

Montaj Sistemlerinde Tesis İçi Lojistik Kararları Altında Hat Yerleşim Stratejilerinin Karşılaştırılması

Pelin ŞAHİN¹  Ayşe KARAAĞAÇ¹  Esmâ SUNULU¹  Bilal ERVURAL² 

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Konya, Türkiye

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

ÖZET

Makale Geçmişi

Geliş Tarihi: 04.01.2024

Kabul Tarihi: 12.02.2024

Yayın Tarihi: 30.04.2024

Anahtar kelimeler:

Hat yerleşim
Parça besleme,
Süpermarket,
Üretim lojistiği.

Üretim lojistiği olarak da bilinen iç lojistik, hammaddelerin, malzemelerin ve bileşenlerin sorunsuz bir şekilde yönetilmesi sürecinde kritik bir unsurdur. Tesis içi lojistiğin temel zorluklarından biri, depolama tesislerinin nasıl yapılandırılacağıdır. Bu karar, merkezi mi yoksa merkezi olmayan bir depolama sisteminin mi daha uygun olduğunu belirlemeyi ve belirli operasyonel ihtiyaçlara en uygun süpermarket türünün seçilmesini içerir. Taşıma sistemi kararları, denklemin bir sonraki ayrılmaz parçasını oluşturur. Bu adımda, besleme hatları, çekici trenler, forkliftler veya konveyör sistemleri ve Otomatik Kılavuzlu Araç (AGV) teknolojisinin kullanımı gibi malzeme taşıma yöntemleri üzerinde durulur. Bu çalışma, farklı istasyon yerleşim türleri (I-tipi, L-tipi, U-tipi ve S-tipi) süpermarket yerleşim yeri ve ulaşım araçlarının seçimi kararları ile analiz edilerek en uygun hat yerleşim türüne karar vermeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, toplam taşıma ve stok maliyetlerini en aza indirmeyi, tesis alanı kullanımını optimize etmeyi ve genel verimliliği artırmayı hedefleyen bir matematiksel model sunulmaktadır. Süpermarket yerleşimi düzeninin ve taşıma araçlarının türü ve sayısının optimize edilmesi, düşük maliyetli tesis içi taşımalara ve belirli bir hizmet kalitesi seviyesinin sağlanmasına yönelik önemli bir adımdır. Bu çalışma, süpermarket düzeni ve taşıma yöntemi seçimi kararları altında hat türlerinin karşılaştırılması ile tesis içi taşıma maliyetlerini en aza indirme, alan kullanımını ve verimliliği artırma odaklı bir yaklaşım sunmaktadır.

Comparison of Line Layout Strategies in Assembly Systems under In-Plant Logistics Decisions

Article Info

Article History

Received: 04.01.2024

Accepted: 12.02.2024

Published: 30.04.2024

Keywords:

Line layout
Part feeding,
Production logistics,
Supermarket.

ABSTRACT

Internal logistics, interchangeably known as production logistics, plays a pivotal role in efficiently managing raw materials, materials, and components within a facility. A fundamental challenge in in-facility logistics lies in determining the configuration of storage facilities. This critical decision involves choosing between a centralized or decentralized storage system and selecting the most suitable supermarket type to meet specific operational needs. The subsequent integral step involves making decisions about the transportation system. This step evaluates various material handling methods, including feed lines, tow trains, forklifts, conveyor systems, and Automatic Guided Vehicle (AGV) technology. Building on this, our study aims to identify the most suitable line layout type by analyzing different station layout types (I-type, L-type, U-type, and S-type), supermarket layout, and transportation vehicle selection decisions. In this context, a mathematical model is designed to minimize total transportation and inventory costs, optimize facility space utilization, and enhance overall efficiency. Achieving an optimal supermarket layout and determining the appropriate type and quantity of transportation vehicles represents a crucial step towards realizing cost-effective in-facility transportation and ensuring a specific level of service quality. Our study provides a focused approach, aiming to minimize in-facility transportation costs, optimize space utilization, and enhance efficiency by systematically comparing line types within decisions related to supermarket layout and transportation method selection.

To cite this article: Şahin, P. Karaağaç, A. Sunulu, E. & Ervural, B. (2024). Montaj sistemlerinde tesis içi lojistik kararları altında hat yerleşim stratejilerinin karşılaştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 153-165. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.39>

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Bilal Ervural, bervural@erbakan.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda, özellikle montaj üretimi yapan işletmelerde, üretim hatlarının süreç iyileştirmesine odaklanmaktan parça lojistiği operasyonlarına ağırlık vermeye doğru kayda değer bir değişim yaşanmıştır [1]. Şirketler, en kaliteli ürünü en düşük maliyetle üretmek ve en iyi müşteri memnuniyetine sahip olmak için rekabet ederken [2], tüketici taleplerini karşılamak için çeşitli seçenekler sunarak ürünlerini özelleştirmek zorundadır. Bu durum, farklı ürün modellerinin üretilmesine ve istasyonlara tedarik edilecek parçaların önemli ölçüde çeşitlenmesine yol açmaktadır. Dahası, tam zamanında (Just-in-Time - JIT) konseptiyle uyumlu olarak, teslimat döngülerini en aza indirme zorunluluğu artmış ve aynı zamanda iyi organize edilmiş ve tutarlı lojistik operasyonlarına duyulan ihtiyacı yoğunlaştırmıştır [1,3,4].

Genellikle iç lojistik olarak adlandırılan üretim lojistiği, verimli üretim operasyonlarının temel bir bileşenidir ve hammaddelerin, malzemelerin ve bileşenlerin bitmiş ürünlere dönüştürülmesi sırasında düzenli bir şekilde yönetilmesi için kritik görev görür. Fabrika içi lojistiğin doğasında bulunan çok yönlü zorluklar arasında, depolama tesislerinin yapılandırılması önemli bir karar noktası olarak ortaya çıkmaktadır [5,6]. Bu karar, merkezi ve merkezi olmayan depolama sistemleri arasında mantıklı bir seçim yapılmasının yanı sıra belirli operasyonel gereksinimlere göre uyarlanmış en uygun süpermarket türünün seçilmesini de gerektirir. Buna paralel olarak, taşıma sistemi kararları da lojistik denklemin ayrılmaz bir parçasını oluşturur. Bu aşama, besleme hatları, traktör trenleri, forkliftler, konveyör sistemleri ve Otomatik Kılavuzlu Araçlar (Automatic Guided Vehicle-AGV) veya Lazer Kılavuzlu Araçlar (Laser Guided Vehicles-LGV) teknolojisinin entegrasyonu gibi seçenekleri kapsayan malzeme taşıma yöntemlerinin belirlenmesi ile sürdürülür.

Çapraz sevkiyatın tesis içi lojistikte karşılığı olan süpermarket kavramı stok yönetimine yardımcı olan ve bir üretim tesisi içindeki malzeme akışını düzenleyen bir depolama ve dağıtım sistemini ifade eder [5]. Parçaların kesintisiz tedarikini sağlamak için bu tesis içi lojistik alanlarının optimum konumunun ve miktarının belirlenmesi önemlidir. Tesis alanının yüksek maliyeti göz önüne alındığında, mevcut alanı stratejik olarak kullanmak, aşırı maliyetlere neden olan gereğinden büyük süpermarketlerden veya üretkenliği önemli ölçüde engelleyebilecek yetersiz süpermarketlerden kaçınmak zorunludur. Bunun yanı sıra, son yıllarda kablosuz ağlar, sensorlar ve akıllı bilgi ve üretim yöntemleri gibi teknolojilerin yükselişi etkili malzeme taşıma sistemlerinin geliştirilmesine yol açmış ve manuel taşıma işlemlerinin yerini alması için fırsat oluşturmuştur. Genel olarak Otomatik Taşıma Araçları (Automated Transport Vehicles-ATV) olarak adlandırılan AGV'ler, mobil robotlar, çekici trenler gibi araçlar günümüzde üretim istasyonları arasında malzeme taşıma için etkin bir şekilde kullanılmaktadır [7]. Etkili bir malzeme taşıma sistemi kurmak için birden çok malzeme taşıma aracını entegre bir halde kullanmak gerekebilir. Ancak, bu teknolojilerin edinilmesi ve uygulanması önemli ilk yatırım maliyetleri içerir ve birçok üretim tesisi için kayda değer bir engel teşkil eder. Bu zorlukların anlaşılması ve hafifletilmesi, uzun vadeli faydalar sağlayabilecek başarılı bir entegrasyon için çok önemlidir. Bu nedenle, otomatik taşıma araçlarının sisteme entegre edilmesi üretim endüstrileri için karmaşık karar problemlerinden biridir [1,8]. Alınacak kararlardan bazıları; (i) kullanılacak araç türünün ya da türlerinin belirlenmesi, (ii) araçların maksimum taşıma kapasitelerinin belirlenmesi ve (iii) malzeme yükleme ve boşaltma yönteminin belirlenmesidir.

İlgili literatür incelendiğinde belirli varsayımlar altında problemin bir kısmını ele alan teorik çalışmaların [9,10] çoğunlukta olduğu görülmüştür. Bu çalışmaların birçoğu da taşıma aracının çizelgelemesi ve rotalaması üzerinedir. Heger ve Voss [11] çok amaçlı istasyonlardan

oluşan esnek bir atölye için AGV'lerin sevk kuralları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada AGV'ler için statik kurallar yerine dinamik öncelik temelli bir sevk politikası sunulmuş ve bu akıllı sevk yaklaşımı ile büyük bir iyileştirme sağlandığı vurgulanmıştır. Rahman ve Nielsen [12] dağıtım sistemleri için otomatik taşıma araçlarının (AGV, çekici tren, vb.) istasyonlara düzgün malzeme akışını sağlanması amacıyla bir çizelgeleme çalışması yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda araç türlerinin entegre şekilde çalıştığı bir yaklaşımın düzgün malzeme akışını sağladığı ve sistem performansının önemli ölçüde iyileştirildiği gösterilmiştir. Zacharia ve Xidias [13] esnek bir üretim sisteminde AGV filosu için araç rotalama ve hareket planlaması araştırmışlar ve çok amaçlı evrimsel bir model önermişlerdir.

Son yıllarda, problemi bütünsel olarak ele alan gerçek-hayat uygulamalarına ilişkin çalışmalara olan ilgi de artmaktadır. İlk olarak, Alnahhal ve Noche [14], karma modellenmiş montaj hatlarını besleyen süpermarketlerin sayısını ve yerlerini belirleyerek sistemin taşıma ve stok sabit maliyetlerini minimize etmeyi amaçlayan bir tamsayı programlama modeli ve genetik algoritma çözüm yaklaşımı önermişlerdir. Nourmohammadi ve ark. [15] esnek imalat sistemleri için süpermarketlerin (tesis içi merkezi olmayan depolama alanları) konumunun belirlenmesi ve taşıma aracı seçimi problemini birlikte ele alan entegre bir stokastik model önermişlerdir. Battini vd. [8], tesis içi döngüsel sefer (milk-run) sistemlerinde, taşıma aracı seçim problemi ile süpermarket alanlarının konumunun belirlenmesi problemini birlikte ele almışlardır. Faccio vd. [16], karma modellenmiş üretim hatlarında optimal süpermarket ve taşıma/besleme sistemini tasarlamak için bir çerçeve sunmuşlardır. Bu çerçevede süpermarket sistemleri ile taşıma sisteminin optimal şekilde planlamasına yönelik hem uzun vadeli (statik-analitik model) hem de kısa vadeli model (dinamik-simülasyon modeli) entegre şekilde sunulmuştur.

Modern üretimin dinamik ortamında, iç lojistiğin etkin yönetimi, operasyonel verimlilik için giderek daha önemli hale gelmiştir. Bu zorluğun merkezinde, tesis içindeki depolama alanlarının yapılandırılması ve taşıma sistemleriyle ilgili stratejik kararların verilmesi yer almaktadır. Bu bağlamda, yeni teknolojilerin entegrasyonu, bir dizi fırsat ve zorluğu da beraberinde getirmiştir. Bu zorlukların üstesinden gelmek ve yatırımları geçerli kılmak için optimizasyon modelleri önemli bir rol oynamaktadır.

Bu çalışma, süpermarket konumu ve taşıma modu seçimine ilişkin kararlarla bağlantılı olarak çeşitli hat düzenlerinin, özellikle de I-tipi, L-tipi, U-tipi ve S-tipi stratejilerin incelenmesine dayanmaktadır. Genel amaç, tesis içi lojistiğin optimize edilmesi bağlamında en uygun hat yerleşim tipini belirlemektir. Bu amaca ulaşmak için çalışma, toplam taşıma ve stok maliyetlerini en aza indirirken aynı zamanda tesis alanının kullanımını optimize etmek için geliştirilmiş bir matematiksel model içermektedir. Süpermarket yerleşim planının optimizasyonu ve uygun taşıma modu seçimi, yalnızca maliyet etkin fabrika içi taşımacılığın değil, aynı zamanda gerekli hizmet kalitesinin de elde edilmesinde çok önemlidir. Bu nedenle bu çalışma, tesis içi nakliye maliyetlerinin en aza indirilmesi ve alan kullanımı ile genel verimliliğin artırılması hedeflerine odaklanan, tesis içi lojistik problemlerin çözümüne yönelik bir yaklaşım sunmaktadır. Bu araştırma, süpermarket düzeni ve taşıma modu seçimi kararları altında hat düzeni türlerinin karşılaştırmalı bir analizini yaparak, modern üretim operasyonları alanında üretim lojistiğinin ortaya çıkardığı karmaşık zorluklar için çözüm sunmayı amaçlamaktadır.

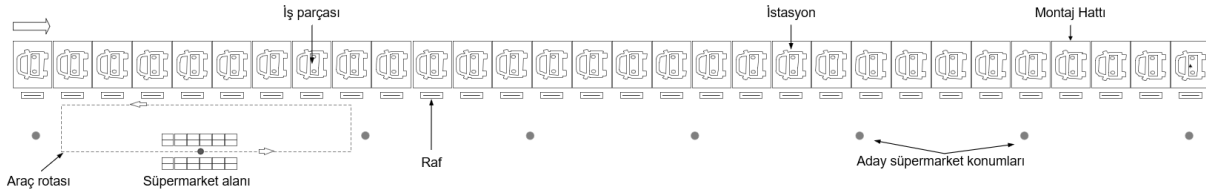
Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: Ele alınan problemin tanımı ve geliştirilen matematiksel formülasyon Materyal ve Metot bölümünde açıklanmıştır. Örnek uygulamaya ilişkin bilgiler ve uygulama sonuçları Bulgular bölümünde sunulmuştur. Son olarak, çalışmanın genel sonuçları ve katkısı Tartışma ve Sonuçlar bölümünde verilmiştir.

MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

Problemin Tanımı (Problem Definition)

Bu çalışmada, otomotiv üretim hattında istasyonlara parça besleme politikasına bağlı olarak ortaya çıkan üretim lojistiği kararları ele alınmaktadır. Ele alınan parça besleme politikasına göre, parçalar önce büyük konteynerler içinde merkezi olmayan depolara (süpermarketler) gönderilir ve burada standartlaştırılmış kutularda yeniden paketlenir. Daha sonra, önceden belirlenmiş bir üretim planını takiben istasyonları düzenli olarak beslemek üzere kutular belirli taşıma araçlarına yüklenir. Bu amaçla, ilk olarak, süpermarketlerin optimum sayısı, konum ve büyüklük kararları ile birlikte belirlenmektedir. İkinci olarak, farklı taşıma araçlarının varlığı ve bunların kapasiteleri ile kurulum maliyetleri göz önünde bulundurularak, hazırlanan kutuları istasyonlara teslim etmek için her bir süpermarkette gerekli olan en uygun taşıma aracı türü ve sayısı hakkında karar verilmek istenmektedir.

Probleme ilişkin, istasyonlar, aday süpermarket pozisyonları, istasyonların beslediği süpermarket alanları ve parça kutularının istiflendiği istasyon raflarından oluşan tipik bir I-tipi (düz) hat düzeni Şekil 1'de gösterilmiştir.

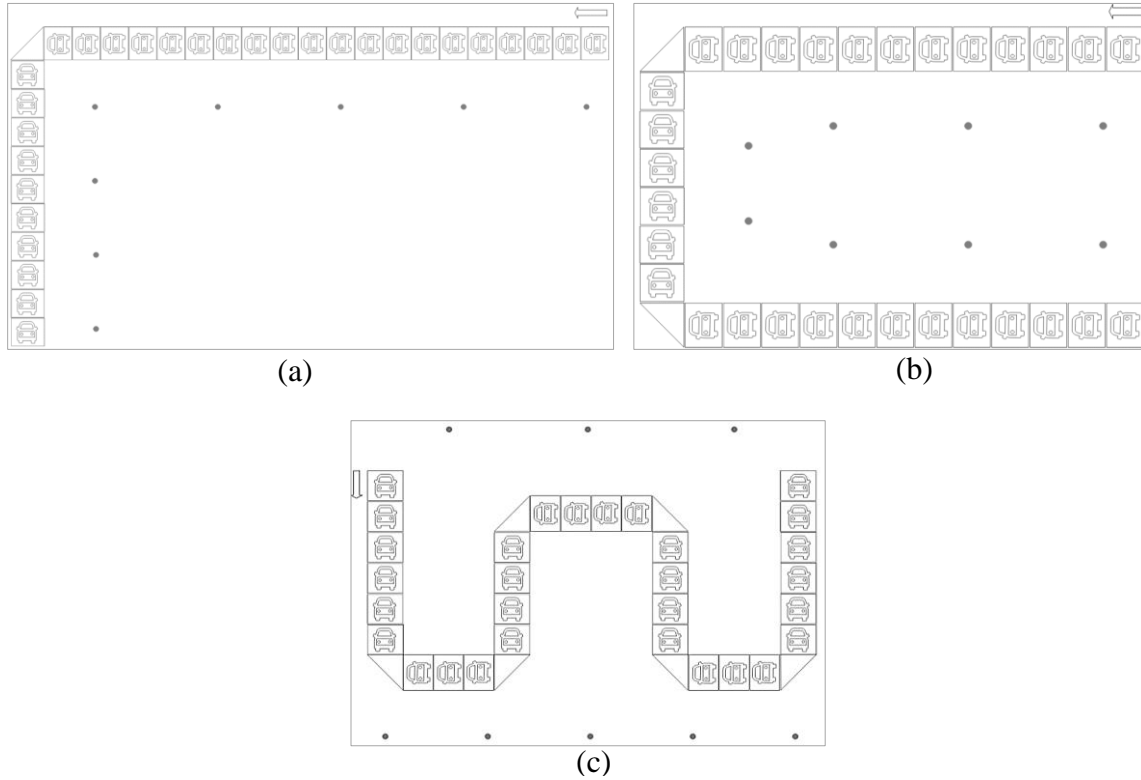


Şekil 1. Düz montaj hattı (I-tipi) yerleşim düzeni

Etkili hat konfigürasyonları, üretim tesislerindeki iç lojistiğin verimli şekilde ele alınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Her bir hat stratejisi farklı avantajlar ve dikkat edilmesi gereken hususlar içermektedir. Basit doğrusal düzeniyle öne çıkan I-tip (düz) hatlar, dönüşlerin uygulanabilir olmadığı kısa veya otomatik süreçler için idealdir ve hem malzemeler hem de operatörler için kolay erişim sağlar. Bununla birlikte, daha uzun I hatlarında, bina sınırlarına ulaşılması ve genel akışın engellenmesi gibi zorluklar ortaya çıkabilmektedir. Bununla birlikte, L-tipi hatlar ek bir köşeye sahip olsalar da genel olarak I-tipi hatlarla benzer özellikler taşımaktadırlar.

Buna karşılık yalnız üretimle özdeşleşen U-tipi hatlar, operatör yakınlığını ve hat dışından verimli malzeme tedarikini teşvik ederek manuel üretim hatlarında öne çıkmaktadır. Malzeme ikmali daha karmaşık olsa da, U-tipi hatlar çoklu operasyonları gerçekleştirmeyi ve daha hızlı sorun çözümünü kolaylaştırmaktadır. Diğer taraftan, S hattı otomotiv montaj hatları gibi uzun süreçlerde uygulama alanı bulmakta ve üretim tesislerine daha erişilebilir entegrasyon sağlamaktadır. S şeklindeki bu konfigürasyon lojistiği kolaylaştırır, ancak geçişlerin ve erişim noktalarının dikkatli bir şekilde planlanması şarttır. Hat yerleşim stratejileri [17–19] kaynaklarında ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Her bir hat konfigürasyonunun farklılıklarını kavramak, tesis içi lojistiği optimize etmek, sorunsuz malzeme akışı sağlamak ve çeşitli üretim ortamlarında genel operasyonel verimliliği artırmak için çok önemlidir. Buradan yola çıkarak, bu çalışmada geliştirilen modelin farklı hat yerleşim stratejilerine uygulanması ile ele alınan problem hedefleri ile uyumlu şekilde en uygun hat yerleşim tipinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Şekil 2’de, L-tipi, U-tipi ve S-tipi hat yerleşim stratejileri gösterilmektedir.



Şekil 2. (a) L-tipi, (b) U-tipi ve (c) S-tipi hat yerleşim stratejileri

Verilen bilgilere dayanarak, problem, bir montaj hattı boyunca yerleştirilmiş bir dizi istasyonun $(k, l = 1, \dots, M)$ parça talebini karşılamak amacıyla bir dizi aday süpermarket $(s = 1, \dots, S)$ varsayılarak formüle edilebilir. Süpermarketler tarafından kutuları bir dizi istasyona teslim etmek için kullanılacak farklı tipte taşıma araçları $(e = 1, \dots, E)$ mevcuttur. Her taşıma aracının farklı kapasitesi, sevkiyat ve tedarik maliyetleri vardır. Hat üzerindeki k istasyonunun ve s süpermarketinin koordinatları sırasıyla (a_k, b_k) ve (A_s, B_s) ile tanımlanır. Bir taşıma aracının, süpermarket ile bir dizi istasyon arasında kat ettiği mesafe (d_{skl}) Eş. (1) yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$d_{skl} = |A_s - a_k| + |B_s - b_k| + |A_s - a_l| + |B_s - b_l| + d_{kl} \quad (1)$$

Burada, mesafe (d_{skl}) temel olarak üç bileşenden oluşur: (i) s süpermarketinden k istasyonuna olan mesafe, (ii) l istasyonundan s süpermarketine olan mesafe ve (iii) k istasyonundan l istasyonuna olan mesafe (d_{kl}) . Bu kısımda, farklı hat yerleşim düzenleri için de doğru sonuç verebilmesi açısından istasyonlar arasındaki mesafe (d_{kl}) hesaplanırken doğrudan hat üzerindeki uzaklığın kullanıldığına dikkat edilmelidir. Nourmohammadi ve ark. [5] tarafından önerilen uzaklık formülü sadece düz hatlara uygulanabilirken, Eş. (1)'de önerdiğimiz denklem kullanılarak farklı hat yerleşim türleri için uzaklıklar hesaplanabilmektedir.

Problemin çözümünde aşağıda verilen varsayımlar dikkate alınmaktadır [5,6].

- Bir süpermarket tarafından hizmet verilen istasyonlar her zaman ardışıktır.
- Süpermarketlerin kapasitesi sınırlıdır ve bu durum, depolanabilecek ve geri alınabilecek kutu sayısı açısından önceden bilinmektedir.
- Farklı kapasitelere sahip farklı tipte taşıma araçları vardır. Süpermarketlerin her biri tarafından kullanılacak araç sayısı konusunda herhangi bir sınırlama bulunmamaktadır.

- Bir süpermarketin mevcut taşıma araçları arasından yalnızca bir türünü kullanabileceği varsayılmaktadır.
- Tam otomatik yükleme ve boşaltma sistemlerinin kullanımını mümkün kılmak için, kutuların boyut açısından aynı olduğu kabul edilmiştir.
- Parçalar yeniden paketlenir ve istasyonlara teslim edilmek üzere süpermarketlerde aynı standart boyutlardaki kutularda depolanır. Bu çalışmada yalnızca süpermarketlerden montaj istasyonlarına küçük partiler halinde yapılan teslimatlar dikkate alınmıştır.

Matematiksel Formülasyon (Mathematical Formulation)

Süpermarket konumu/büyüklüğü ve taşıma aracı seçim problemi için önerilen karma tamsayı programlama modeli, verilen problem tanımına dayalı olarak sunulmuştur. Bu model, Nourmohammadi ve ark. [5] tarafından tanımlanan modelin genişletilmiş bir versiyonudur. Önerilen genişletilmiş modelde, kurulan süpermarket kapasitelerinin sabit bir değer yerine değişken olarak ele alınması modele dahil edilmiştir. Sonuç olarak, amaç fonksiyonunda süpermarket açma maliyeti, kurulan süpermarket kapasitesi ile birim kurulum maliyeti dikkate alınarak hesaplanacak şekilde değiştirilmiştir. Ayrıca, kurulabilecek süpermarket boyutunun maksimum değerini kısıtlamak için yeni bir kısıt getirilmiştir. Ayrıca, mevcut kısıtlar bu değişiklikleri hesaba katacak şekilde güncellenmiştir. Böylelikle model, farklı süpermarket konumları ve büyüklükleri ile taşıma aracı kararları dikkate alınarak, süpermarketleri kullanan istasyonların parça besleme sürecindeki iki ana karar problemini birlikte ele almaktadır.

Önerilen modelin parametreleri; istasyonların konumları, aday süpermarket konumları, istasyon talepleri, birim kurulum maliyeti, taşıma aracı ile ilgili maliyetler, taşıma aracı kapasitesi, mesafeler ve taşıma maliyetlerinden oluşur. Önerilen modelde kullanılan notasyonlar aşağıda açıklanmıştır.

İndisler

k, l	istasyon ($k, l = 1, \dots, M$)
s	süpermarket ($s = 1, \dots, S$)
e	taşıma araç tipi ($e = 1, \dots, E$)

Parametreler

a_k, b_k	k istasyonu için x ve y koordinatları
A_s, B_s	s aday süpermarketi için x ve y koordinatları
d_{skl}	süpermarket k 'den l 'ye kadar olan tüm istasyonlara ikmal yapmak için kat edilen toplam mesafe
st_k	kutu cinsinden k istasyonunun talebi
td_{kl}	k istasyonundan l istasyonuna kadar tüm istasyonların toplam talebi; $td_{kl} = \sum_{f=k}^l st_f$
H	maksimum süpermarket kapasitesi (kutu sayısı)
r	süpermarket kurulum maliyeti (birim başına)
q_e	e taşıma aracının kapasitesi (kutu sayısı)
p_e	e tipi bir taşıma aracı için satın alma maliyeti
c_e	taşıma aracı e kullanılarak bir kutuyu bir birim mesafeye taşımanın sevkizat birim maliyeti
T	maksimum kurulacak süpermarket sayısı

Karar Değişkenleri

w	kurulan süpermarket sayısı
y_{se}	süpermarket s 'ye atanan e tipi taşıma aracı sayısı
x_{skle}	istasyon k 'dan l 'ye kadar olan tüm istasyonlar e taşıma aracını kullanan süpermarket tarafından besleniyorsa, 1; aksi halde, 0.
v_s	kurulan süpermarket s 'nin kapasitesi

Önerilen bütünleşik üretim planlama ve sınıf temelli ürün atama modeli karışık tam sayılı programlama modeli olarak şu şekilde formüle edilmiştir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } z = \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^M \sum_{l=k}^M \sum_{e=1}^E x_{skle} \times td_{kl} \times d_{skl} \times c_e + \sum_{s=1}^S \sum_{e=1}^E y_{se} \times p_e + \sum_{s=1}^S v_s \times r \quad (2)$$

Kısıtlar:

$$y_{se} \geq \sum_{k=1}^M \sum_{l=k}^M x_{skle} \times \frac{td_{kl}}{q_e} \quad \forall_s = 1, \dots, S; \forall_e = 1, \dots, E \quad (3)$$

$$w = \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^M \sum_{l=k}^M \sum_{e=1}^E x_{skle} \quad (4)$$

$$\sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^b \sum_{e=1}^E x_{skbe} = \sum_{s=1}^S \sum_{l=b+1}^M \sum_{e=1}^E x_{s(b+1)le} \quad \forall_b = 1, \dots, M-1 \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^M \sum_{l=k}^M \sum_{e=1}^E x_{skle} \leq 1 \quad \forall_s = 1, \dots, S \quad (6)$$

$$td_{kl} x_{skle} \leq v_s \quad \forall_s = 1, \dots, S; \forall_e = 1, \dots, E; \forall_k = 1, \dots, M; \forall_l = k, \dots, M \quad (7)$$

$$1 \leq w \leq T \quad (8)$$

$$v_s \leq H \quad \forall_s = 1, \dots, S \quad (9)$$

$$x_{skle} \in \{0,1\} \quad \forall_s = 1, \dots, S; \forall_e = 1, \dots, E; \forall_k = 1, \dots, M; \forall_l = k, \dots, M \quad (10)$$

$$w, y_{se}, v_s \in \text{Tamsayı} \quad \forall_s = 1, \dots, S; \forall_e = 1, \dots, E$$

Modelde, Eş. (2) ile gösterilen amaç fonksiyonu süpermarketlerin toplam sevkiyat maliyeti, toplam araç tedarik maliyeti ve toplam kurulum maliyeti olmak üzere üç maliyet kaleminden oluşmakta ve toplam maliyeti en aza indirmeyi hedeflemektedir. Eş. (3) ile verilen kısıt, her bir süpermarkete atanan e tipi taşıma araçlarının sayısını elde etmektedir. Eş. (4) kısıtı kullanılarak, taşıma araçları ile beslenmek üzere belirlenen istasyon grubu sayısının, kurulan süpermarket sayısına eşit olması sağlanmaktadır. Eş. (5) kısıtı ile, tüm istasyonların atanan taşıma aracı tipi aracılığıyla yerleşik süpermarketler tarafından beslenmesi güvence altına alınmaktadır. Eş. (6) kısıtı kullanılarak, her istasyonun yalnızca bir süpermarket ve bir tür taşıma aracı tarafından beslendiği garanti edilmektedir. Eş. (7) ile, bir süpermarkete atanan istasyonların toplam talebinin süpermarketin kapasitesini aşmaması sağlanmaktadır. Eş. (8), kurulacak toplam süpermarket sayısının alt ve üst sınırlar arasında olması sağlanmaktadır. Eş. (9) ile, açılan bir süpermarketin kapasitesinin önceden belirlenen maksimum süpermarket kapasitesini aşmaması garanti edilmektedir. Eş. (10), hem ikili hem de tamsayı olan karar değişkenlerinin sınırlarını belirlemektedir.

BULGULAR (RESULTS)

Bu bölümde çalışmada önerilen metodolojinin geçerliliğini test etmek ve geliştirilen modelin performansını değerlendirmek amacıyla, Nourmohammadi ve ark. [5] tarafından önerilen test problemlerinden esinlenen bir örnek uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulama, otomotiv üretim hattında 30 istasyon ve 3 farklı taşıma aracını içermektedir. İstasyon talepleri Ekler kısmında, problemle ilgili diğer parametreler ise Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir. Problem tanımına uygun olarak, istasyonların birbirlerinden bir birim uzaklıkta hat düzeni boyunca sırayla dizildiği varsayılmaktadır. Basitlik açısından, aday süpermarket konumlarının x-koordinatları (A_s) hat boyunca eşit aralıklarla dağıtılmaktadır. Ayrıca, istasyonların ve süpermarketlerin y-koordinatları (b_k ve B_s) arasında beşer birim mesafe olacak şekilde yerleştirilmektedir.

Tablo 1. Örnek problem için parametre değerleri

Parametre	Değer
İstasyon sayısı (M)	30
Olası süpermarket sayısı (S)	8
Taşıma aracı türü (E)	3
Maksimum süpermarket kapasitesi (H)	100
Süpermarket birim kurulum maliyeti (r)	10

Tablo 2. Taşıma aracı türleri için parametre değerleri

	1. tip araç	2. tip araç	3. tip araç
Kapasite (kutu cinsinden) (q_e)	10	30	50
Satın alma maliyeti (p_e)	100	500	2000
Birim taşıma maliyeti (c_e)	3	2	1

Önerilen karma tamsayılı programlama modeli CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmüştür. Çözüm sürecinde, süpermarket sayısı, konumu ve büyüklüğü, her bir süpermarkete atanan taşıma aracı türü ve sayısı karar değişkenleri incelenmiştir. Optimizasyon sonucunda elde edilen çözüm, her bir istasyonun hangi süpermarketten beslendiği, kullanılan taşıma araçlarının tipi ve sayısı gibi bilgileri içermektedir.

Model ilk olarak, Şekil 1’de istasyon ve aday süpermarket konumları gösterilen I-tipi (düz) hat düzeni için çalıştırılmıştır. Tablo 3’te I-tipi yerleşim düzeni için optimal süpermarket konumları, kapasiteleri, her bir süpermarkette kullanılacak araç tipleri ve her bir istasyonun besleyeceği istasyon aralıkları sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, I-tipi hat yerleşim düzeni için 1,5 ve 6 numaralı aday süpermarketlerin açılmasına ve bu merkezi olmayan depolama noktalarında istasyonları beslemek için 3 numaralı araç türüne ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Tablo 3. I-tipi hat düzeni sonuçları

Süpermarket	Konum	Kapasite (v_s)	Atanan Araç Tipi	Beslenen İstasyon Aralığı
# 1	1	84	3	1 – 11
# 2	5	49	3	12 – 19
# 3	6	77	3	20 – 30

Bu çalışma, entegre tesis içi lojistik karar verme süreci için kapsamlı bir model sunmanın yanı sıra, üretim hatları için farklı hat yerleşim stratejilerini karşılaştırmayı ve en uygun olanı belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, I-tipi, S-tipi, L-tipi ve U-tipi hat yerleşim stratejileri, geliştirilen

matematiksel model kullanılarak sistematik olarak karşılaştırılmıştır. Tablo 4'te özetlendiği gibi, L tipi hat düzeni kullanıldığında, sekiz aday konum arasından optimum süpermarket konumu olarak 2, 4 ve 8 belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, L tipi hat düzeni için istasyon hizmet dağılımı şu şekildedir: süpermarket-1 ilk 10 istasyona, süpermarket-2 11 ila 17. istasyonlara ve süpermarket-3 18 ila 30. istasyonlara hizmet vermektedir.

Benzer şekilde U-tipi hat yerleşim düzeni için üç süpermarket konumu belirlenmiştir. Optimal sonuçlara göre 2, 3 ve 8 numaralı aday pozisyonlara yerleştirilen süpermarketlerin kapasitelerinin de sırasıyla, 58, 97 ve 55 olduğu görülmektedir. Süpermarket-1 ve 3, 2 numaralı araç türünü kullanırken, süpermarket-2 ise 3 numaralı araç türünü kullanmaktadır. U-tipi hat yerleşim düzeni için model sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur. Son olarak, önerilen matematiksel model kullanılarak S-tipi hat düzeni incelenmiştir. Tablo 6'da sunulan sonuçlara göre, 1,2 ve 3 numaralı aday süpermarketlerin açılmasına ve bu noktalardan istasyonları beslemek için 3 numaralı araç türüne ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Tablo 4. L-tipi hat düzeni sonuçları

Süpermarket	Konum	Kapasite (v_s)	Atanan Araç Tipi	Beslenen İstasyon Aralığı
# 1	2	74	3	1 – 10
# 2	4	50	3	11 – 17
# 3	8	86	3	18 – 30

Tablo 5. U-tipi hat düzeni sonuçları

Süpermarket	Konum	Kapasite (v_s)	Atanan Araç Tipi	Beslenen İstasyon Aralığı
# 1	2	58	2	1 – 8
# 2	3	97	3	9 – 22
# 3	8	55	2	23 – 30

Tablo 6. S-tipi hat düzeni sonuçları

Süpermarket	Konum	Kapasite (v_s)	Atanan Araç Tipi	Beslenen İstasyon Aralığı
# 1	1	92	3	1 – 12
# 2	2	28	2	13 – 15
# 3	3	90	3	16 – 30

Tablo 7'de hat stratejilerinin karşılaştırılması amacıyla amaç fonksiyonu değerleri sunulmuştur. Açılan süpermarketlerin toplam taşıma maliyeti, toplam araç tedarik maliyeti ve toplam kurulum maliyeti kalemlerinden oluşan toplam maliyet değerleri karşılaştırıldığında en uygun stratejinin U-tipi yerleşim olduğu görülmektedir. U-tipi hat düzeni için elde edilen optimal yerleşim düzeni Şekil 3'te gösterilmiştir.

Tablo 7. Yerleşim düzenlerinin karşılaştırılması

Hat yerleşim düzeni	Amaç Fonksiyonu
I-tipi	22,012
L-tipi	21,676
U-tipi	20,568
S-tip	20,968

Elde edilen sonuçlara göre, süpermarketler için optimal konumların ve büyüklüklerin belirlenmesi, her bir süpermarkete atanacak taşıma aracı türü ve sayısının optimize edilmesi, genel operasyonel verimliliği etkileyen unsurlar arasında önemli bir yer tutmaktadır. Hat yerleşim stratejileri,

kapsamında (Destek Numarası: 1919B012202397) desteklenmiştir.

Çıkar çatışması (Conflict of interest)

Yazarların bu çalışma için beyan ettikleri herhangi bir çıkar çatışması yoktur. (The authors have no conflicts of interest to disclose for this study.)

Yazar katkı oranı (Authorship contribution statement)

P.Ş.: Yazılım (Software), Veri Toplama ve/veya İşleme (Data Curation), Literatür Taraması (Investigation), Yazı Yazan (Writing-Original Draft), **A.K.:** Veri Toplama ve/veya İşleme (Data Curation), Literatür Taraması (Investigation), Yazı Yazan (Writing-Original Draft), **E.S.:** Literatür Taraması (Investigation), Yazı Yazan (Writing-Original Draft), **B.E.:** Fikir/Kavram (Conceptualization), Tasarım ve Dizayn (Methodology), Yazılım (Software), Denetleme/Danışmanlık (Supervision), Analiz ve/veya Yorum (Formal Analysis), Yazı Yazan (Writing-Original Draft), Eleştirel İnceleme (Writing - Review & Editing).

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] D. Battini, N. Boysen, S. Emde, Just-in-Time supermarkets for part supply in the automobile industry, *Journal of Management Control*. 24 (2013) 209–217. doi:10.1007/s00187-012-0154-y.
- [2] B.C. Ervural, B. Ervural, Ö. Kabak, Evaluation of Flexible Manufacturing Systems Using a Hesitant Group Decision Making Approach, *Journal of Intelligent Systems*. 28 (2019) 245–258. doi:10.1515/jisys-2017-0065.
- [3] S.K. Usta, M.K. Oksuz, M.B. Durmusoglu, Design methodology for a hybrid part feeding system in lean-based assembly lines, *Assembly Automation*. 37 (2017) 84–102. doi:10.1108/AA-09-2016-114.
- [4] Ö.F. Yılmaz, An integrated bi-objective U-shaped assembly line balancing and parts feeding problem: optimization model and exact solution method, *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*. 90 (2022) 679–696. doi:10.1007/s10472-020-09718-y.
- [5] A. Nourmohammadi, H. Eskandari, M. Fathi, A.H.C. Ng, Integrated locating in-house logistics areas and transport vehicles selection problem in assembly lines, *International Journal of Production Research*. 59 (2021) 598–616. doi:10.1080/00207543.2019.1701207.
- [6] S. Emde, N. Boysen, Optimally locating in-house logistics areas to facilitate JIT-supply of mixed-model assembly lines, *International Journal of Production Economics*. 135 (2012) 393–402. doi:10.1016/j.ijpe.2011.07.022.
- [7] S. Emde, M. Gendreau, Scheduling in-house transport vehicles to feed parts to automotive assembly lines, *European Journal of Operational Research*. 260 (2017) 255–267. doi:10.1016/J.EJOR.2016.12.012.
- [8] D. Battini, M. Gamberi, A. Persona, F. Sgarbossa, Part-feeding with supermarket in assembly systems: transportation mode selection model and multi-scenario analysis, *Assembly Automation*. 35 (2015) 149–159. doi:10.1108/AA-06-2014-053.
- [9] B.-H. Zhou, F. Tan, A self-adaptive estimation of distribution algorithm with differential evolution strategy for supermarket location problem, *Neural Computing and Applications*. 32 (2020) 5791–5804. doi:10.1007/s00521-019-04052-9.
- [10] E.O. Adenipekun, V. Limère, N.A. Schmid, The impact of transportation optimisation on assembly line feeding, *Omega (United Kingdom)*. 107 (2022) 102544. doi:10.1016/j.omega.2021.102544.
- [11] J. Heger, T. Voss, Reducing mean tardiness in a flexible job shop containing AGVs with optimized combinations of sequencing and routing rules, *Procedia CIRP*. 81 (2019) 1136–1141. doi:10.1016/j.procir.2019.03.281.
- [12] H.F. Rahman, I. Nielsen, Scheduling automated transport vehicles for material distribution systems, *Applied Soft Computing*. 82 (2019) 105552. doi:10.1016/J.ASOC.2019.105552.
- [13] P.T. Zacharia, E.K. Xidias, AGV routing and motion planning in a flexible manufacturing system using a fuzzy-based genetic algorithm, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 109 (2020) 1801–1813. doi:10.1007/S00170-020-05755-3/FIGURES/13.
- [14] M. Alnahhal, B. Noche, A genetic algorithm for supermarket location problem, *Assembly Automation*. 35 (2015) 122–127. doi:10.1108/AA-02-2014-018.
- [15] A. Nourmohammadi, H. Eskandari, M. Fathi, Design of stochastic assembly lines considering line balancing and part feeding with supermarkets, *Engineering Optimization*. 51 (2019) 63–83.

doi:10.1080/0305215X.2018.1439944.

- [16] M. Faccio, M. Gamberi, A. Persona, A. Regattieri, F. Sgarbossa, Design and simulation of assembly line feeding systems in the automotive sector using supermarket, kanbans and tow trains: a general framework, *Journal of Management Control*. 24 (2013) 187–208. doi:10.1007/s00187-013-0175-1.
- [17] J.A. Tompkins, J.A. White, Y.A. Bozer, J. Tanchoco, Facilities Planning, 4. baskı, *John Wiley & Sons*, 2010. <https://www.wiley.com/en-gb/Facilities+Planning%2C+4th+Edition-p-9780470444047> (erişim 26 Ocak 2024).
- [18] J. Miltenburg, U-shaped production lines: A review of theory and practice, *International Journal of Production Economics*. 70 (2001) 201–214. doi:10.1016/S0925-5273(00)00064-5.
- [19] Q. Liu, J. Leng, D. Yan, D. Zhang, L. Wei, A. Yu, R. Zhao, H. Zhang, X. Chen, Digital twin-based designing of the configuration, motion, control, and optimization model of a flow-type smart manufacturing system, *Journal of Manufacturing Systems*. 58 (2021) 52–64. doi:10.1016/J.JMSY.2020.04.012.
- [20] M. Karakoyun, A. Özkış, Transfer Fonksiyonları Kullanarak İkili Güve-Alev Optimizasyonu Algoritmalarının Geliştirilmesi ve Performanslarının Karşılaştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 3 (2021) 1–10.
- [21] A. Pektaş, O. İnan, Ağaç Tohum Algoritmasının Kümeleme Problemlerine Uygulanması TT - Application of Tree Seed Algorithm on Clustering Problems, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 4 (2022) 1–10.