



Geleneksel Olmayan Yenilikçi Depo Yerleşim Tipleri ve Tasarımları Üzerine Bir Araştırma

Non traditional Innovative Warehouse Layout Types and Designs

Ayca Özceylan¹ , Mehmet Tanyaş² 

Öz

Lojistik operasyonların, tedarikçilerin ve işletme modellerinin artan çeşitliliği ile birlikte depolar, tedarik zincirlerinde giderek daha bütününcü bir rol oynamaya başlamıştır. Bu sebeple, depoların artık her zamankinden daha fazla esneklik, erişilebilirlik ve verimli işlevsellik sağlaması gerekmektedir. Maalesef işletmelerin çoğu halen geleneksel depo yerleşim modellerini kullanmakta ve yerleşimden ziyade depodaki maliyetlere odaklanmaktadır. Ancak depolardaki operasyonların daha etkin yürütülmesi, daha az enerji harcanması ve ileriye yönelik olarak daha esnek olunması isteniyor ise geleneksel yerleşim modellerinden ziyade daha modern, yenilikçi ve geleneksel olmayan depo yerleşim şekillerine odaklanılması gerekmektedir. Geleneksel olmayan yenilikçi depo yerleşimlerinde, ürünlere erişimi sağlayan koridor tasarımları geleneksel depo koridor tasarımlarından farklıdır. Geleneksel olmayan depo tasarımları çalışmalarının temel motivasyonu depo içi dolaşım süresinin azaltılması amacı ile ürüne erişim mesafelerinin kısaltılmasıdır. Bu çalışmada hem literatürde hem de pratikte kullanılan veya önerilen geleneksel olmayan yenilikçi depo yerleşimlerinden; Kanat (Flying-V), Kılçık (Fishbone), Ters-Kanat (Inverted-V), Apolet (Chevron), Yaprak (Leaf), Kelebek (Butterfly) koridor tasarımları analiz edilmiş ve her biri literatüre atıfta bulunularak detaylı bir şekilde açıklanmaya çalışılmıştır. Bu sayede araştırmacılar ve sektörtekiler için literatürdeki boşluklara da değinerek geleneksel olmayan yenilikçi depo yerleşimlerinin toplu bir şekilde aktarılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geleneksel Olmayan Depo, Yenilikçi Depo Yerleşimleri, Depo Koridor Tasarımları

ABSTRACT

With the increasing variety of logistics operations, suppliers, and business models, warehouses are increasingly playing an integral role in supply chains. For this reason, warehouses must provide flexibility, accessibility, and efficient functionality more than ever before. Unfortunately, most businesses still use traditional warehouse layout models and focus on warehouse costs rather than the layout. However, if warehouse operations are more effectively performed, less energy will be consumed, leading to increased flexibility in the future. It is necessary to focus on more modern, innovative, and nontraditional warehouse layouts rather than the traditional layout models. Aisle designs that provide access to products in nontraditional innovative warehouse layouts are different from traditional warehouse aisle designs. The main motivation of the nontraditional warehouse design studies is to shorten access distances to the product to reduce the travel time in the warehouse. Aiming to present the nontraditional innovative warehouse layouts focusing on the gaps for researchers and those in the sector, this study analyzes the nontraditional innovative warehouse layouts used or suggested both in the literature and in practice, namely the Flying-V, Fishbone, Inverted-V, Chevron, Leaf, and Butterfly aisle designs, and tries to explain each one in detail with reference to the literature.

Keywords: Nontraditional Warehouse, Innovative Warehouse Layouts, Warehouse Aisle Design

Başvuru/Submitted: 02.09.2021 • **Revizyon Talebi/Revision Requested:** 13.09.2021 • **Son Revizyon/Last Revision Received:** 19.09.2021 • **Kabul/Accepted:** 10.10.2021

¹ **Sorumlu yazar/Corresponding author:** Ayca Özceylan (Öğretim Üyesi), Gaziantep Üniversitesi, Oğuzeli Meslek Yüksekokulu, Gaziantep, Türkiye. E-mail: aycaozceylan@gmail.com ORCID: 0000-0003-0537-6886

² Mehmet Tanyaş (Prof. Dr.), Maltepe Üniversitesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, İstanbul, Türkiye. E-mail: mehmettanyas@maltepe.edu.tr ORCID: 0000-0001-8934-3787

Atf/Citation: Ozceylan, A., & Tanyas, M. (2021). Nontraditional innovative warehouse layout types and designs. *Journal of Transportation and Logistics*, 6(2), 197-216. <https://doi.org/10.26650/JTL.2021.990430>

EXTENDED ABSTRACT

Warehouses are closed or open areas designed according to the type of material. They can be of different sizes and features, where materials are stacked for preservation and storage to be used for various purposes and in different periods. While warehouses are perceived as places where products are stored only through the traditional management approach, in today's supply chain management approach, they are seen as places that support sales that balance the demand. Therefore, warehouses perform a critical service in the supply chain. However, storage in warehouses is expensive in terms of capital investment and labor. Hence, studies are performed on warehouse layout design and optimization to reduce the cost.

The main purpose of warehousing is the effective and efficient management of the warehouse, that is, the storage and distribution of goods in the shortest time and with the least error. Other purposes are to realize the maximum amount of storage in the least area/volume (efficient use of warehouse capacity) to reduce costs, efficiently use warehouse equipment and workforce, reduce access time to the product and realize the most appropriate placement for this purpose, increase the variety and amount of products handled, quickly meet demands (fast picking and reducing order processing time), assign tasks in the most efficient way, adapt to changing logistics processes, protect warehouse assets and products, ensure traceability, maximize accessibility to all materials and improve material flow, comply with legal regulations, etc. One of the most powerful ways of fulfilling these objectives is considering the warehouse layout design. In warehouse layout design studies, the most appropriate layouts of shelves are investigated to reduce the transportation time and cost in the warehouse.

In traditional warehouses, the shelves and goods collection aisles are parallel to each other, and the collection aisles are positioned at 90° to the main aisles. This layout is called the single-block traditional warehouse design. In traditional warehouses, the number of middle main aisles can be more than one. These aisles can be perpendicular to the order-picking aisles, as in conventional warehouses, or can be angled to minimize the total distance traveled in the warehouse. A warehouse is called a nontraditional warehouse when the passage corridors take angles other than 90°. This situation also corresponds to the warehouse corridor design problem in the literature.

Warehouses are becoming more of a flow point rather than product protectors. Companies are increasing their tendency to provide information about stock to use small-quantity shipments and for product combination purposes. Accordingly, the creation of warehouses in nontraditional designs with innovative approaches different from traditional designs has been seen both in the literature and in real cases.

The main motivation of nontraditional warehouse design studies is to shorten the access distances to the product to reduce the circulation time in the warehouse. In this study, nontraditional and innovative warehouse aisle designs, which have been brought to the literature to eliminate the problems created by traditional warehouse aisle layouts, are explained in detail. The product movement travel time/distance in traditional warehouse

layouts cannot be improved at the desired level, causing difficulties in reducing the warehouse operation costs. To provide improvements, different corridor designs have been studied in the literature since 2009. The explanations and visuals of the Flying-V, Fishbone, Inverted-V, Chevron, Leaf, and Butterfly corridor designs will be presented in detail by referring to the relevant literature.

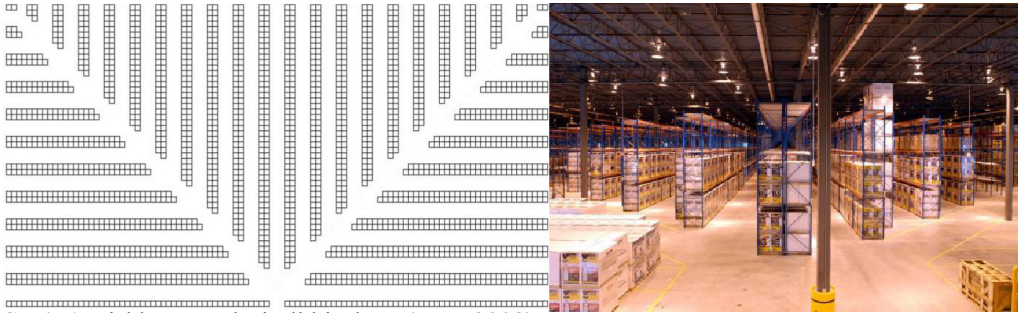
1. Giriş

Depolar, tedarik zinciri içinde, malzemelerin, çeşitli amaçlarla ve farklı dönemlerde kullanılmak üzere korunması ve stoklanması amacıyla istiflendiği, saklandığı ve malzeme t p ne göre tasarlanmış , farklı boyutlarda ve özelliklerde olabilen, kapalı veya açık alanlardır (Toktaş Palut ve Okçuoğlu, 2019). Depolar, geleneksel yönetim anlayışında salt ürünlerin saklandığı yerler olarak algılanırken, günümüz tedarik zinciri yönetimi anlayışında ise talebi dengeleyen, satışa destek yerler olarak görülmektedir. Bu nedenlerle depolar tedarik zincirinde kritik bir hizmeti gerçekleştirir. Bununla birlikte depolar; depolama, sermaye yatırımı ve işçilik açısından maliyetlidir. Bu nedenle, maliyeti düşürmek için depo yerleşimi tasarımı ve optimizasyonu konusunda çalışmalar yapılmaktadır (Çolak vd. 2016).

Depolamada temel amaç, deponun etkin ve verimli yönetimi, diğer bir deyişle malın depolanması ve dağıtılması işleminin en kısa sürede ve en az hatayla yapılmasıdır. Diğer amaçlar ise (Tanyaş ve Düzgün, 2014);

- En az alanda/hacimde en fazla depolamayı gerçekleştirmek (Depo kapasitesinin verimli kullanımı),
- Depo ekipmanlarını verimli kullanmak,
- İşgücünü verimli kullanmak,
- Görev atamalarını en etkin şekilde yapmak,
- Elemanların erişim sürelerini azaltmak ve bu amaçla en uygun yerleşimi gerçekleştirmek,
- Depo yerleşim ve iş planına uygun hareket etmek,
- Elleçlenen ürün çeşidini (SKU) ve miktarını arttırmak,
- Maliyetleri düşürmek (Depo işletmesi açısından karlılığı arttırmak),
- Sipariş verilmesi durumunda, stok elde bulundurma maliyetlerini azaltmak,
- Talepleri hızla karşılamak (Hızlı toplama, sipariş işleme süresinin düşürülmesi),
- Fire ve kayıp oranlarını azaltmak (Depolanan ürünün korunmasını sağlamak),
- Depo süreçlerinin otomasyon düzeylerini arttırmak,
- İzlenebilirliği sağlamak,
- Hatasız sevkiyat yapmak (Sevkiyat doğruluğunu arttırmak),
- Depo varlıklarını ve ürünleri korumak (Etkin güvenlik),
- Değişen lojistik işlemlere uyum sağlamak (Katma değerli işlemler),
- Yasal düzenlemelere uymak,
- Malzeme akışını (streamline) iyileştirmek,
- Lokasyonlar arası malzeme ikmalini zamanında gerçekleştirmek,
- Tüm malzemelere erişilebilirliği en üst düzeye çıkartmaktır.

Yukarıda bahsedilen ana ve alt amaçlara ulaşmanın en güçlü yollarından biri de depo yerleşim tasarımlarıdır. Depo yerleşim tasarımı çalışmalarında, depo içindeki taşıma zamanını ve maliyetini azaltmak için rafların en uygun yerleşimleri araştırılmaktadır. Bu araştırmalar sonucunda klasik depo yerleşimlerine alternatif olarak modern depo yerleşim tipleri ortaya çıkmıştır (Öztürkoğlu vd. 2018a). Bunun en temel sebebi geleneksel depo yerleşim düzenlerinin günümüz performans göstergelerine (ekipman kullanım oranı, depo personelinin ortalama yürüme zamanı/mesafesi, ürüne erişim süresi vb.) tam manasıyla karşılık verememesidir. Bu eksiklikleri gidermek adına literatürde ve pratik hayatta geleneksel olmayan yenilikçi depo tasarımları karşımıza çıkmaktadır. Örneğin Generac Power Systems firması 2007 yılında Wisconsin’da kurdukları bir depoda geleneksel olmayan bir depo yerleşimi olan kılçık (fishbone) koridor tasarımı yaklaşımını benimsemişlerdir (Gue, 2008). Firmanın kullandığı depo yerleşim tasarımının çizimi ve gerçek görüntüsü Şekil 1’de yan yana verilmiştir.



Şekil 1. Fishbone yerleşimli bir depo (Gue, 2008)

Geleneksel depolarda raflar ve mal toplama koridorları birbirine paraleldir, toplama koridorları ana koridorlara 90° olacak şekilde konumlandırılmaktadır. Bu yerleşim tek bloklu geleneksel depo tasarımı olarak adlandırılmaktadır. Geleneksel depolarda orta ana koridor sayısı birden fazla olabilir. Bu koridorlar, geleneksel depolarda olduğu üzere sipariş toplama koridorlarına dik olabileceği gibi, depo içinde kat edilen toplam mesafeyi minimize edecek şekilde açılı da olabilir. Geçiş koridorlarının 90°’den farklı açılar aldığı durumda depo, geleneksel olmayan depo olarak adlandırılmaktadır (Öztürkoğlu ve Hoşer, 2018a). Bu durum literatürde depo koridor tasarımı problemi olarak da karşılık bulmaktadır (Öztürkoğlu ve Hoşer, 2019).

Depo koridor tasarım problemi sayesinde literatürde ve pratikte çeşitli geleneksel olmayan depo yerleşim tipleri ortaya çıkmıştır. Ancak tespit edildiği kadarıyla geleneksel olmayan yenilikçi depo yerleşimlerinin toplu bir şekilde sunulduğu (görseller ile desteklendiği) ve ilgili literatürle birlikte verildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma yazarların bildiği kadarıyla şu alanlarda literatüre katkı sağlamaktadır: (i) geleneksel olmayan depo yerleşim tiplerinin toplu bir şekilde derlenmesi (ii) geleneksel ve geleneksel olmayan depo yerleşim tiplerinin bir takım performans ölçütlerine göre karşılaştırılması ve (iii) geleneksel olmayan depo yerleşim tipleri üzerine potansiyel çalışma konularının sunulması.

Burada verilen giriş kısmından sonra çalışmanın ikinci kısmında tanımlayıcı bir literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü kısımda geleneksel depo yerleşimlerinden bahsedilmiştir. Dördüncü kısımda geleneksel olmayan yenilikçi depo yerleşimleri olan Kanat (Flying-V), Kılçık (Fishbone), Ters-Kanat (Inverted-V), Apolet (Chevron), Yaprak (Leaf), Kelebek (Butterfly) koridor tasarımlarına değinilmiştir. Son olarak sonuç ve öneriler ile çalışma sonlandırılmıştır.

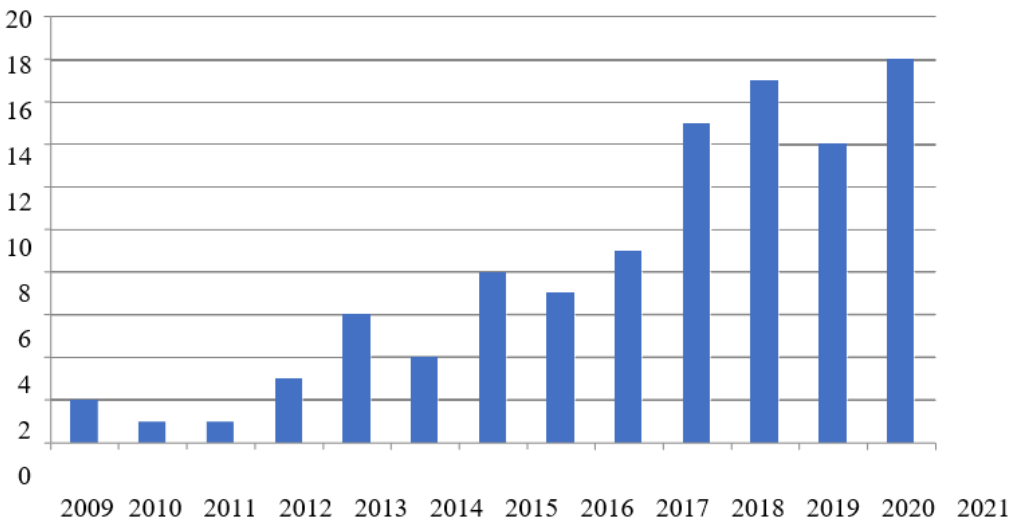
2. Literatür Araştırması

Geleneksel olmayan depo yerleşimleri üzerine literatürdeki mevcut durumu gözlemlemek amacıyla Scopus veri tabanında Eylül 2021 tarihli bir tarama yapılmıştır. Söz konusu taramadaki sorgulama Tablo 1’de verilmiştir. Sorgulama tüm alanlarda yapılmış olup yenilikçi depo çeşidine (örn. diagonal cross aisle) giren tüm anahtar kelimeler kullanılmaya çalışılmıştır. Bunun dışında makalelere odaklanıldığı için kongre ve kitap çalışmaları çıkartılmış aynı zamanda İngilizce ve Türkçe dilleri dışındaki çalışmalar da dikkate alınmamıştır.

Tablo 1. Scopus veri tabanı sorgusu

```
(ALL (flying-v) OR ALL (fishbone) OR ALL (inverted-v) OR ALL (chevron) OR ALL (leaf) OR ALL (butterfly) OR ALL (diagonal AND cross AND aisle) OR ALL (non-conventional) OR ALL (non-traditional) AND ALL (warehouse AND layout) AND ALL (warehouse AND design) AND ALL (storage AND layout)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "re") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "bk") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "ch")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Turkish")) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE, "j") OR LIMIT-TO (SRCTYPE, "p"))
```

Sorgulama sonucunda toplam 105 makaleye ulaşılmıştır. 105 makalenin yıllara göre dağılımı Şekil 2’de verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere geleneksel olmayan depo yerleşimleri üzerine yapılan çalışmalar 2009 yılındaki başlangıcından sonra özellikle 2018 yılı itibariyle ciddi oranda artış göstermiştir.



Şekil 2. Makale sayılarının yıllara göre dağılımı

105 makale toplamda 57 farklı dergide yayınlanmıştır. Dergilerin çoğu mühendislik, karar bilimleri, işletme ve bilgisayar bilimleri üzerine olan etki faktörü yüksek dergilerdir.

Bu alanda en fazla yayının yapıldığı ilk üç sıradaki dergiler, International Journal of Production Research (%13), IIE Transactions Institute of Industrial Engineers (%7) ve European Journal of Operational Research/International Journal of Production Economics (%6)"dir. Dergilerin tüm listesi yayın frekanslarına göre Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Dergilerin listesi

Dergiler	Frekansı
International Journal of Production Research	14
IIE Transactions Institute of Industrial Engineers	8
European Journal of Operational Research	7
International Journal of Production Economics	7
Computers and Industrial Engineering	6
International Journal of Advanced Manufacturing Technology	3
Transportation Research Part E	3
Applied Sciences Switzerland, Applied Soft Computing, IEEE Access, IIE Transactions, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Maritime Economics and Logistics, Naval Research Logistics, Transportation Science	2
Acta Informatica Pragensia, Algorithms, Central European Journal of Operations Research, Complexity, Computers and Operations Research, Dyna Colombia, Engineering Management in Production and Services, Espacios, Evolving Systems, Expert Systems with Applications, Foundations and Trends in Information Retrieval, International Journal of Engineering Business Management, International Journal of Industrial and Systems Engineering, International Journal of Logistics Management, International Journal of Logistics Research and Applications, International Journal of Logistics Systems and Management, International Journal of Services and Operations Management, International Journal of Simulation Modelling, International Journal of Technology, Journal of Advanced Mechanical Design Systems and Manufacturing, Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, Journal of Algorithms and Computational Technology, Journal of Control Science and Engineering, Journal of Facilities Management, Journal of Industrial and Production Engineering, Journal of Intelligent Manufacturing, Journal of Manufacturing Systems, Journal of Parallel and Distributed Computing, Journal of Simulation, Journal of the Operational Research Society, Logistics Journal, Logistics Research, Management and Production Engineering Review, Omega, Open Civil Engineering Journal, Production and Operations Management, Simulation Modelling Practice and Theory, Strojarstvo, Sustainability Switzerland, Transport, Wireless Networks, World Review of Intermodal Transportation Research	1
Toplam	105

105 makaledeki yazarlara, kurumlara ve ülkelere bakıldığında zaman zaman 160 farklı yazarın literatüre katkı sağladığı tespit edilmiştir. En fazla katkı sağlayan yazarlar, kurum ve ülkeleri ile birlikte Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'e göre bu alanda en fazla katkı sağlayan yazar Auburn Üniversitesi'nden Gue, K.R."dir. İlk 10 yazarın çoğu A.B.D. deki üniversitelerde görev yapmaktadır.

Tablo 3. En çok katkı sağlayan ilk 10 araştırmacı

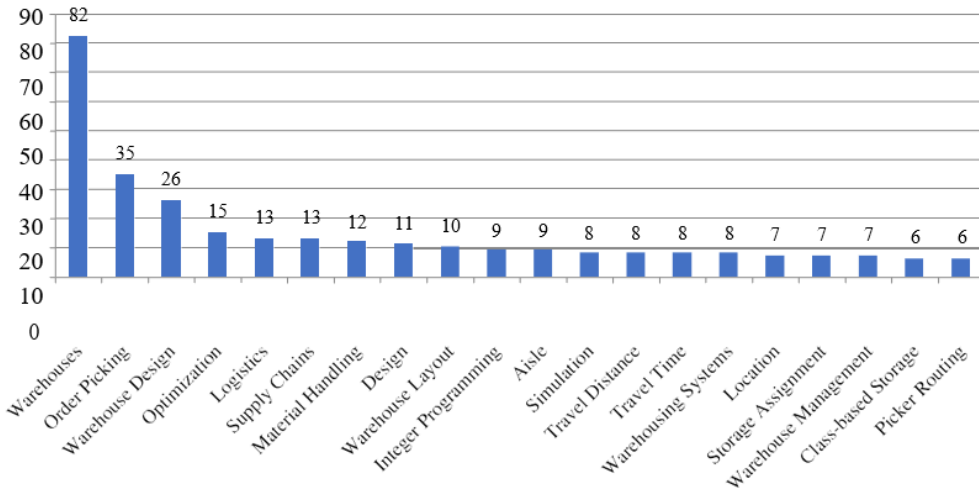
Yazar	Makale Sayısı	Kurum	Kurum Ülkesi
Gue, K.R.	12	Auburn Üniversitesi	A.B.D.
Glock, C.H.	8	Darmstadt Teknik Üniversitesi	Almanya
Meller, R.D.	8	Arkansas Üniversitesi	A.B.D.
Grosse, E.H.	5	Darmstadt Teknik Üniversitesi	Almanya
Adil, G.K.	4	Hindistan Teknoloji Enstitüsü Bombay	Hindistan
Bortolini, M.	4	Bologna Üniversitesi	İtalya
Gamberi, M.	4	Bologna Üniversitesi	İtalya
Smith, J.S.	4	Auburn Üniversitesi	A.B.D.
Öztürkoğlu, Ö.	4	Yaşar Üniversitesi	Türkiye
De Koster, R.	3	Erasmus Üniversitesi	Hollanda

160 farklı yazar 36 farklı ülkedeki 112 farklı kurumdan katkı sağlamıştır. En fazla katkıda bulunan ilk 10 kurum ve ülke Tablo 4’te verilmiştir. Tablo 4’deki veriler Tablo 3’deki verileri desteklemektedir. En fazla katkı sağlayan yazarın olduğu üniversite (Auburn Üniversitesi) ve ülke (A.B.D.), aynı zamanda toplamda da en fazla katkı sağlayan üniversite ve ülkedir. Tablo 3 ve Tablo 4’de Çin’den herhangi bir kurum olmamasına rağmen, en fazla katkı sağlayan ikinci ülke olması Çin’den çok fazla araştırmacının az sayıda yayınlara katkı sağladığını göstermektedir. Türkiye’nin Tablo 3’te dokuzuncu sırada olmasına rağmen, ülkeler sıralamasında (Tablo 4) yedinci olması Türkiye’de de bu alanda çalışan araştırmacıların olduğunu göstermektedir. Genel olarak bakıldığı zaman ise geleneksel olmayan depo yerleşimleri üzerine yapılan çalışmalarda A.B.D.’nin ve Avrupa’nın baskın olduğu söylenebilir.

Tablo 4. En çok katkı sağlayan ilk 10 kurum ve ülke

Kurum	Makale Sayısı	Ülke	Makale Sayısı
Auburn Üniversitesi, A.B.D.	14	A.B.D.	26
Erasmus Üniversitesi, Hollanda	10	Çin	16
Darmstadt Teknik Üniversitesi, Almanya	9	Almanya	13
Arkansas Üniversitesi, A.B.D.	7	İtalya	12
Yaşar Üniversitesi, Türkiye	6	Hollanda	11
Hindistan Teknoloji Enstitüsü Bombay, Hindistan	5	Hindistan	9
Louisville Üniversitesi, A.B.D.	5	Türkiye	9
Bologna Üniversitesi, İtalya	4	Kolombiya	4
Padova Üniversitesi, İtalya	3	Japonya	3
Songkla Prensi Üniversitesi, Tayland	3	Tayland	3

105 makalenin anahtar kelimelerine bakıldığı zaman ise 184 farklı kelimenin veya kelime grubunun kullanıldığı gözlemlenmiştir. En fazla kullanılan ilk 20 anahtar kelime, kullanım sıklıklarına göre Şekil 3’te verilmiştir.

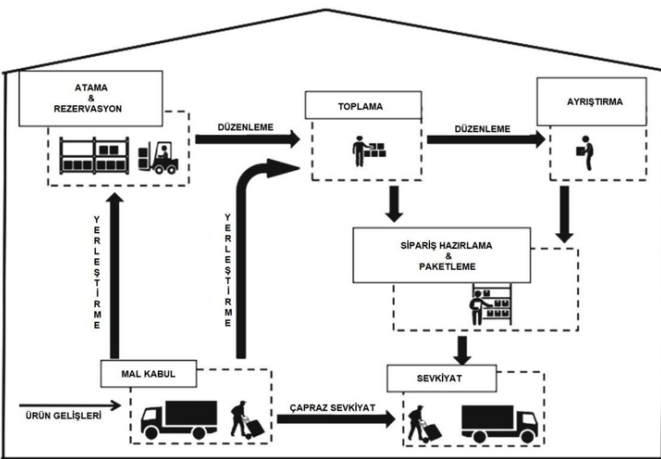


Şekil 3. En fazla kullanılan ilk 20 anahtar kelime/kelime grubu

Beklendiği gibi en sık kullanılan kelime “warehouses” olarak gözlemlenmiştir. Geleneksel olmayan depo yerleşimlerinde en çok araştırılan konu sipariş toplama olduğundan “order picking” en fazla kullanılan ikinci anahtar kelime olmuştur. “Integer programming” anahtar kelimesi tam sayılı modellemenin sıklıkla kullanıldığını, “simulation” anahtar kelimesi de yine depo davranışını gözlemlemek için kullanılan bir yöntem olduğunu göstermektedir. “Travel distance” ve “travel time” anahtar kelimeleri çalışmalarda en sık kullanılan performans göstergesinin depo için mesafe ve zaman minimizasyonu olduğunu ifade etmektedir. Şekil 3’te yer almayan ancak son zamanlarda literatürde yer bulan bazı anahtar kelimeler de (robotik, ergonomi, karar destek sistemi vb.) bulunmaktadır. Örneğin Diefenbach ve Glock (2019), U tipli yenilikçi bir depo yerleşimi için ergonomik açıdan sipariş toplama problemini ele almışlardır. Yang vd. (2021)’de geleneksel olmayan depo yerleşimleri için robotik sistemlerin etkisini analiz etmişlerdir. Esmero vd. (2021), FlexSim yazılımı ile geleneksel depo yerleşimi ve kılçık/kanat yerleşimlerini karşılaştırmışlardır.

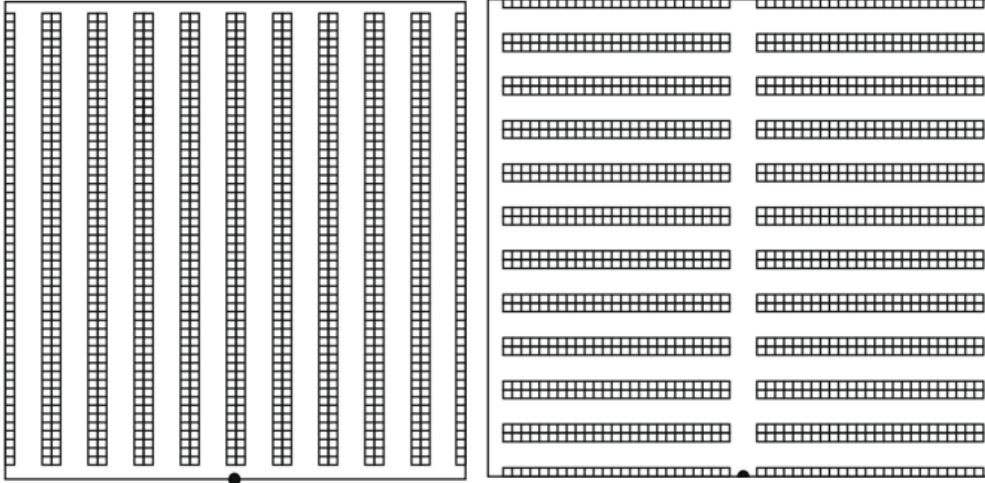
3. Geleneksel Depo Yerleşimleri

Geleneksel depolar, genel manada ürün kabul, istifleme, sevkiyat temel işlemleri yanında hazırlık, ayırıştırma, birleştirme, konsolidasyon, etiketleme, paketleme, katma değerli hizmetler vb. işlemlerin gerçekleştiği depolardır (Şekil 4).



Şekil 4. Geleneksel depo faaliyetleri (Custodio ve Machado, 2020)

Deneyimlere göre, en yaygın geleneksel depo yerleşimleri Şekil 5’te verilmiştir. Yerleşim A, koridorların birbirine paralel toplama ve istifleme koridorlarına ve dikey ana koridorlara sahiptir. Yerleşim B’de, toplama ve istifleme koridorlarının yarısına bir ana koridor yerleştirilmiştir (Pohl vd. 2009).



Yükleme/Boşaltma Kapısı
Yerleşim A

Yükleme/Boşaltma Kapısı
Yerleşim B

Şekil 5. Geleneksel depo koridor yerleşimleri (Pohl vd. 2009)

Geleneksel depolarda, raflar ve mal toplama koridorları birbirine paraleldir, toplama koridorlarının kesiştiği ana koridorlar ise 90° olacak şekilde tasarlanır. Şekil 5 Yerleşim A’da mal toplama koridorları arasında geçişi sağlayan alt ve üst ana koridorlar bulunmaktadır. Bu yerleşim tek bloklu geleneksel depo tasarımı olarak adlandırılmaktadır. Şekil 5 Yerleşim B’de, alt ve üst ana koridorlar dışında mal toplama koridorları arasında geçiş kolaylığı sağlaması amacıyla orta ana koridor yer almaktadır. Orta ana koridor depoyu iki parçaya ayırdığı için yerleşim iki bloklu geleneksel depo tasarımı olarak adlandırılmaktadır. Bazı depolarda orta ana koridor sayısı birden fazla da olabilir (Öztürkoğlu vd. 2018a).

Bu kısımda açıklanan geleneksel depoların bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Örneğin sevk alanı ile toplama alanı aynı tarafta olduğu için elleçleme ekipmanı trafiği yoğunlaşacak ve yükleme süreleri artacaktır (Acar ve Çakmak, 2013). Günümüzde rekabet ve müşteri odaklılığı artmakta, depo ölçekleri büyümekte, yeni ekipmanlar kullanılmakta, alanı verimli kullanmak önem kazanmakta, daha fazla ürün çeşidi elleçlenmekte, daha sık ve daha küçük miktarlı sipariş partisi sevkiyatları gerçekleştirilmekte, daha fazla ürün (SKU) ve katma değerli hizmet talebi oluşmakta, gerçek zamanlı bilgi gereksinimi sonucunda izlenebilirlik artmakta, daha fazla iade işlemi olmakta, sipariş çevrim süreleri kısalmakta, daha az hata marjlarına izin verilmektedir (Tanyaş ve Baskak, 2012).

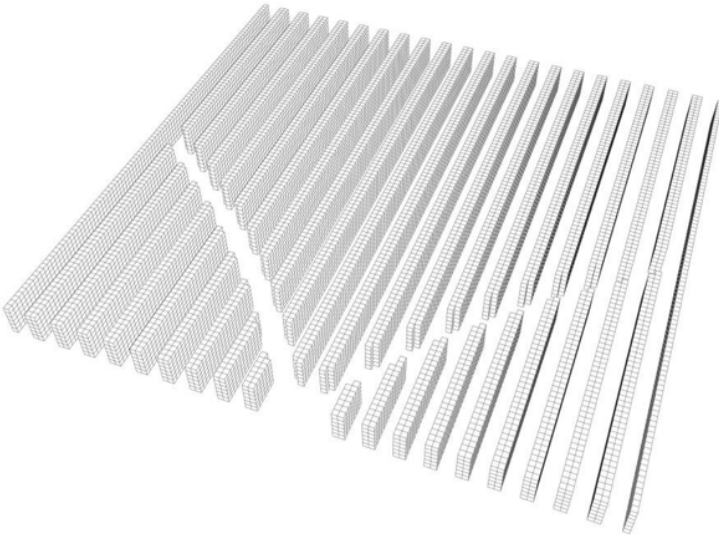
Depolar, ürünleri korumaktan çok bir akış noktası haline gelmektedir. Çünkü firmaların artık stok hakkında bilgi vermek, küçük miktarlı sevkiyat ve ürün birleştirme amaçlı kullanma eğilimleri artmaktadır (Tanyaş ve Baskak, 2012). Bu sebeplerle günümüzde depoların geleneksel tasarımlarından farklı yenilikçi yaklaşımlarla geleneksel olmayan

tasarımlarda oluşturulması hem literatür hem de gerçek vakalarda görülmektedir. Geleneksel olmayan modern depo yerleşimlerinde, ürünlere erişimi sağlayan koridor tasarımları geleneksel depo tasarımlarından farklıdır. Çalışmanın bundan sonraki kısmında geleneksel olmayan depo yerleşimleri açıklanacaktır.

4. Geleneksel Olmayan Yenilikçi Depo Yerleşimleri

Çalışmanın ikinci kısmında belirtildiği üzere geleneksel depolarda, raflar ve mal toplama koridorları birbirine paraleldir, toplama koridorlarının kesiştiği ana koridorlar ise 90° olacak şekilde tasarlanır. Geleneksel olmayan yenilikçi yaklaşımlı depolarda ise toplama koridorundan ana koridora geçiş 90° den farklı açılarda olabilir. Geleneksel olmayan depo tasarımları çalışmalarının ana motivasyonu depo içi dolaşım süresinin azaltılması amacı ile ürüne erişim mesafelerinin kısaltılmasıdır. Bu kısımda literatürde yenilikçi depo koridor tasarımlarında sıkça karşılaşılan; Kanat (Flying-V), Kılıçık (Fishbone), Ters-Kanat (Inverted-V), Apolet (Chevron), Yaprak (Leaf), Kelebek (Butterfly) koridor tasarımlarının açıklamaları ve görselleri, ilgili literatüre atıfta bulunularak açıklanmaya çalışılmıştır.

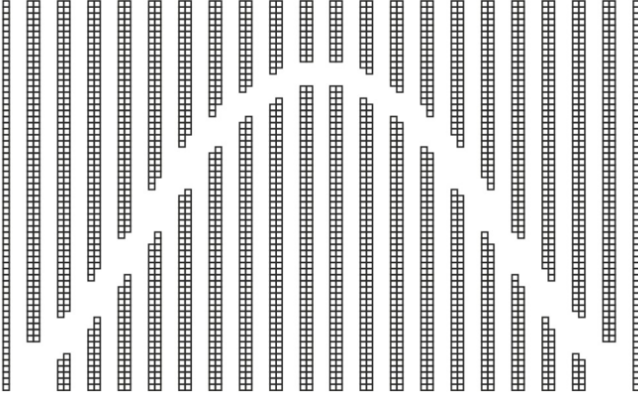
Kanat (Flying-V) Koridor Tasarımı: Bu tasarımın farklılığı, geleneksel koridor tasarımlarında gördüğümüz toplama koridorlarının kesiştiği düz ve dik açılı koridorların (Şekil 5), Şekil 6'da gösterilen bu tasarımda eğik açılı olmasıdır (Zhou vd. 2020).



Şekil 6. Kanat koridor tasarımı (Gue ve Meller, 2009)

Gue ve Meller (2009)'in ilk kez çalışmalarında kullandıkları kanat koridor tasarımı, eşdeğer bir geleneksel depoya göre (Şekil 5) ortalama olarak %10 daha düşük bir hareket mesafesi sağlamaktadır.

Ters-Kanat (Inverted-V) Koridor Tasarımı: Ters Kanat koridor tasarımı varsayımları kanat koridor tasarımı ile benzer olmakla birlikte, Şekil 7'de görüldüğü üzere ürün taşıma yolu kanat koridor tasarımına göre daha uzundur (Gue vd. 2012).

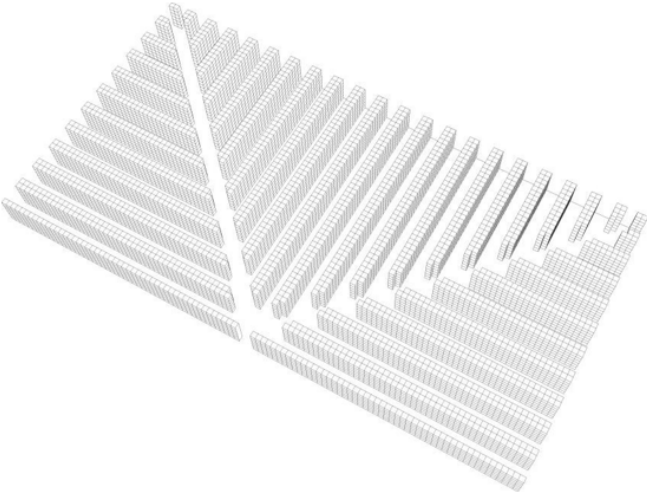


Şekil 7. Ters-V koridor tasarımı (Gue vd. 2012)

Kanat (Flying-V) ve Ters Kanat (Inverted-V) Literatürü: Kanat koridor tasarımının Gue ve Meller (2009) tarafından ortaya atılmasından sonra bu konuda yapılan çalışmalarda da artış gözlemlenmiştir. Örneğin Gue vd. (2012) birden fazla kapının olduğu depolar için kanat ve ters kanat (Inverted-V) tasarımlarını test etmişler ve sonuç olarak kanat koridor tasarımının daha başarılı olduğu sonucuna varmışlardır. Daha sonra Clark vd. (2013) Chebychev mesafesine göre kanat ve kılçık koridor tasarımlarını karşılaştırmışlar ve yüksek rafların bulunduğu durumlar için kılçık yaklaşımının daha başarılı olduğunu göstermişlerdir. Öztürkoğlu vd. (2014) çoklu giriş çıkış noktalı bir depo için değiştirilmiş kanat koridor tasarımını uygulamışlardır. Önerdikleri yaklaşım geleneksel depolara göre %5-12 arası iyileşme sağlamıştır. Feng vd. (2019) mobil robotik depolama sistemlerinin yer aldığı depolar için hem geleneksel tasarımlı hem de kanat tasarımlı yaklaşımları test etmişler ve kanat tasarımının %8-18 arası mesafe tasarrufu sağladığını ortaya koymuşlardır. Zhou vd. (2019b) nesnelerin interneti teknolojisi ile anlık veri çekildiği durumlar için ters kanat ve kılçık tasarımlarını karşılaştırmışlardır. Zhou vd. (2020) daha sonraki çalışmalarında ise ABC sınıflandırma politikasını dikkate alacak şekilde kanat tipi koridor tasarımını çalışmışlardır.

Kılçık (Fishbone) Koridor Tasarımı: Gue ve Meller (2009) çalışmalarında, geleneksel depo koridorlarının birbirine paralel olan tasarımının yerine birbirine yatay ve dikey koridor tasarımını benimsemişlerdir. Uyguladıkları bu tasarım ile beklenen depo içi hareket maliyetini

%20'den fazla azaltılabileceğini ve buldukları bu değer de optimale yakın olduğu sonucuna varmışlardır. Şekil 8'de kılçık koridor tasarımına yer verilmiştir.



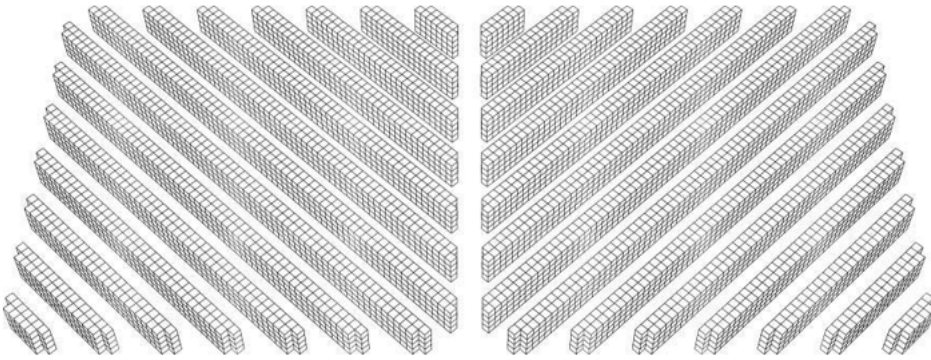
Şekil 8. Kılçık koridor tasarımı (Gue ve Meller, 2009)

Şekil 8’de görüldüğü üzere „V” harfi oluşturan iki ana koridor bulunmaktadır. Kılçık tasarımında beklenen seyahat uzaklığı geleneksel tasarıma göre %20’ye kadar daha kısadır. Bu durum çapraz ana koridorların ürün toplama/yerleştirme mesafesini daha kısa hale getirir, geleneksel depolarda ise doğrusal mesafenin tamamının kat edilmesi gerekir (Gue ve Meller, 2009).

Kılçık (Fishbone) Koridor Literatürü: Geleneksel olmayan depo koridor tasarımlarının depo operasyonlarına etkisini araştıran literatürdeki önemli çalışmalardan biri Gue ve Meller (2009)’a aittir. Gue ve Meller (2009) çalışmalarında ilk kez tek kapılı bir geleneksel depo koridor tasarımına alternatif iki yeni koridor tasarımını; kanat ve kılçık tasarımlarını önermişlerdir. Gue ve Meller (2009) önerdikleri iki yeni tasarımı geleneksel depo yerleşimi ile karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırmayı da tek duraklı seyahat özelinde yapmışlardır. Diğer bir ifade ile talebin tek bir ürün olduğu ve depo personelinin kapıdan başlayarak ilgili ürünü alıp tekrardan başladığı noktaya dönme süresini/mesafesini karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre kanat ve kılçık tasarımları eş değer bir geleneksel depoya göre ortalama seyahat süresi açısından sırasıyla %10 ve %20’ye kadar daha iyi sonuç vermektedir. Bu çalışmanın hemen ardından Pohl vd. (2009), kılçık tasarımının çift komutlu operasyonlar altındaki performansını analiz etmişlerdir. Sonuç olarak da geleneksel depo tasarımlarına göre yürüme mesafesi açısından %10-15 arası iyileşme sağlamışlardır. Pohl vd. (2011)’de farklı tüketim hızlarına sahip ürünlerin raflara yerleştirilmesi için kanat ve kılçık tasarımlarını karşılaştırmışlardır. Cardona vd. (2012) kılçığı tasarımını etkileyen en önemli parametreleri incelemişler ve koridor açısının etkin faktör olduğunu tespit etmişlerdir. Jiang vd. (2013) yaptıkları çalışmalarında kılçık tasarımlı bir depoda içine girilebilir raf sisteminin etkisini analiz etmişlerdir. Daha sonraki bir çalışmada Çelik ve Süral (2014) stok devir hızını dikkate alarak kılçık tasarımlı bir depoda operasyon planlama çalışması yapmışlardır. Cardona vd. (2015), dikey yürüme de dikkate alan bir yaklaşım ile kılçık tasarımı üzerine bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Venkitasubramony ve Adil (2016) tam poligonol mesafe konturuna dayalı olarak üç farklı depolama politikası altında kılçık düzeni için ayrık ve sürekli toplama mesafeli

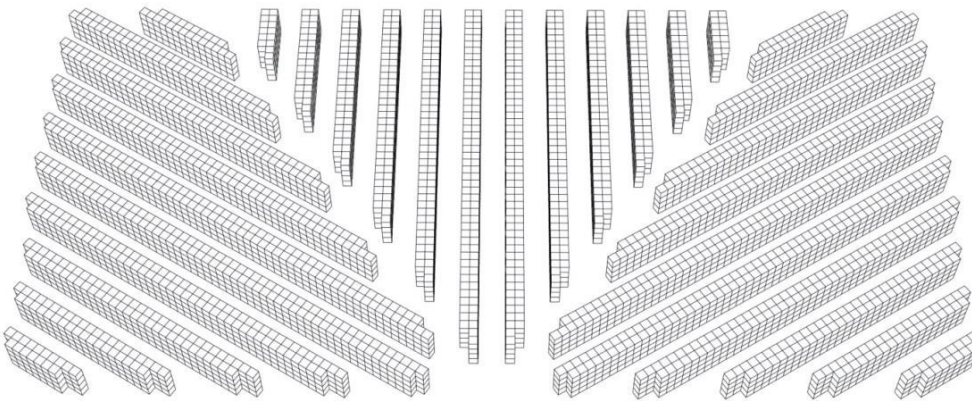
modeller geliştirmişlerdir. Zhou vd. (2019a), kılçık tasarımı üzerinde sipariş toplama mesafesini minimize eden rotaların bulunması için farklı meta-sezgisel algoritmaları (genetik algoritma, karınca kolonisi vb.) karşılaştırmalı olarak uygulamışlardır. Son olarak Bortolini vd. (2021) ve Esmero vd. (2021) kılçık tasarımı ile diğer geleneksel olmayan depo tasarımlarını farklı performans göstergeleri (sürdürülebilirlik vb.) altında karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir.

Apolet (Chevron) Koridor Tasarımı: Apolet koridor tasarımında, tek bir çapraz koridor ve bu çapraz koridora 45 ve 135 derecelik açılarda raf koridorları bulunmaktadır (Öztürkoğlu vd. 2012). Apolet koridor tasarımı Şekil 9’da gösterilmiştir.



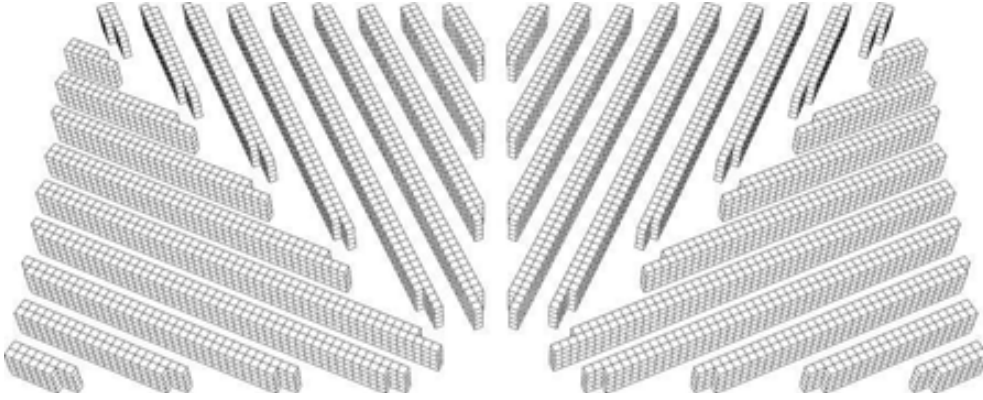
Şekil 9. Apolet koridor tasarımı (Gue ve Meller, 2009)

Yaprak (Leaf) Koridor Tasarımı: Leaf tasarımı iki çapraz koridora ve bu çapraz koridora açılan açılı raf koridorlarına sahiptir. İki çapraz koridoru ile kılçık tasarımına benzemektedir, farkı ise çapraz koridorları kılçık tasarımına göre daha dik açılı olmasıdır. Şekil 10’da görülen açılı koridorları sayesinde, ürün taşıma süresi beklenenden daha az olmaktadır (Gue vd. 2012).



Şekil 10. Yaprak koridor tasarımı (Gue ve Meller, 2009)

Kelebek (Butterfly) Koridor Tasarımı: Kelebek koridor tasarımında üç ana koridor ve bu koridorlar ile kesişen açılı raf koridorları bulunmaktadır. Kelebek koridor tasarımına Şekil 11’de yer verilmiştir.



Şekil 11. Kelebek koridor tasarımı (Gue ve Meller, 2009)

Apolet (Chevron), Yaprak (Leaf) ve Kelebek (Butterfly) Koridor Literatürü: Kılçık, kanat ve ters-kanat gibi geleneksel olmayan depo koridor tasarımlarına ek olarak Öztürkoğlu vd. (2012) çalışmalarında sürekli depo uzayı için üç yeni tasarım modelini ortaya çıkarmışlardır. Tek ana koridorlu tasarım için apolet, iki ana koridorlu tasarım için yaprak ve üç ana koridorlu tasarım için de kelebek modelini önermişlerdir. Yaptıkları karşılaştırmaya göre de en başarılı yaklaşımın apolet tasarımı olduğunu belirtmişlerdir. Öztürkoğlu vd. (2018b), apolet tasarımının farklı depo büyüklüklerinde, çoklu giriş çıkış noktası olduğunda, farklı malzeme akış politikaları altında, geleneksel tasarıma göre dolaşım süresinde bir iyileştirme sunup sunmadığını araştırmışlardır. Bunun için sürekli depo uzayında matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Sonuç olarak, apolet tasarımı merkez yoğun akış politikası altında, az sayıda giriş çıkış kapısı için en/boy oranı 3/1 olan depoda dolaşım süresi açısından daha fazla iyileştirme sunmaktadır. Masae vd. (2020a) apolet koridor tasarımlı depolar için optimum sipariş toplama politikasını belirlenmesi üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Masae vd. (2021) yaprak koridor tasarımlı depolar için toplam sipariş toplama maliyetini minimize etmek için dinamik programlama yaklaşımını önermişlerdir.

Yukarıda bahsedilen özel geleneksel olmayan depo koridor tasarımlarına ek olarak başka tasarımların geliştirildiği çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Örneğin diyagonal çapraz koridor (diagonal cross-aisles) tasarımlı (Bortolini vd. 2015; 2019) ya da U-tipli raf sistemleri (Glock ve Grosse, 2012) üzerine de farklı depo tasarımları çalışılmıştır. Depo koridor ve sipariş toplama tasarımları üzerine yapılan diğer çalışmalar için De Koster vd. (2017) ve Masae vd. (2020b) tarafından yapılan detaylı literatür çalışmalarına bakılabilir. Genel bir değerlendirme sunmak ve sektördeki kişilere kılavuzluk etmek amacıyla geleneksel olmayan depo yerleşimlerinin hangi durumlar için ne kadar faydalı olabileceği ile ilgili literatürdeki bulgular Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5. Geleneksel olmayan depo yerleşimleri ile ilgili bulgular

Kaynak	Bulgular
Gue ve Meller (2009)	Kanat tasarımlı bir deponun, çapraz koridoru olmayan eşdeğer boyutlu geleneksel tasarımlı bir depoya göre, rastgele depolama politikası altında tek komutlu seyahatte %10'luk bir iyileşme sağladığını göstermiştir.
Pohl vd. (2009)	Kılçık yerleşim tipinin, çift komutlu operasyonlar altında geleneksel depo tasarımlarına göre yürüme mesafesi açısından %10-15 arası iyileşme sağlamışlardır.
Öztürkoğlu vd. (2012)	Koridor sayısının 27'den az olduğu depolar için apolet tipli yerleşimin, yaprak ve kelebek tipli yerleşimlere göre daha fazla mesafe iyileştirmesi sağladığını göstermişlerdir.
Öztürkoğlu vd. (2014)	Birden fazla giriş/çıkışın olduğu depolar için kanat koridor tasarımının geleneksel depo yerleşimlerine göre mesafe açısından %5-12 arası iyileşme sağladığını göstermişlerdir. Eğer giriş/çıkış noktaları sayıca fazla ve yerleri dağınık ise bu faydanın azaldığını belirtmişlerdir.
Öztürkoğlu (2016)	Kanat tipi yerleşimlerin, geleneksel depo yerleşimlerine göre %61,17 değerinde daha az alana ihtiyaç duyduğunu göstermişlerdir.
Öztürkoğlu vd. (2018b)	Az sayıda giriş/çıkış kapısı olan ve en-boy oranı 3/1 olan depolar için apolet tipli yerleşimlerin geleneksel yerleşimlere göre seyahat süresi açısından %3 ile %19 arası bir iyileşme sağladığını göstermişlerdir. Kapı sayısının 19'dan fazla olduğu durumlar için bu avantaj sıfırlanmaktadır. Sonuç olarak apolet tipli yerleşimlerin merkezde tek bir giriş/çıkış kapısının olduğu durumları için başarılı olduğunu göstermişlerdir.
Feng vd. (2019)	Mobil robotik depolama sistemlerinin yer aldığı depolar için hem geleneksel tasarımlı hem de kanat tasarımlı yerleşimleri test etmişler ve kanat tasarımının %8-18 arası mesafe tasarrufu sağladığını ortaya koymuşlardır. Diğer bir ifade ile geleneksel olmayan depo yerleşimlerinin robotik teknoloji ile desteklenmesiyle ortaya konulan tasarrufta artmaktadır.
Esmero vd. (2021)	Kılçık yerleşim düzeni ile geleneksel yerleşim düzenine kıyasla sipariş toplama zamanında %52,39; toplam mesafede %32,25 ve kapasite kullanım oranında %7,5 değerinde bir iyileşme sağlamışlardır.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada geleneksel depo koridor düzenlerinin yarattığı problemleri ortadan kaldırmak için literatüre kazandırılan geleneksel olmayan yenilikçi depo koridor tasarımlarına detaylı bir şekilde yer verilmiştir. Geleneksel depo yerleşimlerinde ürün hareket dolaşım süresi/ mesafesi istenen seviyede iyileştirilememekte ve dolayısı ile depo operasyon maliyetlerinin azaltılmasında da zorluklar yaşanmaktadır. Bu iyileştirmelerin sağlanabilmesi amacıyla özellikle 2009 yılından itibaren literatürde farklı koridor tasarımları çalışılmıştır. Bunların en önemlilerinin başında Kanat (Flying-V), Kılçık (Fishbone), Ters Kanat (Inverted-V), Apolet (Chevron), Yaprak (Leaf) ve Kelebek (Butterfly) koridor tasarımları gelmektedir. Çalışmanın üçüncü kısmında bu öne çıkan koridor tasarımlarının kısa açıklamaları, koridor şekilleri ve literatür araştırmalarına yer verilmiştir. Yenilikçi koridor tasarımları incelediğinde depoda bulunacak ana koridor sayısına göre sınıflandırmalar olduğu görülmüştür.

Literatürdeki çalışmaların çoğu mesafe veya maliyet açısından geleneksel olmayan depo yerleşimlerini geleneksel olan depo yerleşimleri ile karşılaştırmaktadır. Maliyet ve mesafe bir depo için önemli kriterler olsa da geleneksel olmayan depo yerleşimlerinin hangi depolama stratejisinde ya da yönetiminde etkin olduğunun da araştırılması önemli bir konudur. Örneğin Pohl vd. (2011) stok devir hızına göre depolama stratejisinin etkisini ölçerken, Bortolini vd. (2019) sınıf bazlı depolama stratejisi için geleneksel olmayan depo yerleşimlerinin performansını araştırmıştır.

Literatürde tespit edilen ve ileriki çalışmalara fikir verebilecek boşluklar aşağıda listelenmiştir:

- Geleneksel olmayan depo yerleşimlerinde otomatik depolama ve boşaltma sistemlerinin performansı analiz edilebilir,
- Birden fazla geleneksel olmayan depo yerleşimi melez olarak uygulanabilir,
- Geleneksel olmayan depo yerleşimlerinde statik ve dinamik depolama politikaları karşılaştırmalı olarak analiz edilebilir,
- Farklı sipariş toplama (zone picking vd.) ve farklı koridor tasarımlarının performansları karşılaştırılabilir,
- Farklı mimari alan (kare, dikdörtgen vd.) şekillerine göre farklı koridor tasarımlarının performansları karşılaştırılabilir,
- Herhangi bir geleneksel olmayan depo yerleşimi gerçek bir depoda uygulanabilir,
- Geleneksel ve geleneksel olmayan depo yerleşim karşılaştırmalarında ergonomik ve çevresel performans göstergeleri kullanılabilir,
- Koridor genişliğinin (mesafesinin) geleneksel olmayan depo yerleşimleri üzerine etkisi araştırılabilir,
- Geleneksel olmayan depo yerleşimlerindeki kaza olma ihtimalinin klasik depolara göre kıyaslaması yapılabilir,
- Geleneksel olmayan depo yerleşimlerinde hangi tip elleçleme aracının (forklift, reach truck, turret truck) daha etkin olduğu araştırılabilir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: The authors have no conflict of interest to declare.

Grant Support: The authors declared that this study has received no financial support.

Author Contributions: Conception/Design of Study- M.T.; Data Acquisition- A.Ö.; Data Analysis/Interpretation- M.T.; Drafting Manuscript- M.T.; Critical Revision of Manuscript- A.Ö.; Final Approval and Accountability- M.T., A.Ö.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Finansal Destek: Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Yazar Katkıları: Çalışma Konsepti/Tasarım- M.T.; Veri Toplama- A.Ö.; Veri Analizi/Yorumlama- M.T.; Yazı Taslağı- M.T.; İçeriğin Eleştirel İncelemesi- A.Ö.; Son Onay ve Sorumluluk- M.T., A.Ö.

Kaynakça

- Acar, Z., Çakmak, E. (2013). Depolama ve Depo Yönetimi. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Bortolini, M., Faccio, M., Gamberi, M., Manzini, R. (2015). Diagonal cross-aisles in unit load warehouses to increase handling performance. *International Journal of Production Economics*, 170 (Part C), 838–849.
- Bortolini, M., Faccio, M., Ferrari, E., Gamberi, M., Pilati, F. (2019). Design of diagonal cross-aisle warehouses with class-based storage assignment strategy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100, 2521–2536.

- Bortolini, M., Galizia, F.G., Gamberi, M., Gualano, F., Naldi, L.D. (2021). Non-conventional warehouses: Comparison of the handling performances. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 200, 193–203.
- Cardona, L.F., Rivera, L., Martínez, H.J. (2012). Analytical study of the fishbone warehouse layout. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 15 (6), 365–388.
- Cardona, L.F., Soto, D.F., Rivera, L., Martínez, H.J. (2015). Detailed design of fishbone warehouse layouts with vertical travel. *International Journal of Production Economics*, 170, 825–837.
- Clark, K.A., Meller, R.D. (2013). Incorporating vertical travel into non-traditional cross aisles for unit-load warehouse designs. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 45 (12), 1322–1331.
- Custodio, L., Machado, R. (2020). Flexible automated warehouse: A literature review and an innovative framework. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106, 533–558.
- Çelik, M., Süral, H. (2014). Order picking under random and turnover-based storage policies in fishbone aisle warehouses. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 46 (3), 283–300.
- Çolak, M., Aydın Keskin, G., Günel, G., Akkaya, D. (2016). Bir cam işletmesinde kimyasal hammadde deposunun etkin yerleşimi için bir model önerisi. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (2), 55–76.
- De Koster, R., Le-Duc, T., Roodbergen, K.J. (2017). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182, 481–501.
- Diefenbach, H., Glock, C.H. (2019). Ergonomic and economic optimization of layout and item assignment of a U-shaped order picking zone. *Computers and Industrial Engineering*, 138, 106094.
- Esmero, A.T., Branzuela, Q.R.S., Paypa, J.T., Rojo, S.M.S., Sacay, E.S., Selerio, E.F., Ocampo, L.A. (2021). Heuristic comparative assessment of non-conventional warehouse designs. *Engineering Management in Production and Services*, 13 (1), 89–103.
- Feng, L., Qi, M., Hua, S., Zhou, Q. (2019). Picking station location in traditional and flying-V aisle warehouses for robotic mobile fulfillment system. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 1436–1440.
- Glock, C.H., Grosse, E.H. (2012). Storage policies and order picking strategies in U-shaped order-picking systems with a movable base. *International Journal of Production Research*, 50 (16), 4344–4357.
- Gue, K. (2008). Generac Power Systems fishbone yerleşimi. <https://kevingue.wordpress.com/research/aisle-design-for-warehouses/implementations/generac-power-systems/>, Erişim tarihi: 20.06.2021.
- Gue K.R., Meller R. D. (2009). Aisle configurations for unitload warehouses. *IIE Transactions*, 41 (3), 171–182.
- Gue, K.R., Ivanović, G., Meller, R.D. (2012). A unit-load warehouse with multiple pickup and deposit points and non-traditional aisles. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48 (4), 795–806.
- Jiang, M.-X., Feng, D.-Z., Zhao, Y.-L., Yu, M.-F. (2013). Optimization of logistics warehouse layout based on the improved Fishbone layout. *System Engineering Theory and Practice*, 33 (11), 2920–2929.
- Masae, M., Glock, C.H., Vichitkunakorn, P. (2020a). Optimal order picker routing in the chevron warehouse. *IIE Transactions*, 52 (6), 665–687.
- Masae, M., Glock, C.H., Grosse, E.H. (2020b). Order picker routing in warehouses: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, 224, 107564.
- Masae, M., Glock, C.H., Vichitkunakorn, P. (2021). A method for efficiently routing order pickers in the leaf warehouse. *International Journal of Production Economics*, 234, 108069.
- Öztürkoğlu, Ö., Gue, K.R., Meller, R.D. (2012). Optimal unitload warehouse designs for single-command operations. *IIE Transactions*, 44 (6), 459–475.
- Öztürkoğlu, Ö., Gue, K.R., Meller, R.D. (2014). A constructive aisle design model for unit-load warehouses with multiple pickup and deposit points. *European Journal of Operational Research*, 236 (1), 382–394.
- Öztürkoğlu, Ö. (2016). Effects of varying input and output points on new aisle designs in warehouses. In 2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 3925–3932.

- Öztürkoğlu, Ö., Hoşer, D. (2018a). Yeni bir depo tasarım problemi ve polinomsal zamanlı optimal sipariş toplama algoritması önerisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (4), 1569–1588.
- Öztürkoğlu, Ö., Kocaman, Y., Gümüőođlu, Ő. (2018b). Çok kapılı birim yük depolarda Chevron koridor tasarımının değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (3), 793–808.
- Öztürkoğlu, Ö., Hoşer, D. (2019). A discrete cross aisle design model for order-picking warehouses. *European Journal of Operational Research*, 275 (2), 411–430.
- Pohl, L.M., Meller, R.D., Gue, K.R. (2009). Optimizing fishbone aisles for dual-command operations in a warehouse. *Naval Research Logistics*, 56 (5), 389–403.
- Pohl, L.M., Meller, R.D., Gue, K.R. (2011). Turnover-based storage in non-traditional unit-load warehouse designs. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 43 (10), 703–720.

- Tanyaş, M., Baskak, M. (2012). Farklı açılardan depoların sınıflandırılması. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, Konya.
- Tanyaş, M., Düzgün, M. (2014). Depo yönetimi: Depo sistemlerinin otomasyonu ve organizasyonu. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Toktaş Palut, P., Okçuoğlu, F. (2019). Depo tasarımı ve yerleşimi: Bir gerçek hayat uygulaması. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12 (2), 14–22.
- Venkatasubramony, R., Adil, G.K. (2016). Analytical models for pick distances in fishbone warehouse based on exact distance contour. *International Journal of Production Research*, 54 (14), 4305–4326.
- Yang, X., Liu, X., Feng, L., Zhang, J., Qi, M. (2021). Non-traditional layout design for robotic mobile fulfillment system with multiple workstations. *Algorithms*, 14 (7), 203.
- Zhou, L., Li, Z., Shi, N., Liu, S., Xiong, K. (2019a). Performance analysis of three intelligent algorithms on route selection of fishbone layout. *Sustainability (Switzerland)*, 11 (4), 1148.
- Zhou, L., Liu, J., Fan, X., Zhu, D., Wu, P., Cao, N. (2019b). Design of V-type warehouse layout and picking path model based on internet of things. *IEEE Access*, 7, 58419–58428.
- Zhou, L., Fan, X., Wang, J., Wang, S., Cao, N., Wu, M. (2020). A random classified-storage picking path model for V-type storage layout. *Complexity*, 2020, 8784910.