



Evaluating Chevron aisle design in unit load warehouses with multiple pickup and deposit points

Ömer Öztürkoglu^{1*}, Yeliz Kocaman², Şevkinaz Gümüsoğlu¹

¹Yaşar University, Faculty of Business, İzmir, 35100, Turkey

²Yaşar University, Logistics Program, Vocational School, İzmir, 35100, Turkey

Highlights:

- Single-command travel distance functions for Chevron aisle design with multiple P&D points
- New material flow policies in multiple P&D point warehouses
- Chevron design's superiority to traditional design when there are a few number of PD points

Keywords:

- Aisle design
- Material flow policy
- Unit-load warehouses

Article Info:

Received: 15.12.16

Accepted: 31.01.17

DOI:

10.17341/gazimmfd.416382

Acknowledgement:

Correspondence:

Author: Ömer Öztürkoglu
e-mail:
omer.ozturkoglu@yasar.edu.tr
phone: +90 232 570 8950

Graphical/Tabular Abstract

In this study the effect of aisle design on the expected single-command travel distance from multiple P&D was investigated. We also present two different material flow policies that aims to determine the usage rate of the multiple P&D points located on the front of the warehouse. For the effect of aisle design, we choose Chevron, which is one of the most recently proposed non-traditional aisle designs by previous studies, because it was shown to be very efficient for single-command operations from a single, centrally-located P&D point. In order to investigate the performance of Chevron in terms of distance, we compare it with an equivalent one-block traditional warehouse layout for three different warehouse shape ratios. Figure 1 shows the percentage improvement of Chevron in single-command travel distance over an equivalent traditional design for central dense material flow policy. As seen in the figure, whereas Chevron proposes more than 10% savings in travel for a single P&D point, the saving decreases as the number of P&D points increases.

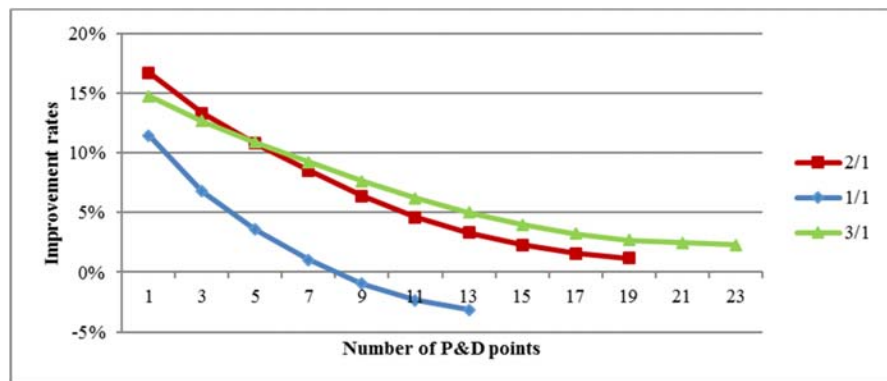


Figure A. Improvement of chevron over traditional layout under central dense flow policy

Purpose: The purpose of this study is to investigate the effect of multiple P&D points on the performance of Chevron aisle design over a traditional one-block warehouse design in terms of expected travel distance under various warehouse sizes and different material flow policies.

Theory and Methods:

Single-command travel distance functions from equally-spaced multiple P&D points in both Chevron and the traditional design were developed under the assumptions of randomized storage and continuous storage space. We also used a discrete model of aisles and storage locations for more accurate distance calculations because continuous models do not consider the loss of storage capacity. Using these models, we evaluate expected single-command distances in the respective layouts.

Results:

Our numerical analysis shows that Chevron design mostly performs better than an equivalent traditional aisle design under equal and central dense flow policies for three different warehouse shape ratios. However, the proposed savings in travel distance by Chevron over the traditional design decreases as the number of P&D points increases. Additionally, as the number of P&D points increases elongated warehouses (3/1) seem to be superior than deeper warehouses. When two proposed flow policies are compared, we observed that central dense flow policy results in slightly better expected travel distances than equal flow policy.

Conclusion:

It was shown that Chevron still provides reduction on single-command distance for multiple P&D points compared to traditional designs. Especially, when warehouses are elongated and material flows are dense around the center of the warehouse, Chevron seems to perform better than traditional aisle designs.



Çok kapılı birim yük depolarda Chevron koridor tasarımının değerlendirilmesi

Ömer Öztürkoğlu^{1*}, Yeliz Kocaman², Şevkinaz Gümüsoğlu¹

¹ Yaşar Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, İzmir, 35100, Türkiye

² Yaşar Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Lojistik Programı, İzmir, 35100, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Çok kapılı Chevron koridor yerleşimine sahip depolarda ortalama tek duraklı seyahat mesafesi denklemleri
- Çok kapılı depolarda yeni malzeme akış politikaları
- Az sayıda giriş çıkış kapısı olması durumunda Chevron tasarımın geleneksel tasarıma göre üstünlüğü

Makale Bilgileri

Geliş: 15.12.2016

Kabul: 31.01.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416382

Anahtar Kelimeler:

Chevron,
depo,
koridor tasarımı,
malzeme akış politikası

ÖZET

Artan rekabet sebebi ile depolama konusu tedarik zincirinde giderek önem kazanmaktadır. Depoların etkin yönetimi müşteri memnuniyetini önemli ölçüde etkileyen bir unsur haline gelmiştir. Özellikle müşteri siparişinin hazırlanma süresi en önemli performans göstergelerinden biri olmuştur. Siparişlerin müşteriye teslim süresi, ürünün araçlardan boşaltılması, lokasyonlara yerleştirilmesi, toplanması ve sevki edilmesi işlemlerinden etkilenmektedir. Bu işlemlerin en önemlileri harcadığı zaman açısından ürünlerin yerleştirilmesi ve toplanmasıdır. Bu işlemler için harcanan süre deponun koridor yerleşimine bağlı olarak değişmektedir dolayısı ile depolarda koridor yerleşimi hayli önem kazanmıştır. Bu çalışmada, Chevron tasarımının farklı depo büyüklüklerinde, çoklu giriş çıkış (G/Ç) noktası olduğunda, farklı malzeme akış politikaları altında, geleneksel tasarıma göre seyahat süresinde bir iyileştirme sunup sunmadığı araştırılmıştır. Bunun için sürekli depo uzayında matematiksel model geliştirilmiştir. Eklenen koridorlar sebebi ile ortaya çıkan depolama alanı kaybını görebilmek için problem bir de ayrık depo uzayında modellenmiştir. Her iki uzayda tanımlanan depolar için ortalama seyahat mesafeleri elde edilmiştir. Sonuç olarak, Chevron tasarımı merkez yoğun akış politikası altında, az sayıda G/Ç kapısı için en/boy oranı 3/1 olan depoda seyahat süresi açısından daha fazla iyileştirme sunmaktadır.

Evaluating Chevron aisle design in unit load warehouses with multiple pickup and deposit points

H I G H L I G H T S

- Single-command travel distance equations for a Chevron aisle design with multiple P&D points
- New material flow policies in multiple P&D point warehouses.
- Chevron design's superiority to traditional design when there are a few number of PD points

Article Info

Received: 15.12.2016

Accepted: 31.01.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416382

Keywords:

Chevron,
warehouse,
aisle design,
material flow policy.

ABSTRACT

Warehousing is becoming more important in the supply chain management than before because of increasing competitiveness in market. Efficient warehouse management has become a critical factor that affects customer satisfaction. Especially, managing the lead-time in a warehouse for preparation of a customer order has become one of the critical issues for warehouse managers. Order delivery time in a warehouse is affected by all warehouse activities such as unloading trucks, storing and picking products, packaging and shipping. The most critical activities are storing and picking because they are the most time consuming activities. Travel time for storing and picking activities depends on aisle layout of the warehouse. Therefore, aisle design in a warehouse becomes a research field for researchers. In this study, the effect of multiple P&D point on the performance of Chevron design under various warehouse sizes and under different material flow policies is investigated. A mathematical model is constructed in continuous warehouse space and then the expected travel time in a discrete warehouse is calculated. As a result, Chevron design outperforms the equivalent traditional design when there are a few number of P&D points and central P&D points have higher material flows than others in warehouse that have 3/1 width/height shape ratio.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: omer.ozturkoglu@yasar.edu.tr/ Tel: +90 232 570 8950

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

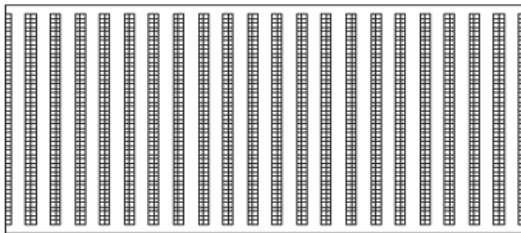
Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler, iletişim ve ulaştırma alanındaki gelişmeler insanların beklentilerinin büyük ölçüde değişmesine neden olmuştur. Küreselleşme olgusunun ortaya çıkması insanlarda dünyanın diğer ucundaki bir ürüne dahi sahip olma isteği uyandırmış ve tüm yenilikleri yakından takip etme imkânı sunmuştur. Küreselleşme aynı zamanda işletmelerin, rekabet yapısını da etkilemiştir. İşletmeler, insanların hızla değişen ihtiyaç ve beklentilerine zamanında cevap verebilmek için üretim sistemlerinde değişiklik yapmaya zorlanmıştır. Üretim alanında yapılan iyileştirmelerin yanı sıra tedarik zinciri alanında da çalışmalar yapılmıştır. İyi yönetilen bir tedarik zinciri doğru ürünlerin doğru miktarda, doğru zamanda ve doğru yerde olmasını sağlamayı gerektirmiştir. Bu anlamda depolar artık sadece ürünlerin stoklandığı yer olmaktan çıkmış, ürüne değer katan işlemlerin yapıldığı, üretimin ve dağıtımın daha hızlı yapılabilmesini sağlayan tedarik zinciri içinde önemli bir ara nokta haline gelmiştir. Bu nedenle depolara olan ihtiyaç giderek artmıştır. Malzeme Elleçleme ve Lojistik Amerika Yol Haritasının 2014 verilerine göre, Amerika'da 350.000 adet depo bulunmaktadır [1]. Türkiye'de özellikle son yıllarda lojistik üslerin ve merkezlerin artması depoların hem sayısal olarak hem de büyüklük olarak artmasına neden olmuştur [2]. Depoların büyümesi, içindeki ürün lokasyonlarına ulaşmak için kat edilmesi gereken mesafelerin artmasına neden olmuştur. Depo kapıları ile ürün lokasyonları arasındaki mesafeler depo koridorlarının yerleşim düzenine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, depo koridor yerleşimi önem kazanmaktadır. İyi bir iş yeri düzeni tesislerin etkin kullanılacağı anlamına gelir ve dolayısı ile maliyetlerin düşürülmesine sebep olmaktadır [3]. Bu çalışmanın amacı, depolarda yenilikçi koridor yerleşiminin farklı malzeme akış politikaları altında ortalama kat edilen mesafe üzerine etkisini araştırmaktır. Çalışmada birden çok kapılı depolar ele alınmıştır çünkü çağımız rekabet koşullarında işletmelerin müşteri beklentilerini zamanında karşılayabilmeleri oldukça önemlidir. Sevkiyatların zamanında yapılabilmesi için ürünlerin depo alanına zamanında girmesi ve depo yönetim sistemine kayıtlarının zamanında yapılması gerekmektedir. Ürün girişlerinin hızlı bir şekilde yapılabilmesi için tırların, kamyonların ve konteynerlerin boşaltma işlemini gerçekleştirmek üzere

uygun G/Ç kapısı bulmaları gerekmektedir. Bu durumda depoda birden çok G/Ç kapısı olması mal kabul ve sevkiyat sürelerinin kısalmasına neden olur. Bu kapıların deponun aynı tarafında yer alması kapıların hem mal kabul hem de sevkiyat işlemleri için kullanılabilmesini sağlar ki bu da işletme için esneklik sağlamış olur. Tüm bu nedenlerden dolayı çalışmada aynı duvarında birden çok kapısı olan birim yük depolar ele alınmış ve kapıların seyahat süresine etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın bundan sonraki bölümünde geleneksel olmayan depolarda koridor tasarımları ile ilgili yapılan literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Daha sonra, araştırmada kullanılan Chevron tasarımı, sürekli depo için geliştirilen seyahat modeli ve ayrık depo modeli tanıtılmıştır ardından malzeme akış politikalarından bahsedilmiştir. Son olarak farklı büyüklükteki depolarda, farklı malzeme akış politikaları altında farklı sayıdaki G/Ç kapılarının Chevron tasarımındaki seyahat süresine etkisi incelenmiş ve bulgular tartışılmıştır.

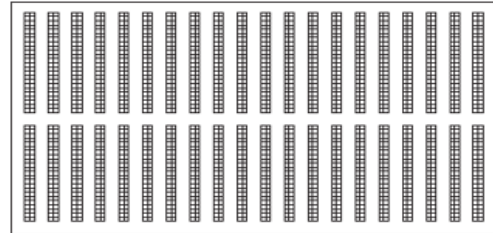
2. LİTERATÜR (LITERATURE)

Geleneksel depolarda raflar, mal toplama koridorları birbirine paralel ve 90° olacak şekilde tasarlanır. Şekil 1a'da mal toplama koridorları arasında geçişi sağlayan alt ve üst ana koridorlar bulunmaktadır. Bu yerleşim tek bloklu geleneksel depo tasarımı olarak adlandırılmaktadır. Şekil 1b'de görüldüğü üzere, bazı depolarda 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. Orta ana koridor sayısı birden fazla olabilir. Bu geçiş koridorları geleneksel depolarda olduğu üzere sipariş toplama koridorlarına dik olabileceği gibi, depo içinde kat edilen toplam mesafeyi minimize edecek şekilde açılabilir. Geçiş koridorlarının 90° den farklı açılar aldığı durumda depo geleneksel olmayan depo olarak adlandırılmaktadır.

Gue ve Meller [4] çalışmalarında ilk kez bir tek G/Ç noktası olan bir depo için geleneksel depo koridor tasarımına alternatif iki yeni koridor tasarımı; Uçan-V (Flying-V) ve Balık kılıçını (Fishbone) geliştirmişlerdir. Geliştirilen tasarımlar tek duraklı (single-command) seyahat uzaklığı açısından eş değer büyüklükteki geleneksel depo ile



(a) Tek bloklu tasarım (One block layout)



(b) İki bloklu tasarım (Two blocks layout)

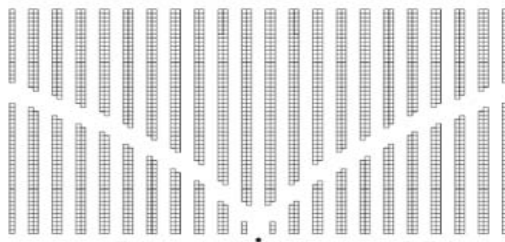
Şekil 1. Geleneksel depolarda koridor tasarımları (Aisle designs in traditional warehouses)

karşılaştırılmıştır. Tek duraklı seyahat, G/Ç kapısından depolama alanına sadece bir ürünü lokasyonundan almak için gidilip tekrar başlangıç noktasına geri dönüldüğü ya da kapıdan depolama alanına bir ürünü lokasyonuna yerleştirmek için gidildiği ve başlangıç noktasına geri dönüldüğü tek yönlü seyahat türüdür. Sipariş listesinde tek ürünün olduğu durumlarda bu seyahat türü uygulanmaktadır. Palet yük gibi büyük yüklerin depolanması genellikle bu seyahat türü ile yapılır. Şekil 2'de görülen Uçan-V tasarımı ve Balık kılıcı tasarımı eş değer bir geleneksel depoya göre ortalama seyahat süresi açısından sırasıyla %10 a kadar ve %20 ye kadar daha iyi sonuç vermektedir.

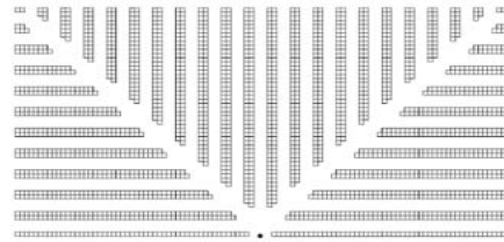
Geliştirilen iki tasarımın depo içindeki bir ürün lokasyonuna ulaşma mesafesi açısından geleneksel depolara göre daha kısa seyahat uzaklığına sebep olması araştırmacıları geleneksel olmayan depo tasarımları konusunda çalışmaya teşvik etmiştir. Gue, Ivanovic ve Meller [5] çalışmalarında Gue ve Meller'in [4] çalışmalarında önerdikleri Uçan-V koridor tasarımını çok sayıda G/Ç noktası olan bir depo için modifiye ederek incelemiştir. Uyarlanmış Uçan-V (Modified Flying-V) tasarımını ile Ters Çevrilmiş Uçan-V (Inverted Flying-V) tasarımlarını önermişlerdir. Uyarlanmış Uçan-V tasarımı ve Ters çevrilmiş Uçan-V tasarımının geleneksel tasarıma göre sırasıyla %6 ya kadar daha iyi ve %1 den daha az iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. Öztürkoğlu, Gue ve Meller [6] çalışmalarında, bir koridorlu depolar için Chevron, iki koridorlu depolar için Leaf, üç koridorlu depolar için Butterfly tasarımlarını geliştirmişlerdir. Talep yapısının tekdüze olduğu, tek giriş/çıkış noktası olan bir depo için elde edilen tek duraklı seyahat uzaklıkları incelendiğinde Chevron koridor tasarımının ortalama seyahat mesafeleri ve alan kayıpları açısından endüstri için en uygulanabilir tasarım olduğu sonucuna varılmıştır. Öztürkoğlu [7] bir başka çalışmada ayırık uzayda tanımlı iki koridorlu depolarda birden çok kapının ortalama seyahat uzaklığına etkisini araştırmıştır. Öztürkoğlu, Gue ve Meller [8] çalışmalarında G/Ç noktalarının deponun farklı dört duvarında olabildiği 12 farklı depo tasarımı incelemiştir. Pohl, Meller ve Gue [9] çalışmalarında, Gue ve Meller'in [4] çalışmada geliştirdiği tek duraklı ortalama seyahat uzunluğu açısından geleneksel koridor tasarımına göre daha iyi sonuç veren Balık Kılıcı tasarımını ele alarak bu sefer iki duraklı seyahat (dual-command) problemleri üzerinde çalışmışlardır. Sonuç olarak Balık Kılıcı tasarımının ana koridoru olan geleneksel tasarıma göre %10 daha iyi sonuç

verdiği, ana koridoru olmayan bir geleneksel tasarıma göre %15,5 kadar daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Pohl, Meller ve Gue [10] çalışmalarında geleneksel olmayan depolarda daha aktif ürünleri en iyi yere yerleştirmenin etkinliği üzerinde durmuşlardır. Depo içindeki devir hızları farklı olan ürünlerin Uçan-V ve Balık Kılıcı tasarımlardaki toplanma performansları incelenmiş ve eşdeğer geleneksel tasarıma sahip bir depo için elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bortolini vd. [11] çalışmalarında tek duraklı seyahatin söz konusu olduğu tek G/Ç noktasına sahip geleneksel bir depoya iki, dört ya da altı adet geçiş koridoru ekleyerek geleneksel olmayan depo tasarımları elde etmişler ve bu tasarımların ortalama seyahat uzunluğu performansını incelemiştir. Elde edilen koridor tasarımları ile ortalama seyahat mesafesinde %7 ile %17 arasında daha iyi sonuç elde edilmiştir. Galvez ve Ting [12] Balık Kılıcı koridor tasarımını modifiye ederek çok giriş/çıkış kapısı olan depolarda incelemiştir. Giriş/çıkış noktasının birden fazla olduğu durumlarda, noktalardan bir tanesi alt ana koridorun tam ortasında, diğerleri üst ana koridorda olduğunda tasarım eşdeğer geleneksel tasarıma göre daha iyi sonuç vermektedir. Çelik ve Süral [13] çalışmalarında, rastgele ve devir hızına dayalı depolama politikaları altında, çoklu sipariş toplama (multi-command) problemi söz konusu olduğu durumda Balık Kılıcı depo tasarımını incelemiştir. Henn vd. [14] çalışmalarında, manuel sipariş toplama sisteminde U şeklindeki koridor tasarımını incelemiştir. Öztürkoğlu [15] çalışmada, Öztürkoğlu vd. [8] çalışmada geliştirdikleri Leverage tasarımını, çok giriş/çıkış kapısı olduğu durumda tek duraklı seyahat problemleri için değerlendirmiştir. Cardona, Rivera ve Martinez [16] çalışmalarında bir adet G/Ç kapısı olan bir depoda, rastgele depolama politikası altında tek duraklı seyahat problemleri için Balık Kılıcı Koridor tasarımının performansını ortalama tur uzunluğu açısından modellemiş ve geleneksel tasarım sonuçları ile karşılaştırmıştır.

Görüldüğü üzere literatür çalışmalarının bir kısmı depoda bir adet G/Ç noktası olduğu varsayımı altında ele alınmıştır bir kısmı ise çok sayıda G/Ç noktası olduğu varsayımı ile ele alınmıştır. Depolarda G/Ç noktasının birden fazla olması durumunda mal kabul kapıları ve sevkiyat kapıları arasındaki malzeme akışından kaynaklanan iş gücü maliyetini minimum kılacak şekilde kapı tır atama modelleri geliştirilmiştir. Örneğin, Tsui ve Chang [17] çalışmalarında deponun karşılıklı duvarlarında yer alan kapıların, mal



(a) Uçan-V Koridor Tasarımı (Flying-V design)



(b) Balık Kılıcı Koridor Tasarımı (Fishbone design)

Şekil 2. Geleneksel olmayan depolarda koridor tasarımları (Aisle design in non-traditional warehouses)

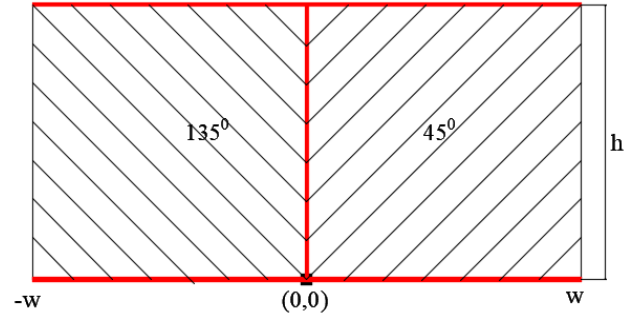
kabul ve sevkiyat işlemlerine tahsisi konusunu ele almışlardır. Atama probleminin çözümünde kapılar arasındaki toplam taşıma mesafesinin minimize edilmesini sağlayan model geliştirilmiştir. Gue [18] çalışmasında, depoya gelen kamyonların ürün boşaltması için uygun kapılarına atanması modelini depo çalışanlarının kat ettikleri mesafeyi minimize edecek şekilde geliştirmiştir.

Geliştirilen model işgücü maliyetlerinin %15-20 oranında azalmasını sağlamıştır. Bartholdi ve Gue [19] çalışmalarında mal kabul ve sevkiyat kapıları arasındaki hem malzeme akış trafiğindeki tıkanmaları azaltacak hem de malzeme seyahat sürelerini en aza indireyecek depo yerleşim düzeni önermişlerdir. Geliştirilen model ile işgücü verimliliğinde %11,7 oranında artış olduğu saptanmıştır. İşgücü verimliliğindeki bu artış firma için yıllık \$67.000 civarında tasarruf sağlanmasına neden olmuştur. Bozer ve Carlo [20] çalışmalarında 12 ve 96 arasında değişen sayıda kapısı olan, dikdörtgen şeklindeki çapraz sevkiyat depolarında mal kabul ve sevkiyat noktaları arasındaki malzeme akışının neden olduğu iş gücü maliyetini minimize eden model geliştirmişlerdir. Modelde iki farklı malzeme akışı politikası altında çalışılmıştır. Biri her mal kabul noktasından her sevkiyat noktasına eşit miktarda malzeme ulaştırılması şeklindedir, ikincisi ise kapılar arasındaki malzeme akışının stok devir hızına göre tasarlanması şeklindedir. Acar vd. [21] çalışmalarında 20 adet G/Ç kapısı olan bir depoda mal kabul kapılarının atıl sürelerini eşit dağılmasını sağlayacak şekilde 200 adet tırın rampalara atanması üzerine çalışmışlardır.

Literatürde yer alan koridor tasarımı konularındaki çalışmalara bakıldığında pek çoğunun depolarda bir tek kapı olduğu varsayımı ile ele alındığı görülmüştür. Az sayıda çalışmada birden çok depo kapısı varsayımı söz konusudur. Yapılan çok kapılı çalışmalarda da problem genellikle ayrık uzayda modellenmiştir. Mevcut çalışmada ise farklı büyüklükte, farklı kapı sayısına sahip, farklı akış politikaları altında, farklı depolara kolaylıkla uygulanabilecek sürekli depo uzayında tanımlanan depolar için matematiksel model geliştirilmiştir. Bununla birlikte alan kayıplarını göz önünde bulundurarak değerlendirme yapabilmek için aynı problem bir de ayrık depo uzayında çalışılmıştır.

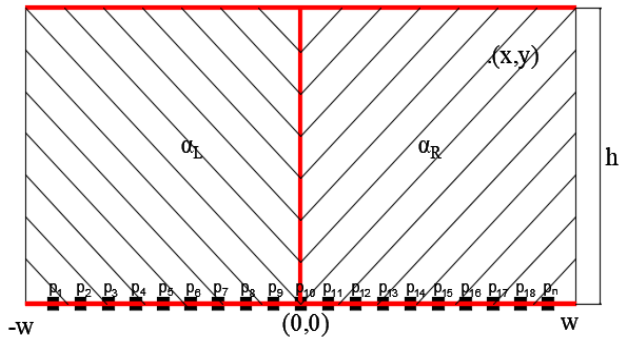
3. SÜREKLİ DEPO YERLEŞİM DÜZENİ MODELİ (CONTINUOUS WAREHOUSE LAYOUT MODEL)

Bu çalışmada, daha önce de bahsedildiği üzere, Öztürkoglu vd. [6] 'nin geliştirdiği Chevron tasarımı ele alınmıştır. Chevron'da yerleşim düzeni, Şekil 3'te de görüldüğü üzere, depoyu tam ortadan ikiye bölen dik bir orta ana koridor ve bu koridorun sağ ve sol bölgelerinde 45 ve 135 derecelik mal toplama koridorları ile tanımlanmıştır. Bir tane olan mal kabul ve sevk noktası ise dik ana koridorun hemen önünde yer almaktadır. Öztürkoglu vd. [6] bütün mal akışının bu mal kabul ve sevk noktasından yapıldığı varsayımı altında, Chevron tasarımının geleneksel tasarıma göre tek duraklı seyahat mesafesinde %17 civarında bir iyileştirme sunduğunu göstermiştir.



Şekil 3. Chevron koridor yerleşimi (Chevron aisle layout)

Bir önceki bölümde de bahsedildiği üzere, depolarda genellikle birden fazla mal kabul ve sevk noktası bulunmaktadır. Bundan dolayı, biz bu çalışmada Chevron tasarımında ön ana koridor üzerinde birden fazla mal kabul ve sevk noktası olması durumunda bu tasarımın geleneksel tasarıma göre tek duraklı seyahat mesafesi açısından bir iyileştirme sunup sunmadığını araştırmayı hedefledik. Buna göre, Chevron tasarımının ve ön kapı üzerine yerleştirilebilecek mal kabul/sevk noktalarının temsili gösterimi Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Sürekli uzayda depo modeli
(Warehouse model in continuous space)

Şekil 4'te görülen sürekli uzayda ifade edilen depoda kalın çizgiler ana koridorları, ince çizgiler ise mal toplama koridorlarını temsil etmektedirler. Sürekli uzayda olduğu için bunlardan sonsuz tane bulunmaktadır. Deponun tam ortasından geçen ve depoyu iki eşit parçaya bölen bir adet ana koridor bulunmaktadır. Bu koridorun sağ ve sol tarafında bulunan mal toplama koridorlarının açısı ise genel olarak α_R ve α_L ile ifade edilmiştir. Bu çalışmada, depo boyutlarının da Chevron tasarımının performansının üzerinde etkisinin olup olmadığını araştırmak için üç farklı şekilde depo ele alınmıştır. Bu depo şekilleri deponun eninin boyuna oranı (en/boy) ile temsil edilmiş olup, sırasıyla 1/1, 2/1 ve 3/1 depo boyutları kullanılmıştır. Doğru karşılaştırma sunabilmek açısından, depo kapasiteleri eşit olacak şekilde belirlenen oranlara göre depo en boy uzunlukları tespit edilmiştir. Ayrıca, uygun karşılaştırma açısından bu en/boy oranlarına sahip depolarda Chevron tasarımının önerdiği en iyi mal toplama koridor açıları Öztürkoglu vd. [6] 'nin çalışmasında yer alan denklem kullanılarak hesaplanmıştır. 2/1 depolardaki açılar bilindiği için, en boy oranı 1/1 ve 3/1 olan depolarda (α_R ; α_L) değerleri hesaplanmış ve sırasıyla (57,26; 122,74) ve (37,5; 142,5) derece olarak belirlenmiştir.

Deponun sağ ve sol bölgesindeki koridor açıları orta ana koridora göre simetriktir. Bu nedenle deponun sol yarısında yer alan bir kapıdan depo içindeki herhangi bir (x,y) noktasına ulaşmak için kat edilen ortalama mesafe, deponun sağ yarısında soldaki kapıya simetrik olarak bulunan bir kapıdan (x,y)'nin orta ana koridora göre simetriği olan bir noktaya ulaşmak için kat edilen ortalama mesafeye eşittir. Bu nedenle, sunum ve hesaplamalara sadelik kazandırmak açısından mesafe denklemleri sadece deponun sağ yarısındaki G/Ç noktaları için ele alınacaktır. Sadece deponun tam ortasında yer alan G/Ç noktasından depo içindeki ürün lokasyonlarına ulaşmak için kat edilen mesafeyi hesaplamak için bir denklem geliştirilmemiştir, onun için Öztürkoğlu vd. [6] 'nin çalışmasındaki denklem kullanılmıştır. Diğer G/Ç noktalarından gerçekleşen seyahatler farklı seyahat örüntülerine sahip olduğu için bu çalışmada bunlara ait denklemler geliştirilmiştir. Buna göre, ürün lokasyonlarının sürekli olduğu depo alanında herhangi bir (x,y) noktasına ulaşmak için kat edilmesi gereken mesafe $f(x,y)$ denklemi ile ifade edilsin. Buna göre, depo alanındaki herhangi bir noktaya ulaşmak için kat edilmesi gereken ortalama mesafe, depo içindeki tüm noktalara ulaşmak için kat edilen toplam mesafenin depo alanına bölünmesi ile elde edilmiş ve Eş. 1 'de gösterilmiştir. Bu modeldeki temel varsayım, ürün yerleştirme için rasgele depolama politikasının uygulandığıdır. Chevron tasarımının geliştirilmesinde ve sektörde en yaygın şekilde kullanılan depo politikası rasgele ürün yerleştirme olduğu için bu çalışmada da bu politika kullanılmıştır.

$$E[D] = \frac{\int_x \int_y f(x,y) dy dx}{2 w h} \quad (1)$$

Sürekli depo modelinde bir depo kapısından depo alanı içindeki tüm noktalara ulaşmak için kat edilen toplam mesafeyi hesaplamak için Şekil 5'te görüldüğü gibi depo alanı küçük bölümlere ayrılmıştır. Bu ayrımın sebebi bu bölgelerdeki seyahat örüntülerinin benzer olması ve ileride hesaplanacak olan denklemlerin üretilmesi açısından gerekli olmasıdır. Depoda bulunan kapıların lokasyonları Eş. 2'de gösterilen denklem ile hesaplanmaktadır. Farklı en boy oranlarına sahip her üç depoda A harfi ile ifade edilen bölgelerde bulunan herhangi bir (x,y) noktasına ulaşmak için kat edilen mesafe Eş. 3 ile hesaplanmaktadır. B, C, D, E harfleri ile ifade edilen bölgelerde bulunan herhangi bir (x,y) noktasına ulaşmak için kat edilen mesafeler sırasıyla Eş. 4, Eş. 5, Eş. 6 ve Eş. 7 ile hesaplanmaktadır. Denklemlerdeki $p(i)$, i. G/Ç kapısını ifade etmektedir.

n: G/Ç kapı sayısı

a: G/Ç kapıları arasındaki mesafe

$$p(i) = a \cdot i, \quad i=1 \dots n \quad (2)$$

$$T_A(x,y) = (x-p(i)) - \frac{y}{\tan(\alpha_R)} + \frac{y}{\sin(\alpha_R)} \quad (3)$$

$$T_B(x,y) = (p(i)-x) + \frac{y}{\tan(\alpha_R)} + \frac{y}{\sin(\alpha_R)} \quad (4)$$

$$T_C(x,y) = p(i) + (y-x \tan(\alpha_R)) + \frac{x}{\cos(\alpha_R)} \quad (5)$$

$$T_D(x,y) = p(i) + (y+x \tan(\pi-\alpha_L)) - \frac{x}{\cos(\pi-\alpha_R)} \quad (6)$$

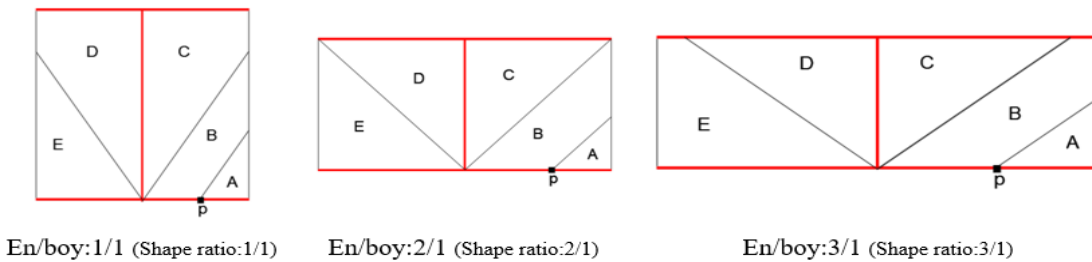
$$T_E(x,y) = p(i) - x - \frac{y}{\tan(\pi-\alpha_L)} + \frac{y}{\sin(\pi-\alpha_R)} \quad (7)$$

A, B, C, D ve E harfleri ile ifade edilen bölgelerin büyüklüğü ve sınırları üç farklı en boy oranındaki depoda birbirinden farklıdır. Bu nedenle A diye adlandırılan bölge her üç depoda farklı sınırlar ile ifade edilmektedir. Aynı durum B, C, D ve E bölgeleri için de geçerlidir. Bu durumda her bir farklı en boy oranındaki depo için birbirinden farklı toplam mesafe denklemleri oluşturulmuştur. Örneğin, en boy oranı 1/1 olan bir depoda, herhangi bir kapıdan depo içindeki herhangi bir noktaya ulaşmanın ortalama mesafesi $E[D1]$ ile gösterilmekte ve Eş. 19 ile hesaplanmaktadır. Deponun herhangi bir kapısından depo içindeki herhangi bir ürün lokasyonuna ulaşmak için kat edilmesi gereken ortalama mesafe, depoda bulunan tüm kapılardan depo içindeki tüm ürün lokasyonlarına ulaşmak için kat edilen toplam mesafenin alana ($2 w h$) ve kapı sayısına (n) bölünmesi ile elde edilmektedir. Ortalama seyahat mesafelerin hesaplanmasında kullanılan, depodaki küçük bölgelerin sınırlarını ifade eden doğru denklemleri Eş. 8, Eş. 9, Eş. 10, Eş. 11, Eş. 12, Eş. 13, Eş. 14, Eş. 15, Eş. 16, Eş. 17 ve Eş. 18 ile gösterilmiştir. Bu denklemlerde kullanılan parametrelerde aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. $y^{(1)}, y^{(2)}, y^{(3)}, y^{(4)}, y^{(5)}, y^{(6)}$ ve $y^{(7)}$ numaralı denklemler ile ifade edilen doğrular Şekil 6'da gösterilmiştir.

q_L : Sol üst köşe noktasından α_L açısı ile çizilen doğrunun x eksenini kestiği nokta.

q_R : Sağ üst köşe noktasından α_R açısı ile çizilen doğrunun x eksenini kestiği nokta.

γ_L : Orta geçiş koridorunun başlangıç noktası ile deponun sol üst köşe noktası arasında kalan doğrunun açısı.



Şekil 5. Depoların bölgelere ayrılması (Partitioning of the warehouses)

γ_R : Orta geçiş koridorunun başlangıç noktası ile deponun sağ üst köşe noktası arasında kalan doğrunun açısı.

$$q_L = -w + \frac{h}{\tan(\pi - \alpha_L)} \quad (8)$$

$$q_R = w - \frac{h}{\tan(\alpha_R)} \quad (9)$$

$$\gamma_L = \pi - \text{ArcTan}\left(\frac{h}{w}\right) \quad (10)$$

$$\gamma_R = \text{ArcTan}\left(\frac{h}{w}\right) \quad (11)$$

$$y^{(1)} = (x^{(1)} - p(i)) \tan(\alpha_R) \quad (12)$$

$$y^{(2)} = (x^{(2)} - m) \tan(\alpha_R) \quad (13)$$

$$y^{(3)} = (x^{(3)} - m) \tan(\gamma_R) \quad (14)$$

$$y^{(4)} = (x^{(4)} - m) \tan(\gamma_L) \quad (15)$$

$$y^{(5)} = (x^{(5)} - m) \tan(\alpha_L) \quad (16)$$

$$y^{(6)} = (x^{(6)} - q_R) \tan(\alpha_R) \quad (17)$$

$$y^{(7)} = (x^{(7)} - q_L) \tan(\alpha_L) \quad (18)$$

$$E[D1] = \frac{1}{2whn} \left(\int_{x=p(i)}^w \int_{y=0}^{y^{(1)}} T_A(x,y) dy dx + \int_{x=m}^{p(i)} \int_{y=0}^{y^{(2)}} T_B(x,y) dy dx + \int_{x=p(i)}^w \int_{y=y^{(1)}}^{y^{(2)}} T_B(x,y) dy dx + \int_{x=m}^w \int_{y=y^{(2)}}^h T_C(x,y) dy dx + \right.$$

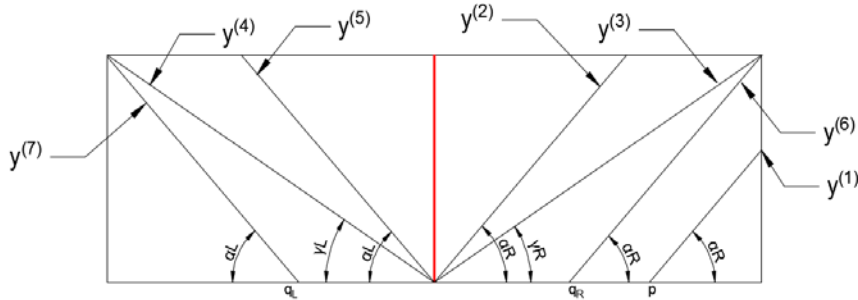
$$\left. \int_{y=0}^h \int_{x=m}^{x^{(3)}} T_C(x,y) dx dy + \int_{y=0}^h \int_{x=x^{(4)}}^m T_D(x,y) dy dx + \int_{x=-w}^m \int_{y=y^{(5)}}^{y^{(4)}} T_D(x,y) dx dy + \int_{x=-w}^m \int_{y=0}^{y^{(5)}} T_E(x,y) dx dy \right) \quad (19)$$

En boy oranı 2/1 olan bir depoda herhangi bir kapıdan depo içindeki herhangi bir noktaya ortalama ulaşım mesafesi E[D2] ile ifade edilmekte ve Eş. 20 ile hesaplanmaktadır.

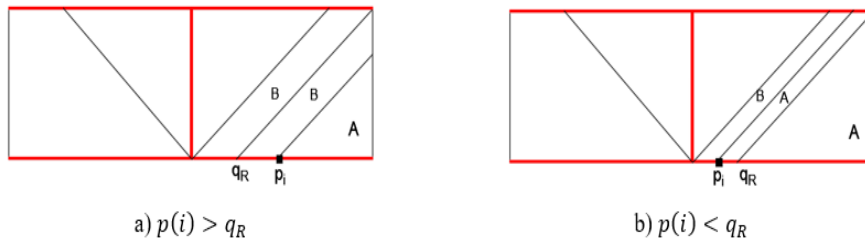
$$E[D2] = \frac{1}{2whn} \left(\int_{x=p(i)}^w \int_{y=0}^{y^{(1)}} T_A(x,y) dy dx + \int_{x=m}^{p(i)} \int_{y=0}^{y^{(2)}} T_B(x,y) dy dx + \int_{x=p(i)}^w \int_{y=y^{(1)}}^{y^{(2)}} T_B(x,y) dy dx + \int_{x=m}^w \int_{y=y^{(2)}}^h T_C(x,y) dy dx + \int_{x=-w}^m \int_{y=y^{(5)}}^h T_D(x,y) dx dy + \int_{x=-w}^m \int_{y=0}^{y^{(5)}} T_E(x,y) dx dy \right) \quad (20)$$

En boy oranı 3/1 olan bir depoda herhangi bir kapıdan depo içindeki herhangi bir noktaya ulaşmak için kat edilmesi gereken mesafe kapının q_R noktasının neresinde olduğuna bağlı olarak değişmektedir. q_R noktası, sağ üst köşe noktasından α_R açısı ile çizilen doğrunun x eksenini kestiği nokta olarak tanımlanmıştır. A ve B harfleri ile ifade edilen bölgelerin büyüklükleri, kapının q_R noktasındaki konumuna göre değişmektedir. Bu nedenle eğer Şekil 7’de görüldüğü gibi kapı, q_R den büyükse ortalama seyahat mesafesi E[D3a] ile ifade edilip Eş. 21 ile hesaplanmaktadır ancak küçükse E[D3b] ile ifade edilmekte ve Eş. 22 ile hesaplanmaktadır. Daha önce belirtilmiş ilgili koridor açılarının Eş. 19, Eş. 20, Eş. 21 ve Eş. 22’de yerine konulması ile sırasıyla Eş. 23, Eş. 24, Eş. 25 ve Eş. 26 elde edilmiştir.

$$E[D3a] = \frac{1}{2whn} \left(\int_{x=p(i)}^w \int_{y=0}^{y^{(1)}} T_A(x,y) dy dx + \int_{x=p(i)}^{q_R} \int_{y=0}^{y^{(6)}} T_B(x,y) dy dx \right.$$



Şekil 6. Bölge sınırlarını ifade eden doğruların gösterimi (Representation of lines indicating borders of regions)



Şekil 7. En boy oranı 3/1 olan depolarda bölgelere ayırma (Partitioning in the 3/1 warehouses)

$$\int_{x=p(i)}^w \int_{y=y(1)}^{y(6)} T_B(x,y) dy dx + \int_{y=0}^h \int_{x=x(2)}^{x(6)} T_B(x,y) dx dy + \int_{y=0}^h \int_{x=m}^{x(2)} T_C(x,y) dx dy + \int_{y=0}^h \int_{x=x(5)}^m T_D(x,y) dy dx + \int_{y=0}^h \int_{x=x(7)}^{x(5)} T_E(x,y) dx dy + \int_{x=-w}^{q_L} \int_{y=0}^{y(7)} T_E(x,y) dx dy \quad (21)$$

$$E[D3b]= \frac{1}{2whn} \left(\int_{x=q_R}^w \int_{y=0}^{y(6)} T_A(x,y) dy dx + \int_{y=0}^h \int_{x=x(1)}^{x(6)} T_A(x,y) dy dx + \int_{y=0}^h \int_{x=x(2)}^{x(1)} T_B(x,y) dy dx + \int_{y=0}^h \int_{x=m}^{x(2)} T_C(x,y) dx dy + \int_{y=0}^h \int_{x=x(5)}^m T_D(x,y) dy dx + \int_{y=0}^h \int_{x=x(7)}^{x(5)} T_E(x,y) dx dy + \int_{x=-w}^{q_L} \int_{y=0}^{y(7)} T_E(x,y) dx dy \right) \quad (22)$$

$$E[D1]= \frac{1}{2whn} (0.64.80 i^3 + h^2 w + 38.88 i^2 w + i(1.1h - 7.78 w)w + 0.29 h w^2 + 0.367 w^3) \quad (23)$$

$$E[D2]= \frac{1}{2whn} \left(\frac{125}{6} (2+\sqrt{2}) i^3 + \frac{1}{3} h^2 (h + \sqrt{2}h + 15i) - \frac{1}{6} (1+\sqrt{2})(5i-w)^3 + \frac{5}{2} i(5i-w)(5i+\sqrt{2}w) + \frac{1}{6} w^2 (15i+w+\sqrt{2}w) \right) \quad (24)$$

$$E[D3a]= \frac{1}{2whn} (0.028h^3 - 31.97i^3 + 19.18 i^2 w - 3.84 i w^2 + 0.256 w^3 + h^2 (1.78 \times 10^{-15} i + 1.64 w) + h i (-7.10 \times 10^{-15} i + 10.00 w)) \quad (25)$$

$$E[D3b]= \frac{1}{2whn} (0.29 h^3 + h^2 (6.52 i + 0.34 w) + 4.81 \times 10^{-17} w^3 + h(25.i^2 + 0.99 w^2)) \quad (26)$$

Herhangi bir depo kapısından herhangi bir ürün lokasyonuna ulaşmak için kat edilmesi gereken mesafeleri hesaplamak için sürekli depo yerleşim düzeninde, matematiksel denklemler geliştirilmiştir. Bu denklemler, daha önce literatürde geliştirilen tek G/Ç noktalı modellerden farklı olup, Chevron yerleşim düzeninde farklı G/Ç sayı ve yerleşimleri, farklı depo boyutları ve farklı malzeme akış politikalarını değerlendirme ve hızlıca hesaplama yapabilmek açısından esnek modeller sunmaktadır. Ancak, sürekli depo yerleşim düzeninde koridor genişliklerinin dikkate alınmaması bu modeller ile elde edilen seyahat sürelerinin gerçek depo koşullarına göre daha iyimser olmasına neden olmaktadır. Böylece, sürekli uzayda geliştirilen modellerin gerçekçi bir şekilde değerlendirilmesinin yapılabilmesi ve koridorların neden olduğu alan kayıplarını görebilmek açısından bu çalışmada Chevron tasarımı belirlenen tasarım parametreleri dâhilinde ayrık yerleşim düzenine sahip olacak şekilde de modellenmiştir.

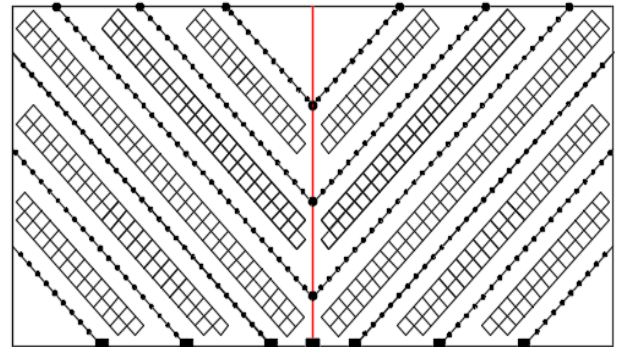
4. AYRIK DEPO YERLEŞİM DÜZENİ MODELİ (DISCRETE WAREHOUSE LAYOUT MODEL)

Öztürkoğlu vd. [6] çalışmasında farklı büyüklükte depolarda bir ana koridorun, iki ana koridorun ve üç ana koridorun söz

konusu olduğu durumlar için sürekli depo uzayında model geliştirmiş ve çözüm elde etmiştir. Ana koridor sayısı arttıkça ortalama seyahat mesafelerinin daha iyi olduğu saptanmıştır ancak eklenen her ana koridor depoda kullanılabilir alan kaybına ve eklenen her ana koridor giriş/çıkış kapısından uzaktaki ürün lokasyonlarının daha da uzakta kalmasına neden olmuştur. Alan kayıplarının da probleme dâhil edilebilmesi için aynı problem bir de ayrık uzayda modellenmiştir.

Ayrık uzayda modelleme için Öztürkoğlu vd. [8]'nin depolarda genel bir yerleşim düzeni oluşturmak ve bu depoların ağ yapısını geliştirmek için tanımladıkları algoritma esas alınmıştır. Buna göre, öncelikle orta ana koridorun sağ ve sol bölgesinde belirtilen mal toplama koridorlarının açılına göre lokasyonların yerleri tespit edilmiştir. Lokasyonların yerleştirilmesi esnasında sırt-sırt raf sistemi esas alınmıştır. Böylece, mal toplama koridorlarının üzerinde koridorun sağında ve/veya solunda bulunan lokasyona erişim düğümleri belirlenmiştir. Ayrıca, mal toplama koridorlarının orta, ön ve arka ana koridorlar ile kesişimleri de hesaplanarak, bu noktalar seyahat düğümleri olarak adlandırılmıştır.

Erişim ve seyahat düğümleri deponun yerleşim düzenini temsil edecek şekilde uygun bağlar ile bağlanmış ve birbirini takip eden iki bağ arasındaki mesafe bu bağların ağırlığı olarak atanmıştır. Böylece, depo yerleşim düzeninin ağ yapısı bağlantılı bir çizge olarak ifade edilmiştir (örnek için bakınız Şekil 8). Ayrık uzayda modelleme aşamasında koridorların yarattığı alan kayıplarının telafi edilebilmesi için depo ölçüleri sürekli uzaydakine göre biraz daha büyük ancak eşit kapasiteli olacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 8. Ayrık uzayda depo modeli (Warehouse model in discrete space)

Her üç en boy oranına sahip depo için ölçüler belirlenmiş ve Şekil 8'de görüldüğü üzere grafik gösterime dönüştürülmüştür. Her bir en boy oranı için sürekli uzayda elde edilen model ile belirlenen en iyi açılar kullanılarak, Eş. 27 ile depo kapısı ile ürün lokasyonu arasındaki ortalama mesafeler elde edilmiştir. Çizge üzerinde lokasyonları temsil eden erişim düğümleri ile G/Ç noktalarını temsil eden düğümler arasındaki en kısa mesafeyi hesaplamak için de Dijkstra'nın en kısa yol algoritması kullanılmıştır.

$$E[C] = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \frac{d_{ij} p_i}{k} \quad (27)$$

j: Ürün lokasyonu indeksi
k: Ürün lokasyon sayısı
i: Giriş/çıkış kapı indeksi
n: Giriş/çıkış kapısı sayısı
 p_i : i. kapının ziyaret edilme olasılığı
 d_{ij} : i. kapı ile j. lokasyon arasındaki mesafe

5. MALZEME AKIŞ POLİTİKALARI (MATERIAL FLOW POLICIES)

Literatürde yapılan çalışmalarda çoğunlukla bir adet G/Ç noktası olan depoların seyahat mesafeleri açısından performansları incelenmiştir. Örneğin; Gue ve Meller [4], Öztürkoğlu, Gue, Meller [5], Roodbergen ve De Koster [22], Roodbergen ve De Koster [23], Pohl, Meller ve Gue [9], Pohl, Meller ve Gue [10]. Ancak Galvez ve Ting [12] çalışmalarında depolarda bir adet G/Ç kapısı olmasının çok avantajlı olmadığını ortaya koymuştur. Endüstride kullanılan depolarda mal kabul ve sevkiyat işlemlerinin daha hızlı yapılabilmesi için birden fazla depo kapısı tercih edilmektedir. Kapı sayısı birden fazla olan depolarda mal kabul ve sevk işlemlerinin her kapıda malzeme akış yoğunluğu eşit olacak şekilde yapılmaktadır ancak malzeme akış yoğunluğu her kapıda eşit olmayacak şekilde de kabul ve sevk işlemleri yapılabilmektedir. Bazı ürünlerin sevkiyat aşamasından önce ambalajlama / paketleme gibi özel bir işlem gerektirmesi ve bu işlemi gerçekleştirecek ekipman sayısının az olması nedeniyle ekipman tüm kapılara eşit uzaklıkta olması için merkez kapıya yerleştirilebilir. Ekipmanın merkez kapıda olması merkez kapının diğer kapılara göre daha çok kullanılmasına neden olmaktadır dolayısı ile merkezdeki kapıda diğer kapılara göre daha yoğun malzeme akışı gözlemlenebilmektedir. Endüstride bu gibi durumların sıklıkla yaşanıyor olmasından dolayı bu çalışmada “eşit malzeme akış” politikası yanı sıra “merkez yoğun malzeme akış” politikası ele tanımlanmıştır.

Bu politika aynı zamanda depo kapılarından merkezde olanların sevkiyat, yanlarda olanların mal kabul için ayrıldığı ya da tam tersi durumlarda ya da kapıların firmalara özel olarak tahsis edildiği durumlarda da uygulanmaktadır. Her iki malzeme akış politikası Şekil 9'da görülmektedir. Eşit akış politikası altında tüm kapılardaki malzeme akış oranının eşit olduğu varsayılmıştır. Merkez yoğun akış politikasında ise kapılar arasındaki malzeme akış farkının doğrusal olduğu varsayımı ile akış oranları belirlenmiştir. Bir birini takip eden iki kapı arasındaki akıştaki fark g, tüm kapılardan geçen toplam malzeme miktarı F ile ifade edilmiş olsun. Buna göre F Eş. 28 ile hesaplanmaktadır. Şekil 10'da görüldüğü üzere merkez kapıdaki malzeme akış oranı A_0 ile ifade edilmiş ve Eş. 29 ile hesaplanmıştır. Merkez kapının sağında ve solunda yer alan kapılar simetrik olarak yerleştirilmiş ve simetrik kapılar aynı indis ile gösterilmek üzere i. kapıdaki malzeme akış yoğunluğu A_i ile tanımlanmıştır.

$$F = A_0 + 2 \sum_{i=1}^n A_i \quad (28)$$

$$A_0 = \frac{F + gn(n+1)}{2n+1} \quad (29)$$

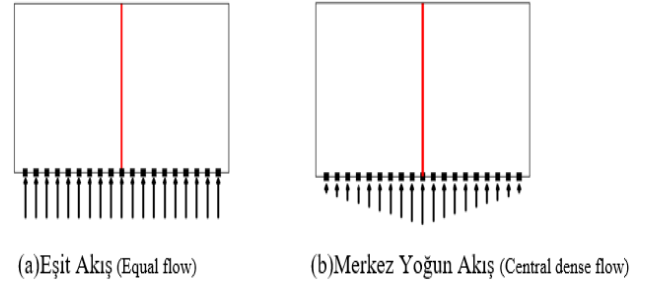
$$A_i = A_0 - ig \quad (30)$$

noPD: Depodaki toplam kapı sayısı

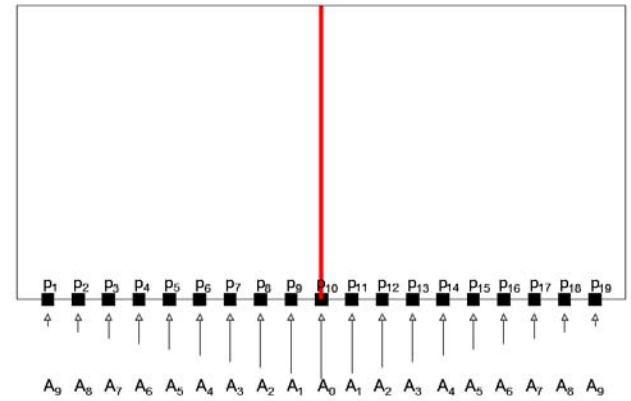
n: Merkez kapının sağında veya solunda kalan kapı sayısı

$n = (\text{noPD} - 1) / 2$

i = Kapı indeksi, $i = 0, 1, 2, \dots$



Şekil 9. Malzeme akış politikaları (Material flow policies)



Şekil 10. Merkez yoğun akış (Central dense flow)

Toplam malzeme akışı %100 yoğunluk ile tanımlanacak olursa, her bir kapıdan gerçekleşecek malzeme akış yoğunluğunun (A_i) merkezden yanlara gittikçe azaldığı durumda, her bir kapıdan gerçekleşen malzeme akış yoğunluğu verilen kapı sayısı için Eş. 30 kullanılarak hesaplanacaktır.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

6.1. Sürekli Depo Yerleşim Düzeni Modeli Sonuçları (Results Of Continuous Warehouse Layout Model)

Çalışmada farklı büyüklükteki depolarda birden çok giriş/çıkış (G/Ç) kapısı olması halinde Chevron tasarımın ortalama seyahat mesafesi açısından performansını incelenmiştir. Chevron koridor yerleşimine sahip 3 farklı en boy oranındaki depo ele alınmış, sürekli uzayda modellenmiş ve her biri için ortalama seyahat mesafeleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar önce deponun tüm kapılarındaki malzeme akış yoğunluğunun eşit olduğu

varsayımı ile hesaplanmış daha sonra kapılardaki malzeme akış yoğunluğunun merkez kapıda fazla, diğer kapılara gittikçe azaldığı varsayımı altında hesaplanmıştır. Farklı en boy oranına sahip her üç deponun sürekli uzayda tanımlı kapasitesi birbirine eşit olacak şekilde 5000 birim² olarak belirlenmiştir. En boy oranı 1/1 olan depoda deponun eni (2w) 70,7 birim, boyu (h) 70,7 birim olarak belirlenmiştir. En boy oranı 2/1 olan depoda, deponun eni 100 birim, boyu 50 birim olarak belirlenmiştir. En boy oranı 3/1 olan depoda en ve boy sırasıyla 122,4 ve 40,8 birim olarak belirlenmiştir. Bu durumda en boy oranı 1/1 olan bir depo için kapı sayısı 1 ile 13 arasında, en boy oranı 2/1 olan bir depo için kapı sayısı 1 ile 19 arasında ve en boy oranı 3/1 olan bir depo için kapı sayısı 1 ile 23 arasında olacak şekilde çalışılmıştır. Bu depolarda kapılardaki malzeme akış oranları belirtilen kapı sayılarına göre Eş. 30 kullanılarak hesaplanmış ve bunlar Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 1. En boy oranı 1/1 olan depolarda malzeme akış oranları (Material flow rates in warehouses with shape ratio 1/1)

	Kapı sayısı						
	1	3	5	7	9	11	13
A0	100	34	21	15	13	11	10
A1		33	20	15	12	10	9
A2			19	14	11	10	9
A3				13	11	9	8
A4					10	8	7
A5						8	6
A6							6

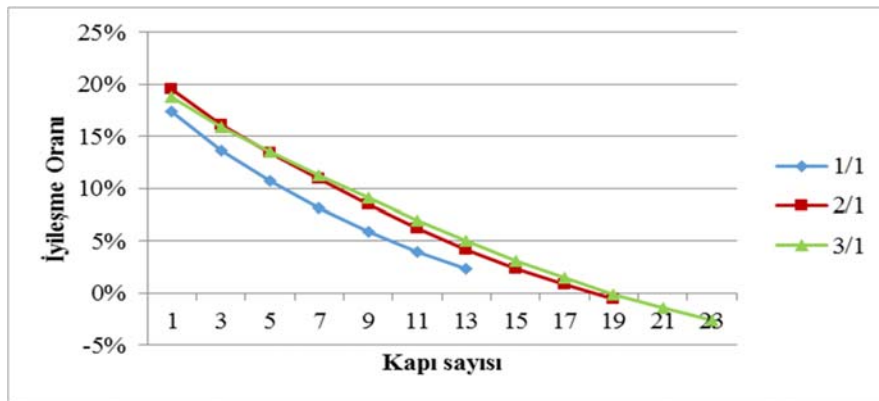
Tablo 2. En boy oranı 2/1 olan depolarda malzeme akış oranları (Material flow rates in warehouses with shape ratio 2/1)

	Kapı Sayısı									
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
A0	100	34	21	15	13	11	10	9	9	9
A1		33	20	15	12	10	9	9	8	8
A2			19	14	11	10	9	8	7	7
A3				13	11	9	8	7	7	6
A4					10	8	7	6	6	6
A5						8	6	6	5	5
A6							6	5	5	4
A7								4	4	4
A8									3	3
A9										2

Tablo 3. En boy oranı 3/1 olan depolarda malzeme akış oranları (Material flow rates in warehouses with shape ratio 3/1)

	Kapı Sayısı											
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
A0	100	34	21	15	13	11	10	9	9	9	8	8
A1		33	20	15	12	10	9	9	8	8	8	8
A2			19	14	11	10	9	8	7	7	7	7
A3				13	11	9	8	7	7	6	6	6
A4					10	8	7	6	6	6	6	6
A5						8	6	6	5	5	5	5
A6							6	5	5	4	4	4
A7								4	4	4	4	3
A8									3	3	3	3
A9										2	2	2
A10											1	1
A11												1

Chevron koridor tasarımının ortalama seyahat mesafesi açısından performansının değerlendirilebilmesi için eş değer büyüklükte geleneksel koridor tasarımına sahip depolar için ortalama seyahat mesafeleri elde edilmiştir. Tek bir G/Ç noktasının olduğu depolardaki analiz Öztürkoğlu vd.'nin çalışması esas alınarak yapılmış ve elde edilen iyileştirmelerin bir kısmı bu çalışmada sunulmuştur. Şekil 11'de görüldüğü üzere elde edilen sonuçlara göre en boy oranı 1/1 olduğu durumda Chevron koridor tasarımının geleneksel koridor tasarımına göre ortalama seyahat mesafesi açısından avantajı %2 ile %17 arasında değişmektedir. Depoda bir adet G/Ç noktası olduğunda Chevron tasarımın geleneksel tasarıma göre avantajı %17 iken bu oran kapı sayısı arttıkça azalmaktadır. Depoda 13 adet G/Ç noktası olduğunda avantaj %2 ye kadar düşmektedir. En boy oranı 2/1 olan bir depo için Chevron tasarımın geleneksel tasarıma göre ortalama seyahat mesafesi açısından avantajı %-1 ile %20 arasında değişmektedir. Depoda bir adet giriş çıkış kapısı olduğu durumda Chevron tasarımın geleneksel tasarıma göre %20 oranında avantaj sağlar iken bu oran kapı sayısı arttıkça azalmaktadır. 19 kapılı bir depoda 19. kapı söz konusu olduğunda geleneksel tasarımın daha kısa seyahat mesafesi sağladığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç beklenen bir sonuçtur çünkü Chevron koridor tasarımı merkezde tek kapısı olan depolar için geliştirilmiş bir tasarımdır. En boy oranı 3/1 olduğu durumda Chevron koridor tasarımının geleneksel



Şekil 11. Eşit akış politikası altında chevron yerleşimin geleneksel yerleşime göre avantajı (Advantage of chevron layout over traditional layout under equal flow policy)

koridor tasarımına göre ortalama seyahat mesafesi açısından avantajı %3 ile %19 arasında değişmektedir. Yani 23 adet kapısı olan 3/1 en boy oranına sahip bir depoda Chevron tasarım 19 kapıya kadar avantaj sağlarken 19. kapıdan sonra geleneksel tasarım daha avantajlı hale gelmektedir. Üç farklı büyüklükteki depolar için elde edilen ortalama seyahat mesafeleri Tablo 4 ve Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 4. Sürekli depo uzayında eşit akış politikası altında ortalama seyahat mesafeleri
(Expected travel distances in continuous space under equal flow policy)

Kapı Sayısı	Chevron Tasarım			Geleneksel Tasarım		
	1/1	2/1	3/1	1/1	2/1	3/1
1	44	40	41	53	50	51
3	46	42	43	53	50	51
5	48	44	44	54	51	51
7	50	45	46	54	51	52
9	52	47	48	55	52	52
11	54	49	49	57	53	53
13	57	51	51	58	54	54
15		53	53		55	55
17		56	55		56	56
19		58	57		58	57
21			59			59
23			62			60

Malzeme akış politikasının Merkez Yoğun olduğu durumda aynı depolar için elde edilen ortalama seyahat mesafeleri incelendiğinde Chevron tasarımın geleneksel tasarıma göre avantajı Şekil 12’deki gibidir. En boy oranı 1/1 olan bir depoda Chevron tasarımın geleneksel tasarıma göre avantajı %4 ile %17 arasında değişmektedir. En boy oranı 2/1 olan bir depoda Chevron tasarımın geleneksel tasarıma göre avantajı %3 ile %20 arasında değişmektedir. En boy oranı 3/1 olan bir depoda Chevron tasarımın geleneksel tasarıma göre avantajı %3 ile %19 arasında değişmektedir. Eşit malzeme akış politikası söz konusu iken elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında Merkez yoğun akış politikası altında elde edilen ortalama seyahat mesafelerinin daha kısa olduğu görülmektedir. Deponun merkez kapısının yanına eklenen

her yeni kapının yarattığı dezavantajın merkez yoğun akış politikası söz konusu olduğunda azaldığı görülmektedir.

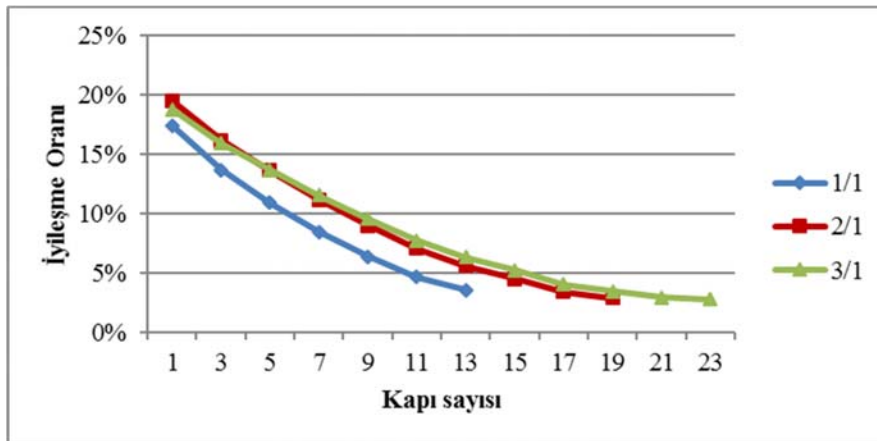
Tablo 5. Sürekli depo uzayında merkez yoğun akış politikası altında ortalama seyahat mesafeleri
(Expected travel distances in continuous space under central dense flow policy)

Kapı Sayısı	Chevron Tasarım			Geleneksel Tasarım		
	1/1	2/1	3/1	1/1	2/1	3/1
1	44	40	41	53	50	51
3	46	42	43	53	50	51
5	47	43	44	53	50	51
7	49	45	45	54	50	51
9	52	47	48	56	52	53
11	54	49	49	57	53	53
13	55	50	50	57	53	53
15		51	51		53	53
17		52	52		54	54
19		53	53		55	55
1			54			56
23			54			56

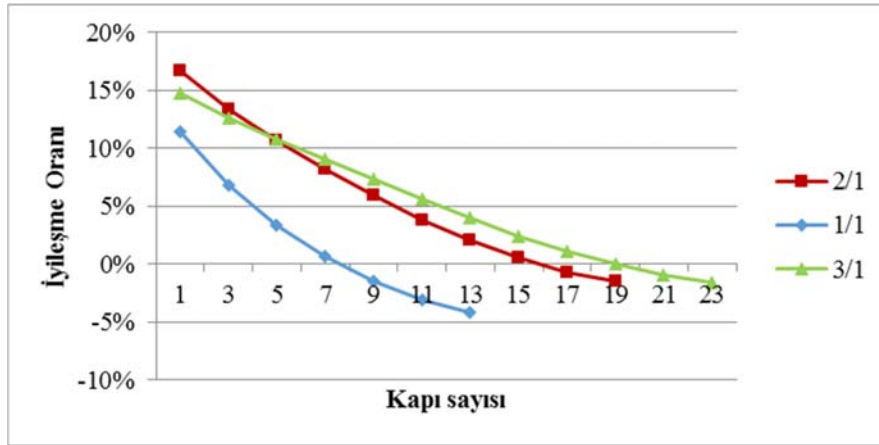
Şekil 12’de de görüldüğü üzere Merkez Yoğun akış politikasında her bir kapı sayısı için Chevron tasarım geleneksel tasarıma göre avantajını korumaya devam etmektedir.

6.2. Ayrık Depo Yerleşim Düzeni Modeli Sonuçları (Results Of Discrete Warehouse Layout Model)

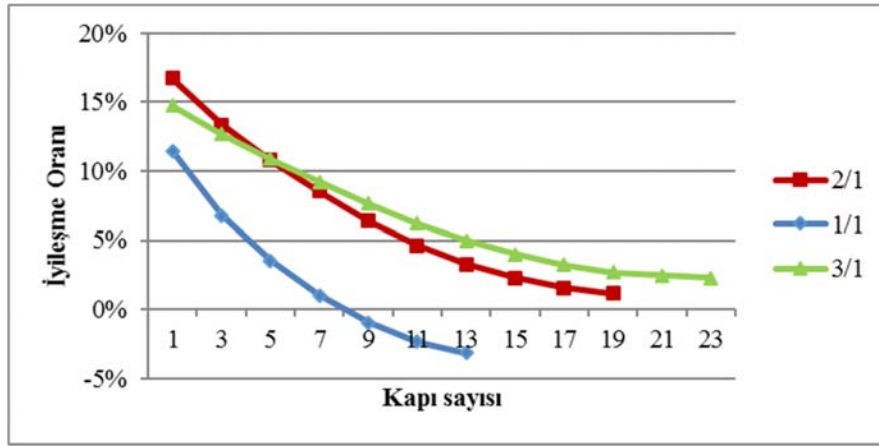
Depo modeli sürekli uzayda ifade edildiğinde ürün lokasyonları depo alanı içindeki sonsuz nokta ile tanımlanmaktadır ve koridorların sebep olduğu alan kayıpları göz ardı edilmektedir. Elde edilen sonuçlar gerçek yaşamı tam anlamıyla yansıtmamaktadır. Daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için aynı problem bir de ayrık depo uzayında modellenmiştir. Problem ayrık uzayda ele alındığında, depo büyüklükleri, toplam kapasitelerinin sürekli uzayda tanımlanan depodakine eşit olabilmesi için



Şekil 12. Merkez yoğun akış politikası altında chevron yerleşimin geleneksel yerleşime göre avantajı
(Advantage of chevron layout over traditional layout under central dense flow policy)



Şekil 13. Eşit akış politikası altında chevron yerleşimin geleneksel yerleşime göre avantajı
(Advantage of chevron layout over traditional layout under equal flow policy)



Şekil 14. Merkez yoğun akış politikası altında chevron yerleşimin geleneksel yerleşime göre avantajı
(Advantage of chevron layout over traditional layout under central dense flow policy)

sürekli uzayda tanımlanan depolara göre biraz daha büyük olacak şekilde belirlenmiştir. Geleneksel koridor yerleşimine sahip depoda en boy oranı 1/1 olan depoda en boy değerleri sırasıyla 70 ve 70, en boy oranı 2/1 olan depoda 100 ve 50, en boy oranı 3/1 olan depoda 120 ve 42 birim olarak belirlenmiştir. Depodaki lokasyon kapasiteleri ise sırasıyla 1876, 1880, 1873 olarak belirlenmiştir. Chevron koridor yerleşimine sahip depoda en boy oranı 1/1 olan depoda en boy değerleri sırasıyla 74 ve 75, en boy oranı 2/1 olan depoda 105 ve 52, en boy oranı 3/1 olan depoda 126 ve 44 birim olarak belirlenmiştir. Depodaki lokasyon kapasiteleri ise sırasıyla 1880, 1876 ve 1888 olarak belirlenmiştir. Ayrık uzayda modellenen depolar için elde edilen ortalama seyahat mesafeleri Tablo 6 ve Tablo 7'de yer almaktadır. Chevron tasarımın geleneksel koridor tasarımına göre sağladığı avantaj Şekil 13'de görüldüğü üzere en boy oranı 1/1 olan bir depoda %4 ile %11 arasında değişmektedir. 7. kapıdan sonra geleneksel koridor tasarımı avantajlı hale gelmektedir. En boy oranı 2/1 olan bir depoda Chevron tasarımın geleneksel tasarıma göre ortalama seyahat mesafesi açısından avantajı %2 ile %17 arasında değişmektedir. 17. Kapıdan sonra geleneksel tasarımın daha avantajlı olduğu

görülmektedir. En boy oranı 3/1 olan bir depoda Chevron tasarımın geleneksel tasarıma göre ortalama seyahat mesafesi açısından avantajı %2 ile %15 arasında değişmektedir. 19. Kapıdan sonra geleneksel tasarım avantajlı hale gelmektedir. Üç farklı en boy oranı incelendiğinde Şekil 13'de görüldüğü üzere 1/1 oranı hiçbir durumda diğer iki en boy oranına göre daha avantajlı hale gelmemiştir. Kapı sayısı 5'e kadar 2/1 en boy oranı en avantajlı iken 5. kapıdan sonra 3/1 en boy oranı daha avantajlı hale gelmektedir. En boy oranları 2/1 ve 3/1 olan depoları dikdörtgen depo olarak ifade edersek ve en boy oranı 1/1 olan depoyu kare depo olarak ifade edersek sonuç olarak dikdörtgen depolarda kare depolara göre Chevron tasarımın daha büyük oranda avantaj sağladığını söylememiz mümkündür.

Malzeme akış politikasının Merkez Yoğun olduğu durumda aynı depolar için elde edilen ortalama seyahat mesafeleri incelendiğinde Chevron tasarımın geleneksel tasarıma göre avantajı Şekil 14'deki gibidir. En boy oranı 1/1 olan bir depoda Chevron tasarımın geleneksel tasarıma göre avantajı %3 ile %11 arasında değişmektedir. En boy oranı 2/1 olan

Tablo 6. Ayrık depo uzayında eşit akış politikası altında ortalama seyahat mesafeleri
(Expected travel distances in discrete space under equal flow policy)

Kapı Sayısı	Chevron Tasarım			Geleneksel Tasarım		
	1/1	2/1	3/1	1/1	2/1	3/1
1	46	42	43	53	50	51
3	49	43	45	53	50	51
5	51	45	46	53	51	51
7	54	47	47	54	51	52
9	56	49	49	55	52	52
11	58	50	50	56	53	53
13	60	52	52	58	54	54
15		54	54		55	55
17		56	55		56	56
19		58	57		58	57
21			59			59
23			61			60

Tablo 7. Ayrık depo uzayında merkez yoğun akış politikası altında ortalama seyahat mesafeleri
(Expected travel distances in discrete space under central dense flow policy)

Kapı Sayısı	Chevron Tasarım			Geleneksel Tasarım		
	1/1	2/1	3/1	1/1	2/1	3/1
1	46	42	43	53	50	51
3	49	43	45	53	50	51
5	51	45	46	53	50	51
7	53	46	47	54	51	52
9	56	48	49	55	52	53
11	57	50	50	56	53	53
13	58	51	51	57	53	53
15		52	52		53	54
17		54	53		54	55
19		54	54		55	55
21			54			55
23			55			56

bir depoda Chevron tasarımın geleneksel tasarıma göre avantajı %1 ile %17 arasında değişmektedir. En boy oranı 3/1 olan bir depoda Chevron tasarımın geleneksel tasarıma göre avantajı %2 ile %15 arasında değişmektedir. Eşit malzeme akış politikası söz konusu iken elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında Merkez yoğun akış politikası altında elde edilen ortalama seyahat mesafelerinin daha kısa olduğu görülmektedir ki bu durum Merkez Yoğun akış politikasının endüstrideki depolar için daha faydalı olduğunu göstermektedir.

7. SİMGELER (SYMBOLS)

a	:Giriş/çıkış kapıları arasındaki mesafe
α_R	:Deponun orta ana koridorunu sağında kalan mal toplama koridorlarının açısı
α_L	:Deponun orta ana koridorunu solunda kalan mal toplama koridorlarının açısı
d_{ij}	:i. kapı ile j. lokasyon arasındaki mesafe
h	:Deponun kuş bakışı açıdan yüksekliği
i	:Giriş/çıkış kapı indeksi
j	:Ürün lokasyonu indeksi.
k	:Ürün lokasyon sayısı
n	:Giriş/çıkış kapısı sayısı

p(i)	:i Giriş/çıkış kapısı
p_i	:i. kapının ziyaret edilme olasılığı
q_L	:Sol üst köşe noktasından α_L açısı ile çizilen doğrunun x eksenini kestiği nokta.
q_R	:Sağ üst köşe noktasından α_R açısı ile çizilen doğrunun x eksenini kestiği nokta.
w	:Deponun kuş bakışı açıdan genişliğinin yarısı
(x,y)	:Depo alanı içerisindeki herhangi bir ürün lokasyonunun koordinatları
γ_L	:Orta geçiş koridorunun başlangıç noktası ile deponun sol üst köşe noktası arasında kalan doğrunun açısı.
γ_R	:Orta geçiş koridorunun başlangıç noktası ile deponun sağ üst köşe noktası arasında kalan doğrunun açısı.

8. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Günümüz rekabet koşullarında müşteri siparişlerini zamanında karşılayabilmek işletmeler için en kritik başarı faktörlerinden biri olmuştur. Bu amacın gerçekleştirilebilmesi sevkiyat işlemlerinin zamanında yapılmasına bağlıdır. Sevkiyat işleminin zamanında yapılabilmesi depo yerleşim düzeninden hayli

etkilenmektedir. Daha önce yapılan çalışmalar merkezde bir adet giriş çıkış kapısı olan depolar için Chevron koridor yerleşiminin ortalama seyahat mesafesi açısından büyük avantaj sağladığını göstermiştir ancak sevkiyat işlemlerinin daha kısa sürede yapılabilmesi için endüstrideki depolarda genellikle birden fazla giriş çıkış kapısı (G/Ç) bulunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada Chevron koridor tasarımının birden fazla (G/Ç) kapısı olan farklı büyüklüklerdeki depolarda performansı incelenmiştir. Chevron koridor yerleşiminin performansını değerlendirebilmek için eşdeğer büyüklükte geleneksel koridor yerleşimine sahip depolarda ortalama seyahat mesafeleri hesaplanmış ve karşılaştırma yapılmıştır. Problem sürekli uzayda modellenmiş dolayısı ile ortalama seyahat mesafesi, depodaki tüm kapılardan depo içindeki tüm ürün lokasyonlarına ulaşmak için kat edilen toplam mesafenin kapı sayısı ve ürün lokasyonuna bölünmesi ile elde edilmiştir. Chevron koridor yerleşiminin değerlendirilmesi üç farklı en boy oranına sahip depoda iki farklı akış politikası altında yapılmıştır. En boy oranları 1/1, 2/1 ve 3/1 şeklindedir. Akış politikaları eşit malzeme politikası ve merkez yoğun akış politikalarıdır.

Deponun tüm kapılarındaki malzeme akış oranının eşit olduğu politika altında sürekli depolar için elde edilen sonuçlar incelendiğinde, Chevron tasarımın geleneksel tasarıma göre avantajının en fazla olduğu en boy oranı 3/1 ve 2/1'dir ancak kapı sayısı arttıkça sağlanan avantaj yok olmaktadır. Avantajın en az olduğu en boy oranı da 1/1'dir. Bu durumda Chevron tasarımın kare depolar yerine dikdörtgen depolarda uygulanmasının daha uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca üç farklı en boy oranına sahip depolarda kapılardaki malzeme akış oranının eşit olmadığı merkez kapının daha yoğun kullanılması durumunda merkez kapının yanlarına eklenen her bir yeni kapının neden olduğu dezavantaj azalmaktadır. Yine en boy oranı 2/1 ve 3/1 olan depolar en boy oranı 1/1 olan depoya göre daha avantajlıdır. Ayrıca eklenen her bir kapı Chevron tasarımın geleneksel tasarıma göre avantajını azaltmaktadır, ancak eşit akış politikası altında 13 kapılı en boy oranı 2/1 ve 3/1 olan depoların sağladığı avantaj sırasıyla %4 ve %5 iken bu avantaj merkez yoğun akış politikası altında her iki depo için %6'ya çıkmaktadır. Sonuç olarak Chevron koridor yerleşimine sahip dikdörtgen depoların birden çok kapısı olması halinde merkez kapıların diğer kapılara göre daha çok kullanılmasının işletmelere fayda getireceğini söyleyebiliriz. Problem ayrık depo uzayında modellendiğinde yani koridor yerleşiminin sebep olduğu alan kayıplarını göz ardı edilmeden yapılan hesaplamalar sonucu yine Chevron koridor yerleşiminin en boy oranı 2/1 ve 3/1 olan depolar için ortalama seyahat mesafesi açısından avantaj yarattığını görülmektedir. Ancak hem eşit akış politikasında hem merkez yoğun akış politikasında 7. kapıya kadar en boy oranı 2/1 olan depoda Chevron tasarım geleneksel tasarıma göre daha fazla avantaj sağlarken, 7. kapıdan sonra en boy oranı 3/1 olan depo daha fazla avantaj yaratmaktadır.

Sonuç olarak bir depoda ürün giriş çıkışlarının yapıldığı birden çok kapı söz konusu olduğunda en boy oranı 3/1 olan

depolarda Chevron tasarım geleneksel koridor yerleşimine sahip depolara göre ortalama seyahat mesafesi açısından daha büyük oranda avantaj sağlamaktadır. Bunun yanı sıra malzeme akış politikası olarak merkez yoğun akış politikası izlendiği takdirde bu avantaj daha da artmaktadır. Yapılan çalışmada rasgele depolama politikası altında koridor açıları sabit tutularak hesaplamalar yapılmıştır. Daha sonra yapılacak olan çalışma koridor açılarının herhangi bir açı alabilecek şekilde tasarlanarak çok kapılı depolar için nasıl bir koridor tasarımı elde edilebileceği üzerine planlanmaktadır. Planlanan bu çalışmanın farklı akış politikaları ve farklı depolama politikaları altında da incelenmesi düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Gue K., Akcalı E., Erera A., Ferrell B., Forger, G., Material Handling & Logistics: US Roadmap. <http://www.mhlroadmap.org/>. Yayın tarihi 2014. Erişim tarihi Haziran 2016.
2. Gülen K., Lojistik sektöründe durum analizi ve rekabetçi stratejiler. İstanbul ticaret odası yayınları, 70, 2010.
3. Demir M.H., Gümüsoğlu Ş., Üretim Yönetimi, 8, Beta basım, İstanbul, 211-215, 2013.
4. Gue K.R., Meller R. D., Aisle configurations for unit-load warehouses, IIE Transactions, 41 (3), 171-182, 2009.
5. Gue K., Ivanovic G., Meller R., 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, 2012.
6. Öztürkoğlu Ö., Gue K.R., Meller R.D., Optimal unit-load warehouse designs for single-command operations, IIE Transactions, 44 (6), 459-475, 2012.
7. Öztürkoğlu Ö., Effects of varying input and output points on new aisle designs in warehouses. In Evolutionary Computation (CEC), 2016 IEEE Congress on, Vancouver-Canada, 3925-3932, 24-29 July, 2016.
8. Öztürkoğlu Ö., Gue K.R., Meller R.D., A constructive aisle design model for unit-load warehouses with multiple pickup and deposit points, European Journal of Operational Research, 236 (1), 382-394, 2014.
9. Pohl L.M., Meller R.D., Gue K.R., Optimizing fishbone aisles for dual-command operations in a warehouse, Naval Research Logistics (NRL), 56 (5), 389-403, 2009.
10. Pohl L., Meller R., Gue K., Turnover-based storage in nontraditional unit-load warehouse designs, IIE Transactions, 43 (10), 703-720, 2011.
11. Bortolini M., Faccio M., Gamberi M., Manzini R., Diagonal cross-aisles in unit load warehouses to increase handling performance, International Journal of Production Economics, 170, 838-849, 2015.
12. Galvez O.D., Ting C.J., Analysis of unit-load warehouses with nontraditional aisles and multiple p&d points, The 13th Asia-Pacific Conference on Industrial Engineering and Management Systems, 2011-2021, 2012.

13. Çelik M., Süral H., Order picking under random and turnover-based storage policies in fishbone aisle warehouses, *IIE Transactions*, 46 (3), 283-300, 2014.
14. Henn S., Koch S., Gerking H., Wäscher G., A U-shaped layout for manual order-picking systems, *Logistics Research*, 6 (4), 245-261, 2013.
15. Öztürkoğlu Ö., Investigating the robustness of aisles in a non - traditional unit-load warehouse design: Leverage, 2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), Sendai-Japan, 2230-2236, 25-28 May, 2015.
16. Cardona L.F., Rivera L., Martínez H.J., Analytical study of the fishbone warehouse layout, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 15 (6), 365-388, 2012.
17. Tsui L.Y., Chang C.H., An optimal solution to a dock door assignment problem, *Computers and Industrial Engineering*, 23(1-4), 283-286, 1992.
18. Gue K.R., The effects of trailer scheduling on the layout of freight terminals, *Transportation Science*, 33 (4), 419-428, 1999.
19. Bartholdi J.J., Gue K.R., Reducing labor costs in an LTL crossdocking terminal, *Operations Research*, 48 (6), 823-832, 2000.
20. Bozer Y.A., Carlo H.J., Optimizing inbound and outbound door assignments in less-than-truckload crossdocks, *IIE Transactions*, 40 (11), 1007-1018, 2008.
21. Acar K., Yalcin A., Yankov D., Robust door assignment in less-than-truckload terminals, *Computers & Industrial Engineering*, 63 (4), 729-738, 2012.
22. Roodbergen K., De Koster R., Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle, *European Journal of Operational Research*, 133 (1), 32-43, 2001a.
23. Roodbergen K.J., De Koster R., Routing methods for warehouses with multiple cross aisles, *International Journal of Production Research*, 39 (9), 1865-1883, 2001.

