterlere göre ağırlıklandırılmış bilgi içeriği hesaplamaları da Eş. 3'e [27] göre yapılarak sonuçlara Tablo 6'da yer verilmiştir.

$$I_{ij} = \begin{cases} \left[\log_2 \left(\frac{1}{p_{ij}} \right)^{1/W_j}, & 0 \leq I_{ij} < 1 \right] \\ \left[\log_2 \left(\frac{1}{p_{ij}} \right)^{W_j}, & I_{ij} > 1 \right] \\ W_j, & I_{ij} = 1 \end{cases} \quad (3)$$

ITTTK = WTK = 0,238
 ITTLM = (1,5)^(0,416) = 1,184
 ITTTS = (∞)^{0,138} = ∞

ITTU = 0 olduğundan sonuç değişmez yine aynıdır.

ITTTTH = (4,059)^{0,057} = 1,083
 ITTBOS = (1,5)^(0,039) = 1,016
 ITTKK = (4,059)^{0,057} = 1,083

Üçgensel bulanık sayıları içeren üyelik fonksiyonu yardımıyla belirsiz veriler için bilgi içeriği hesaplanabilmektedir. Tasarım ve sistem aralıklarının kesişimi olan ortak alan bir fonksiyonel ihtiyacın karşılanma olasılığının hesaplanmasında kullanılabilir. Tasarım ve Sistem Aralıklarının kesişimi olan ortak alan Şekil 3'de gösterilmiştir [37]. Bulanık bilgi aksiyomu ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu metodolojilerine göre taşıma yöntemlerinin önceliklendirilmesi ise Tablo 7'deki gibidir. Her iki metodolojiye göre de kombine taşıma 4 isimli taşıma yöntemi en düşük bilgi içeriği değerine sahip olması sebebiyle 1. öncelikli olarak belirlenmiştir. El arabası ile taşıma yöntemi uygun teslim süresini sağlamadığı için elenmiş olup diğer taşıma yöntemlerinin ideal iç lojistik tasarım parametrelerine az veya çok uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Mevcut taşıma yöntemi olan el arabası ile taşıma yöntemi her iki metodolojiye göre elenmiş olup aslında işletmede hedeflenen tasarım parametrelerinden uzak bir taşıma yönteminin uygulanmakta olduğu sonucuna varılmıştır.

3. Duyarlılık Analizi (Sensitivity Analyses)

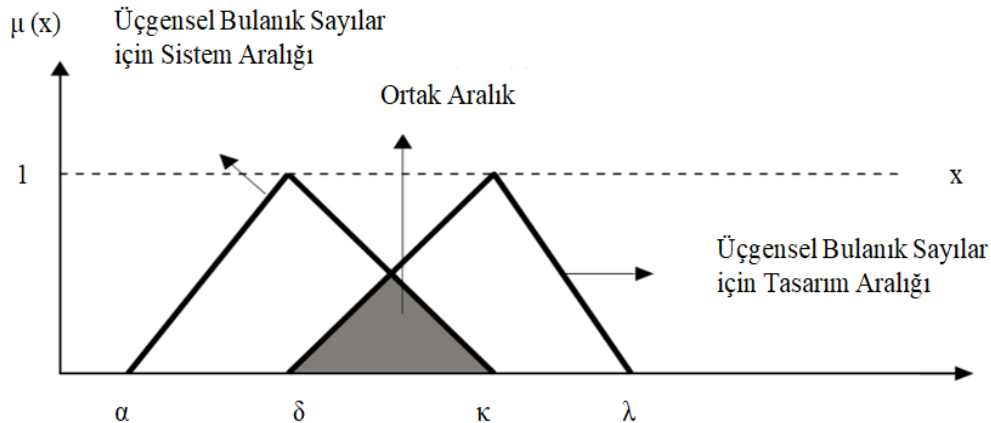
Bulanık AD sonuçlarına göre Kombine Taşıma 4 ile Kombine Taşıma 1 yöntemlerinin toplam bilgi içeriği değerleri birbirlerine yakındır.

Tablo 5. Ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu için kriterlerin ağırlıklandırılması (The weighting of criteria for weighted fuzzy information axiom)

	ITK	ILM	ITS	IU	ITH	IBOS	IKK	ΣI
EAT	0,238	1,184	∞	0	1,083	1,016	1,083	∞
ATT	0,048	0,003	0,002	0	1,083	0,0003	2,404	3,54
OYAT	0,005	0,003	0,002	0	1,083	0,0003	0	1,093
KTT	0,0458	1,938	0,138	1,078	1,008	0,0003	0,737	4,945
KT1	0	1,334	0,00016	0	0	0,0003	0,737	2,071
KT2	0	1,334	0,00016	0	0	1,027	0,737	3,098
KT3	0	1,334	0	0	0	1,027	0	2,361
KT4	0	0,0017	0	1,078	0	0,0003	0	1,08

Tablo 6. Taşıma yöntemleri için ağırlıklandırılmış bilgi içeriği sonuçları (Weighted information content results for transport methods)

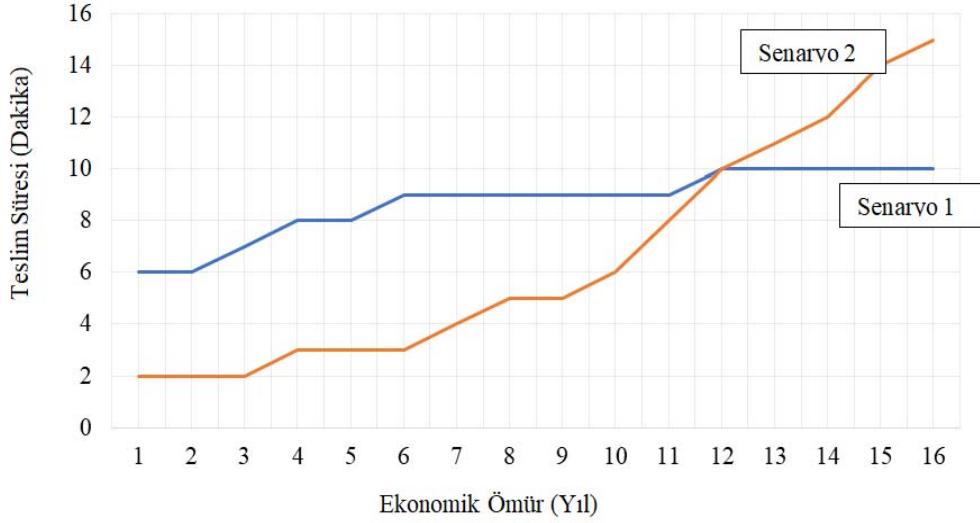
Kriterler	TK	LM	TS	U	TH	BOS	KK	Ağırlıklar (Wi)
TK	1	1/3	5	3	7	5	7	0,238
LM	3	1	7	5	9	7	9	0,416
TS	1/5	1/7	1	3	5	3	7	0,138
U	1/3	1/5	1/3	1	3	1	1	0,065
TH	1/7	1/9	1/5	1/3	1	3	3	0,057
BOS	1/5	1/7	1/3	1	1/3	1	1/3	0,039
KK	1/7	1/9	1/7	1	1/3	3	1	0,626



Şekil 3. Sistem Aralığı, Tasarım Aralığı ve Ortak Alan için Üçgensel Bulanık Üyelikler (Triangular Fuzzy Members for Design Range, System Range and Common Area)

Tablo 7. Bulanık bilgi aksiyomu ile ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması
(Comparison of the results obtained with the fuzzy information axiom and weighted fuzzy information axiom)

Alternatif Taşıma Yöntemleri	Bulanık AD	Ağırlıklı Bulanık AD
El Arabası ile Taşıma	Elendi	Elendi
Akülü Transpalet ile Taşıma	6. Öncelikli	6. Öncelikli
Otomatik Yönlendirmeli Araçlar ile Taşıma	4. Öncelikli	2. Öncelikli
Döngüsel Sefer Yapan Kısa Trenler ile Taşıma	7. Öncelikli	7. Öncelikli
Kombine Taşıma 1	2. Öncelikli	3. Öncelikli
Kombine Taşıma 2	5. Öncelikli	5. Öncelikli
Kombine Taşıma 3	3. Öncelikli	4. Öncelikli
Kombine Taşıma 4	1. Öncelikli	1. Öncelikli

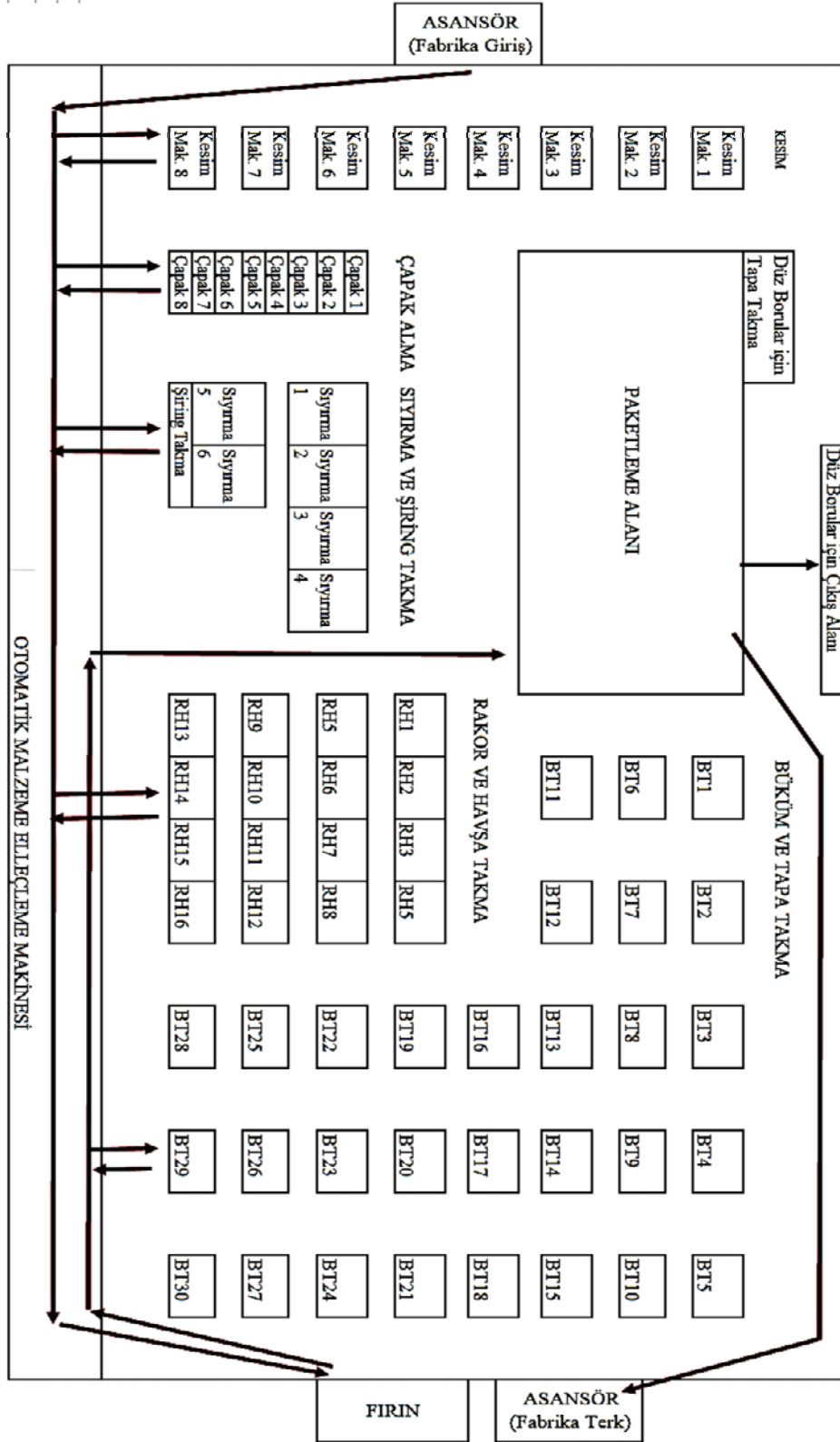
**Şekil 4.** Teslim süresi ekonomik ömrüne dayalı duyarlılık analizi örneği (Example of sensitivity analysis based on lead time economic life)

Ağırlıklı bulanık AD sonuçlarına göre ise Kombine Taşıma 4 ile Otomatik Yönlendirmeli Araç ile Taşıma yöntemlerinin toplam bilgi içeriği değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Birbirine yakın olan bilgi içeriği değerleri karar vericiyi tereddüde düşürebilmektedir. Bu nedenle bulanık AD ve ağırlıklı bulanık AD yaklaşımlarının her ikisi beraber uygulanarak iki yaklaşıma göre en uygun olan taşıma yöntemi tercih edilmelidir. Çalışmada Kombine Taşıma 4 yöntemi her iki yaklaşıma göre birinci öncelikli çıktığından en uygun taşıma yöntemi olarak belirlenmiştir. Birbirine yakın bilgi içeriği problemini aşmanın bir diğer yöntemi ise duyarlılık analizleri yapmaktır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulamaları kümeleme ve sınıflandırma gibi farklı yöntemler kullanılarak değerlendirilebilir [38]. Bu çalışmada mevcut ve önerilen taşıma yöntemleri bir kriter üzerinden duyarlılık analizine tabi tutulmuştur. Birbirine yakın bilgi içeriği değerlerine sahip yöntemlerin kritik öneme sahip kriterleri saptanarak duyarlılık analizleri yapılırsa karar verici daha sağlıklı ve tereddüden uzak bir karar verebilir. Duyarlılık analizi çalışmamızda mevcut taşıma yöntemi (el arabası ile çalışma) “Senaryo 1” olarak, AD ve Bulanık AD metodolojileri neticesinde seçilen taşıma yöntemi (kısa tren ve otomatik malzeme taşıma makinesi) “Senaryo 2” olarak belirlenmiştir. Şekil 4’de görüleceği üzere ekonomik ömrü 12 yılın altında olmak kaydıyla Senaryo 2 yani kısa tren ve otomatik malzeme taşıma makinesi taşıma yöntemi üretimdeki hücreler arası daha kısa teslim süresine sahip olduğundan daha avantajlıdır. Ekonomik ömür 12 yılın üstüne çıktığında otomatik malzeme taşıma makinesi ve kısa trenler ekonomik ömrünü tamamlamakta, verimliliğini kaybetmekte ve arıza sıklıkları arttırdığından hücreler arası teslim süreleri artışa geçmektedir. Bu nedenle 12 yılda bir ilave yatırım yapılarak teslim süreleri istenilen değer aralığında tutulabilir. Otomatik sistemlerin belirli bir süre sonra teknolojilerinin eskimesi olağan olup yapılması

gereken taşıma süreleri uzamaya başlamadan müdahale ederek sistemin etkinliğini korumaktır. Çalışma, önerilen taşıma yönteminin 12 yıl gibi uzun bir süre boyunca daha kısa teslim süreleri sunması bakımından mevcut taşıma yöntemi ile karşılaştırıldığında avantajlı olduğunu göstermiş ve karar vericinin tereddüden uzak karar vermesine katkı sağlamıştır.

4. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Hücreler arası taşıma faaliyetlerinde bir başka adıyla üretim lojistiğinde yalın dönüşümü sağlamak için mevcut taşıma yöntemi ile birlikte toplam 8 taşıma yöntemi incelenmiştir. Söz konusu taşıma yöntemleri, iç lojistikte teknolojinin en son sunduğu taşıma yöntemlerinden oluşmaktadır. Yalın lojistiğe uygun taşıma yönteminin seçilmesi için 7 farklı kriter belirlenmiş ve bulanık tabanlı seçim yaklaşımlarından bulanık bilgi aksiyomu ve ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu yaklaşımları beraber uygulanarak uygun taşıma yöntemi, otomatik malzeme taşıma makinesi ve kısa tren taşımacılığının bir arada kullanıldığı kombine taşıma seçeneği birinci öncelikli olarak tespit edilmiştir. Tablo 7’de mevcut taşıma yöntemi ile seçilen taşıma yöntemi arasındaki farklara değinilmiştir. Bilgi içeriği değerlerinin birbirine yakın olması sebebiyle karar vericinin tereddütte düşmemesi için bulanık bilgi aksiyomu ve ağırlıklandırılmış bilgi aksiyomu yaklaşımları birlikte uygulanarak her iki yaklaşıma göre değerlendirme yapılabileceği gibi karar vericinin tereddütte düşmemesi için bir diğer yaklaşım olarak duyarlılık analizi yapılmıştır. Makalemizin sonunda firmada uygulanan mevcut taşıma yöntemi ile belirlenen yeni taşıma yöntemi “ekonomik ömür” kriteri bakımından duyarlılık analizine tabi tutulmuş ve 12 yıl gibi uzun bir süre boyunca belirlenen yeni taşıma yönteminin daha avantajlı olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 5. Şekillendirme fabrikası yerleşim düzeni ve yeni malzeme hareketleri şablonu
(Forming factory layout and new material movements template)

Tablo 8. El arabası ve kombine taşıma 4 taşıma yöntemlerinin karşılaştırılması (Comparison of transport by wheelbarrow – transport by combined transport 4)

El Arabası ile Taşıma Yöntemi	Oto. Malz. Taş. Mak. ve Kısa Tren ile Taşıma
Taşıma trafiği çok fazla	Taşıma trafiği az
Makinelerin boş kalması fazla	Makinelerin boş kalması az
Malzemelerin yanlış hücreye gitme olasılığı fazla	Malzemelerin yanlış hücreye gitme olasılığı az
Taşıma aracı yükleme ve boşaltma süresi: 2 dk.	Taşıma aracı yükleme ve boşaltma süresi: 2 dk.
Taşıma aracı transfer süresi: 5,5 dk.	Taşıma aracı transfer süresi: 1,5 dk.
Koordinasyon az, hangi taşıma aracının anlık olarak nerede olduğu belli değil, anlık yönlendirme zor	Koordinasyon fazla, taşıma araçlarının her an nerede oldukları belli, anlık yönlendirme kolay
Toplam 91 adet el arabası mevcut.	30 adet kısa tren yeterlidir.
Malzeme hasarlanma oranı yüksek	Malzeme hasarlanma oranı çok düşük
Günde ortalama 300 sefer sayısı	Günde ortalama 100 sefer sayısı

Belirlenen yeni taşıma yöntemi üretim ortamına uygulandığında yeni şablon Şekil 5'deki gibi olacaktır. Üretim ortamının sağına (şablonun alt kısmı) otomatik malzeme taşıma makinesi boydan boya yerleştirilecektir. Söz konusu otomatik malzeme taşıma makinesi malzemeleri uzun mesafelerde hızlı bir şekilde taşıırken, otomatik malzeme taşıma makinesinden çıkan malzemelerin istasyonlardaki makinelere beslemesi ve istasyonlardan işlenmiş olarak çıkan malzemelerin bir sonraki istasyondaki makineye gönderilmek üzere otomatik malzeme taşıma makinesine transferi ise kısa trenler ile sağlanacaktır.

Kısa tren ile taşıma yöntemi ve kombine taşıma 4 yöntemlerinin karşılaştırmasına Tablo 8'de yer verilmiştir. Kombine taşıma 4 yönteminde daha az araç ve daha az sefer sayısı ile aynı miktardaki malzeme transferini gerçekleştirmek kısa trenler sayesinde mümkündür. Dolayısı ile sefer sayıları azaldığından taşıma trafiği ve hasarlanma oranları azalmakta, koordinasyon kolaylığı ise artmaktadır. Makineler arası uzun mesafeler otomatik malzeme taşıma makinesi ile daha hızlı aşıldığından malzemelerin transfer süreleri ve nihayet üretim süreleri kısalmaktadır.

Finansal, çevresel ve mali konular sürdürülebilirliğin üç sacayağıdır ve aralarındaki dengeyi korumak sürdürülebilirliği sağlamak için önem arz eder [39]. Firmaların iç lojistik faaliyetlerinde ortaya çıkan mali, sosyal ve çevresel hususlar nedeniyle bu çalışmada finansal, çevresel ve sosyal amaçlı, noktalar arasında alternatif yol ve hız seviyeleri için kısa trenlere yol gösterici olarak andon panolardan faydalanılacaktır. Ayrıca kısa trenlerin malzeme beslemesi yapacağı ve/veya işlenen parçaların toplanacağı makinaların konumları için kısa trenlerde yer alan navigasyon cihazlarından faydalanılacaktır. Bu cihazlar merkezi bir veri tabanından veri çekerek kısa tren sürücüsüne rehberlik yapacaktır. Merkezi veri tabanı, üretimdeki tüm iş istasyonlardaki makinaların ve kısa trenlerin çalışma durumlarını ve konumlarını içermektedir.

Gelecekteki çalışmalara yol göstermek amacıyla aksiyonlarla tasarım yaklaşımı üretim lojistiği içinde daha fazla kullanım alanı bulabilir. Uygun iç taşıma yönteminin belirlenmesi yanı sıra yalnız iç lojistik için uygun üretim yerleşim düzeninin nasıl olacağı, uygun taşıma yönteminin seçimi ve hangi üretim sistemine göre nasıl bir döngüsel sefer yapısı kurulacağı problemleri aksiyonlarla tasarım yaklaşımı ile incelenmesi ve tesis içi yerleşimin taşıma faaliyetlerini kolaylaştıracak şekilde nasıl olması gerektiği sonraki çalışmalar için önerilebilir.

Duyarlılık analizi çalışması, mevcut sistem ile önerilen sistem arasında yapılabileceği gibi bilgi aksiyomu neticesinde birbirlerine yakın bilgi içeriği değerlerine sahip olan seçenekler arasında ve daha çok kriter üzerinden yapılabilir. Böylece karar verici açısından tereddütten uzak ve daha sağlıklı bir karar verilmesi mümkün olabilmektedir.

Kaynaklar (References)

1. Kılıç, H. S., Yalın üretim ortamında iç lojistik sisteminin tasarımı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
2. Boysen N., Bock S., Scheduling just-in-time part supply for mixed-model assembly lines, *European Journal of Operational Research*, 211 (1), 15-25, 2011.
3. Kılıç H. S., Durmuşoğlu M. B., Başkak M., Belirli Zaman Periyotlu Çok Rotalı Döngüsel Seferler Yapan Araçlardan Kurulu İç Lojistik Sistemine İlişkin Matematiksel Model Önerisi, XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul – Türkiye, 477-484, 23 - 24 Haziran, 2011.
4. Pillac V., Gendreau M., Gueret C., Medaglia A. L., A review of dynamic vehicle routing problems, *European Journal of Operational Research*, 225 (1), 1-11, 2012.
5. Schmidt M., Hartmann W., Nyhuis P., Simulation based comparison of safety-stock calculation methods, *CIRP Annals*, 61 (1), 403 – 406, 2012.
6. Gyulai, D., Pfeiffer, A., Sobotta, T., Vánca, J., Milkrun vehicle routing approach for shop-floor logistics. *Procedia CIRP*, 7, 127-132, 2013.
7. Ma H., Wei J., Milk-run vehicle routing optimization model and algorithm of automobile parts, *Applied Mechanics and Materials*, 253 – 255, 1463 – 1467, 2013.
8. Alnahhal M., Noche B., Capacity planning in in-plant milk run sytem, *International Journal of Service and Computing Oriented Manufacturing*, 1 (3), 197 – 210, 2014.
9. Boysen N., Emde S., Hoeck M., Kauderer M., Part logistics in the automotive industry: Decision problems, literature review and research agenda, *European Journal of Operational Research*, 242, 107 – 120, 2014.
10. Zhang Y., Zhang G., Du W., Wang J., Ali E., Sun S., An optimization method for shopfloor material handling based on real-time and multi-source manufacturing data, *International Journal of Production Economics*, 165, 282 -292, 2014.
11. Seebacher G., Winkler H., Oberegger B., In-plant logistics efficiency valuation using discrete event simulation, *International Journal of Simulation Modelling*, 14 (1), 60-70, 2015.
12. Korytkowski, P., Karkoszka, R. Simulation-based efficiency analysis of an in-plant milk-run operator under disturbances. *Int J Adv Manuf Technol*, 82, 827–837, 2015.
13. Uçar Ç., Bayrak T., Improving in-plant logistics: A case study of a washing machine manufacturing facility, *The International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, 22 (2), 195-212, 2015.
14. Schmidt T., Meinhardt I., Schulze F., New Design Guidelines for Inplant Milk-run Systems, 14th International Material Handling Research Colloquium (IMHRC2016), Karlsruhe – Germany, 12, 12-13 June, 2016.
15. Yılmaz Ö. F., Öztaysi, B., Durmuşoğlu M. B., Öner S. C., Determination of material handling equipment for lean in-plant logistics using fuzzy analytical network process considering risk attitudes of the experts, *International Journal of Industrial Engineering*, 24 (1), 81-122, 2017.
16. Greenwood M. S., Hale R., Qualls L., Cetiner S., Fugate D., Harrison T., TRANSFORM - TRANSient Simulation Framework of

- Reconfigurable Models. Computer Software. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1395459>. 2017.
17. Saez-Mas, A., García Sabater, J. P., Morant -Llorca, J., Using 4-layer architecture to simulate product and information flows in manufacturing systems. *International Journal of Simulation Modelling*, 17 (1), 30-41, 2018.
 18. Zhang Q., Chen Y., Yang J., Wang G., Fuzzy entropy: A more comprehensible perspective for interval shadowed sets of fuzzy sets, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 28 (11), 3008-3022, 2020.
 19. Ağlan, C., Durmuşoğlu, M. B., A complete design methodology for lean in-plant logistics to assembly line using AD principles, *International Journal of Industrial Engineering*, 26 (5), 766-796, 2019.
 20. Sipahioğlu, A., Altın, İ., A mathematical model for in-plant milk-run routing, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25 (9), 1050-1055, 2019.
 21. Zheng Y., Qiu Y., Shen F., Changpeng H., RFID-based material delivery method for mixed-model automobile assembly, *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106023, 2020.
 22. Saez-Mas A., Garcia-Sabater J. P., Garcia-Sabater J. J., Ruiz A., Redesigning the in-plant supply logistics: A case study, *Computers & Industrial Engineering*, 143, 106422, 2020.
 23. Bocewicz G., Klempous R., Banaszak Z., Constraints Programming Driven Decision Support System for Rapid Production Flow Planning, *Cognitive Infocommunications Theory and Applications*, 13, 391-410, 2019.
 24. Yang, Y., Goodarzi, S., Bozorgi, A. ve Fahimnia, B., Carbon cap and trade schemes in closed-loop supply chains: why firms do not comply?, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 156, 554, 2021.
 25. Altin, I., Sipahioğlu, A., Simulated annealing algorithm for in-plant milk-run system, *Communications in Computer and Information Science*, 1407, 187-201, 2021.
 26. Dönmez, E., Okumuş, F., Kocamaz, F., Adaptive operation model for interior smart logistics in cyber physical systems, *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (4), 965-980, 2021.
 27. Antoniuk, I., Svitek, R., Krajčovič, M., Furmannová, B., Methodology of design and optimization of internal logistics in the concept of Industry 4.0, *Transportation Research Procedia*, 55, 503-509, 2021
 28. Borgonovo F., Capone A., Fratta L., Marchese M., Petrioli C., PCP: a bandwidth guaranteed transport service for IP networks, *IEEE International Conference on Communications*, 1, 671-675, 1999.
 29. Thanou E., Matopoulos A., Improving efficiency of material flows in an automotive assembly plant: A case study, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 35, 959-967, 2021.
 30. Coelho F., Relvas S., Barbosa-Povoa A. P., Simulaton-based decision support tool for in-house logistics, *The Basis for A Digital Twin*, 153, 107094, 2021.
 31. Qu S., Hu Y., Zhang L., Lu S., An improved optimization method for materials distribution based on spatiotemporal clustering in automobile assembly lines, *Procedia CIRP*, 97, 241-246, 2021.
 32. Jeong Y., Agrawal T. K., Flores-Garcia E., Wiktorsson M., A reinforcement learning model for material handling task assignment and route planning in dynamic production logistics environment, *Procedia CIRP*, 104, 1807-1812, 2021.
 33. Zhang L., Yan Y., Hu Y., Ren W., A dynamic scheduling method for self-organized AGVs in production logistics systems, *Procedia CIRP*, 104, 381-386, 2021.
 34. Diefenbach H., Emde S., Glock C. H., Multi-depot electric vehicle scheduling in in-plant production logistics considering non-linear charging models, *European Journal of Operational Research*, 306, 110-121, 2022.
 35. Zhao Z., Zhang M., Chen J., Qu T., Huang G. Q., Digital twin-enabled dynamic spatial-temporal knowledge graph for production logistics resource allocation, *Computers & Industrial Engineering*, 171, 108454, 2022.
 36. Suh, N. P., Cochran, D.S., Paulo C. L., Manufacturing system design, *Annals of the Cirp*, 47 (2), 627-639, 1998.
 37. Kulak O., Kahraman C., Fuzzy multi-attribute selection among transportation companies using axiomatic design and analytic hierarchy process, *Information Sciences*, 170 (2-4), 191-210, 2005.
 38. Yildiz A., Ayyildiz E., Taskin Gumus A., Ozkan C., A modified balanced scorecard based hybrid pythagorean fuzzy AHP-Topsis methodology for ATM site selection problem, *Int. J. Inf. Technol. Decis. Mak.*, 19 (02), 365-384, 2020.
 39. Tükenmez İ., Kaya O., A sustainable vehicle routing problem with alternative road and speed options, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (4), 2037-2052, 2021.