

Envanter Yerleşim Optimizasyonu: Depolama Tankı Endüstrisinde Bir Uygulama

Inventory Placement Optimization: An Application in the Storage Tank Industry

Gülseli İŞLER¹

Derya EREN AKYOL^{2*}

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, gulseli.isler@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0699-7262>

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, derya.eren@deu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-2712-5498>

* Yazışılan Yazar/Corresponding author

Makale Geliş/Received: 08.12.2021

Makale Kabul/Accepted: 27.04.2022

Araştırma Makalesi / Research Paper

Öz

Günümüzde envanter, bir işletme için küresel sistemde önemli kâr edebilme noktalarından biri haline gelmiştir. Depoda yapılan bir iyileştirme, firma etkinliğini yüksek oranda artırmaktadır. Bu çalışmada, mevcut düzeni rastgele yerleşim olan bir firmadaki depo içi taşımaları minimize etmek amacıyla, bir dizi matematiksel analiz ve modelleme yöntemlerinin belli bir sıra dahilinde uygulanmasını içeren bir yaklaşım geliştirilmiştir. İlk adımda ürünlerin önem düzeylerinin belirlenmesi için alan gereksinimleri ve depo içindeki hareket miktarları kullanılarak Pareto ve ABC Analizleri yapılmıştır. Bu analizlere göre matematiksel modellemede kullanılacak katsayılar belirlenmiştir. Belirlenen katsayılar, alanların kapıya uzaklıkları ve bazı parametreler kullanılarak problemin matematiksel modeli kurulmuş ve bu model, LINGO programı kullanılarak çözülmüştür. Çözüm sonucunda ürünlerin depolarda olması gereken optimum konumlar belirlenmiştir. Sonuç olarak üç ayrı depoda, ürünlerin depo içi taşıma miktarlarında ortalama %14,9 iyileştirme sağlanmıştır. Kullanılan sıralı yöntemler sayesinde stok yerleşimi düzenli ve daha az maliyetli hale gelmiştir. Aynı zamanda deponun ve uzun vadede işletmenin etkinliğinin yüksek oranda artması sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Envanter Yerleşim Optimizasyonu, Depo İçi Taşıma Minimizasyonu, ABC Analizi, Pareto Analizi, Matematiksel Modelleme

JEL kodları: D24, C61

Abstract

Today, inventory has become one of the important profit making points for a company in the global system. An improvement in the warehouse greatly increases the efficiency of the company. In this study, an approach has been developed to apply a set of mathematical analysis and modeling methods in a certain order to minimize the in-warehouse shipments in a factory whose existing layout is randomized. In the first step, Pareto and ABC analyzes were performed by using the space requirements and the amount of movement in the warehouse to determine the importance levels of the products. According to these analyzes, coefficients to be used in mathematical modeling were determined. Mathematical model of the problem was established using determined coefficients, distances of the fields to the door and some parameters, and this model was solved by using the LINGO program. From the solution, optimum locations for the products in warehouses were determined. As a result, an average of 14.9% improvement has been achieved for the in-warehouse transportation quantities of the products in three separate warehouses. Through the sequential methods used, inventory placement has become neat and less costly. In fact, the efficiency of the warehouses and the efficiency of the company (in the long term) have increased significantly.

Keywords: Inventory Placement Optimization, Warehouse Transport Minimization, ABC Analysis, Pareto Analysis, Mathematical Modeling

JEL codes: D24, C61

1. GİRİŞ

Günümüzde bir firmanın sadece üretim bölümünde iyileştirmeler yapması, rakip firmaların önüne geçebilmesi için yeterli olmamaktadır (Anantadjaya vd., 2021: 781). Depo, yalnızca bir ürün depolama yerleşkesi olarak görülmemelidir. Günümüzde depo, sipariş karşılama, konsolidasyon, ayırma, yükleme, aktarma ve tersine lojistik merkezi haline gelmiştir (Bandoophanit vd., 2021: 32). İşletmenin deposunda ürün yükleme, taşıma, sipariş toplama, istifleme ve paketleme gibi birçok süreç yürütülmektedir (Aslan vd., 2021: 37). Depolarda hammadde, ara stok ve bitmiş ürünler için sürekli yoğun miktarda ürün akışı gerçekleşir (Kıymetli Şen, 2014: 89). Bu süreçlerden herhangi birinde yapılacak küçük iyileştirmeler, işletmenin genel verimliliği üzerinde kümülatif bir etki yaratır ve daha etkili sonuçlar alınmasını sağlar (Aslan vd., 2021: 37). Tüm bu faktörlerden dolayı, tesislerdeki sınırlı kapasite de düşünüldüğünde depolama, rekabet unsuru olarak çok önemli bir hâle gelmiştir (Yılmaz Yalçın ve Can, 2019: 375). Depo yönetimi, tedarik zinciri yönetiminin en önemli alanlarından biridir (Berkdemir vd., 2021: 598).

Depo tasarımında dikkate alınması gereken faktörler, 7 genel başlıkta ele alınabilir: yer/lokasyon seçimi, yerleşim düzeni, raf düzeni ve elleçleme/taşıma (handling), operasyon (proses), gerekli sayıda ve yetenekte çalışan, gerekli bilgi teknolojisi, iş sağlığı ve güvenliğine uyumluluk (Reis vd., 2017: 542).

Depo tasarımında önemsenmesi gereken kriterlerden biri de depodaki fiziksel koşullardır. Deponun ergonomi ve iş güvenliği gereksinimlerine uygun olmasına, aydınlatmasına ve havalandırılmasına özen gösterilmelidir. Bu fiziksel koşulların uygun olmadığı durumlarda, çalışan güvenliğinin ve çalışma veriminin azalması söz konusu olacaktır.

Ayrıca depolanacak ürünlerin özelliklerine göre depo sıcaklık, kimyasal düzen, nem vb. koşullara önem verilerek tasarlanmalıdır. Ürünlerin raf ömrü, ürünün depodaki doğru ya da doğru olmayan saklanma koşullarına göre uzayabilmekte veya kısalabilmektedir. Doğal olarak bu durumun firmaya depo konusunda çok büyük maddi etkileri olabilmektedir.

Depo tasarımında ürünlerin yerleşim alanlarına atanması işlemi, önemsenmesi gereken unsurlardan biridir (Muppani ve Adil, 2008: 609). Literatürde, ürünlerin doğru yerleşim alanlarına yerleştirilmesi probleminin çözümü için geçmişten günümüze çeşitli yöntemler ve yaklaşımlar geliştirilmiştir (Gül vd., 2016: 28). Sezgisel yöntemler ile çözüm sağlanabildiği gibi, matematiksel optimizasyon modeli geliştirerek de optimum çözüm sağlanabilmektedir. Yapılan çalışmalarda, depo içi elleçleme mesafelerini minimize etmek, sipariş gecikmelerini minimize etmek, sipariş çekme sürelerini minimize etmek, yeni yerleşim alanı ve düzenleri oluşturmak, depodaki yerleşim alanlarının ve elleçleme ekipmanları kullanımının etkinliğini maksimize etmek gibi farklı hedeflerle; ayrıca depo özelliklerine, elleçleme ekipmanı niteliklerine ve firma taleplerine göre değişiklik gösteren kısıtlarla, depolardaki ürün yerleşimlerinin düzenlenmesi yapılabilmektedir. Ürünlerin depolardaki alanlara rastgele atanması, genellikle aynı siparişte yer alan veya birlikte toplanan ürünlerin toplanma süresini artırır (Çobanoğlu vd., 2021: 520).

Hammami ve Frein (2014: 412), stok yerleşim sorununu genel çok kademeli tedarik zincirleri bağlamında incelemişlerdir. Toplam stok tutma maliyetini en aza indirmeyi ve aynı

zamanda her siparişin zamanında teslim edilmesini hedefleyen bir stok yerleşim modeli geliştirmişlerdir.

Shqair ve Altarazi (2014: 122), farklı depo değişkenlerinin ve bu değişkenlerin birbirleriyle ilişkilerinin, depo içi elleçleme uzaklıklarına etkilerini anlamak amacıyla bir istatistiksel çalışma yapmışlardır. Çalışmalar sonucunda sınıf tabanlı bir yerleşim düzeni uygulamasının ve ambarda yalnızca bir çapraz koridorun bulundurulmasının, depo içi elleçleme mesafelerini azalttığı belirtilmiştir. Baray ve Çakmak ise (2015: 13), fiziksel kısıtlar dahilinde z eksenini boyunca çeşitli gruplara ayrılan çok sayıda depolama alanı hesaba katılarak toplam envanter elleçleme maliyetlerini en aza indirmek amacıyla çok seviyeli depo yerleşimi için bir tasarım geliştirmişlerdir.

Denizhan ve Menşur (2019: 481), ambar yönetiminin etkinliğini belirleyen en önemli öğelerden biri olarak depo tasarımı ve doğru yerleştirme/adresleme yapımını belirtmişlerdir. Yaptıkları analizler sonucunda envanter yerleşiminde dinamik adreslemeye geçişin en iyi ve uygun çözüm olacağı belirlenmiştir. Dinamik adresleme için geliştirdikleri algoritmayı, Visual Basic dilinde bir dinamik programlama metodu kullanarak kodlamışlardır. Statik adresleme ve dinamik adresleme için çıktılar kıyaslandığında; işletmeye yarı dolu peron sayısının azaltılması amacıyla uygulanan dinamik adresleme metodu sayesinde %53 düzeyine kadar iyileştirme sağlanabildiği tespit edilmiştir.

Toktaş Palut ve Okçuoğlu (2019: 14), bir beyaz eşya şirketinin depo tasarımı ve yerleşimi sorununu incelemişlerdir. Çalışmada, öncelikle AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak en uygun forklift modeli belirlenmiştir. Belirlenen forkliftin nitelikleri de hesaba katılarak deponun da kısıtlarına göre, beklenen toplam elleçleme uzaklıklarını en aza indirmek hedefiyle bir matematiksel model geliştirilerek, ürün grupları için en uygun depolama alanları bulunmuştur. Aynı konuda başka bir çalışma olan Berkdemir vd. (2021: 598)'nin yaptığı çalışmada ise yine beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın deposunda hangi adres (alan) grubuna hangi ürün grubunun atandığı ve her biri için kaç adres gerektiğini, önerilen matematiksel modelin Lindo programıyla optimum çözümünün bulunmasıyla hesaplanmıştır.

Yener ve Yazgan (2019: 1), sipariş çekme sürelerinin ortalamasını ve katedilen mesafeyi bulma amacıyla bir veri madenciliği metodu kullanmışlardır. Depo yönetimi problemi, önerilen yeni bir matematiksel model ve Çok Boyutlu Ölçekleme Algoritması (Multidimensional Scaling Algorithm) ile ayrı ayrı çözümlenerek yöntemler arasında kıyaslamalar yapılmıştır. Çalışmanın sonucu olarak önerilen modelin, Çok Boyutlu Ölçekleme yönteminden daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ang ve Lim (2019: 186) ise, depolama sınıflarını optimize etme sorununu, toplam seyahat maliyetini en aza indirgeyerek çözmek için farklı bir yöntem uygulamışlardır. Uygulanan yöntemde öncelikle konumlar, ziyaret edilme frekanslarına göre sıralanmıştır. Envanter yerleşimi ile ürünlerin giriş ve çıkışları dikkate alınarak bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiş ve lokasyonlar sıralı şekilde sınıflara ayrılmıştır.

Hu ve Chuang (2022), e-ticaret depolarının yerleşimini optimize etmek ve sıralama verimliliğini artırmak amacıyla minimum toplam taşıma maliyeti ve maksimum kapsamlı ilişkiyi hedefleyen doğrusal olmayan bir programlama modeli kurmuştur. Modeli çözmek için

bir genetik algoritma kullanılmıştır. Yeni yerleşim sonucunda ürün taşıma maliyeti önemli ölçüde azaltılmış, toplama verimliliği artırılmış ve uygunluk fonksiyonu optimizasyon oranı %39,25 olarak bulunmuştur.

Çobanoğlu vd., (2021: 520), aynı proje grubundaki ürünlerin aralarındaki uzaklık ve A, B, C sınıfı ürünlerin giriş/çıkış noktasına olan mesafelerine göre depolama alanı sayısını azaltmak amacıyla sezgisel bir yaklaşım kullanarak toplanma sıklıklarını dikkate alan bir depolama yeri ataması problemi sunmuştur. Çalışma sonucunda, depo için yeni bir yerleşim düzeni elde edilmiş, önerilen çözüm yöntemi sayesinde mevcut sistemde %49,99'a varan iyileşme elde edilmiştir.

Ambar tasarımı ve yönetimi ile ilgili detaylı yayın taraması çalışmalarına Gu vd. (2010: 539), Davarzani ve Norrman (2015: 1), Reis vd. (2017: 542) yaptığı araştırma çalışmaları gösterilebilir. Bu yayın taraması çalışmalarında, depo yönetimi konusunda yapılmış olan teorik çalışmaların çokluğuna rağmen gerçek hayat uygulamalarının kısıtlı olduğu özellikle vurgulanmıştır. Bu çalışma, bir gerçek hayat uygulaması olması sebebiyle depoda ürün yerleşimi alanında önemli bir çalışmadır.

Chen ve Wu (2005: 333), depodaki ürün taşıma hareket mesafelerini azaltmak için kullanılan dört yöntem belirtmişlerdir:

- (1) Sipariş toplama rotalarını iyi belirlemek,
- (2) Depoyu imar etmek,
- (3) Gruplara sipariş atamak,
- (4) Ürünleri uygun stoklama alanlarına atamak.

Bu çalışmada, yukarıda verilen yöntemlerden 4 numara ile belirtilen yöntem dahilinde, petrol ve su tankları üreten bir firmanın İzmir yerleşkesindeki stok yerleşimi sorunu ele alınmış, ürünleri uygun stoklama alanlarına atamak ile ilgili gerekli çalışmalar yapılmıştır. Çeşitli incelemeler ve geliştirilen sıralı yöntemler sonucunda oluşturulan matematiksel modelin, LINGO optimizasyon programı kullanılarak çözümü sağlanmış; en iyi sonuca ulaşılmıştır. Genel anlamıyla mevcut sistem ve depodaki ürünlerin yerleşim adreslerinin değiştirildiği sistem olmak üzere iki farklı senaryo göz önünde bulundurularak performans karşılaştırması yapılmıştır.

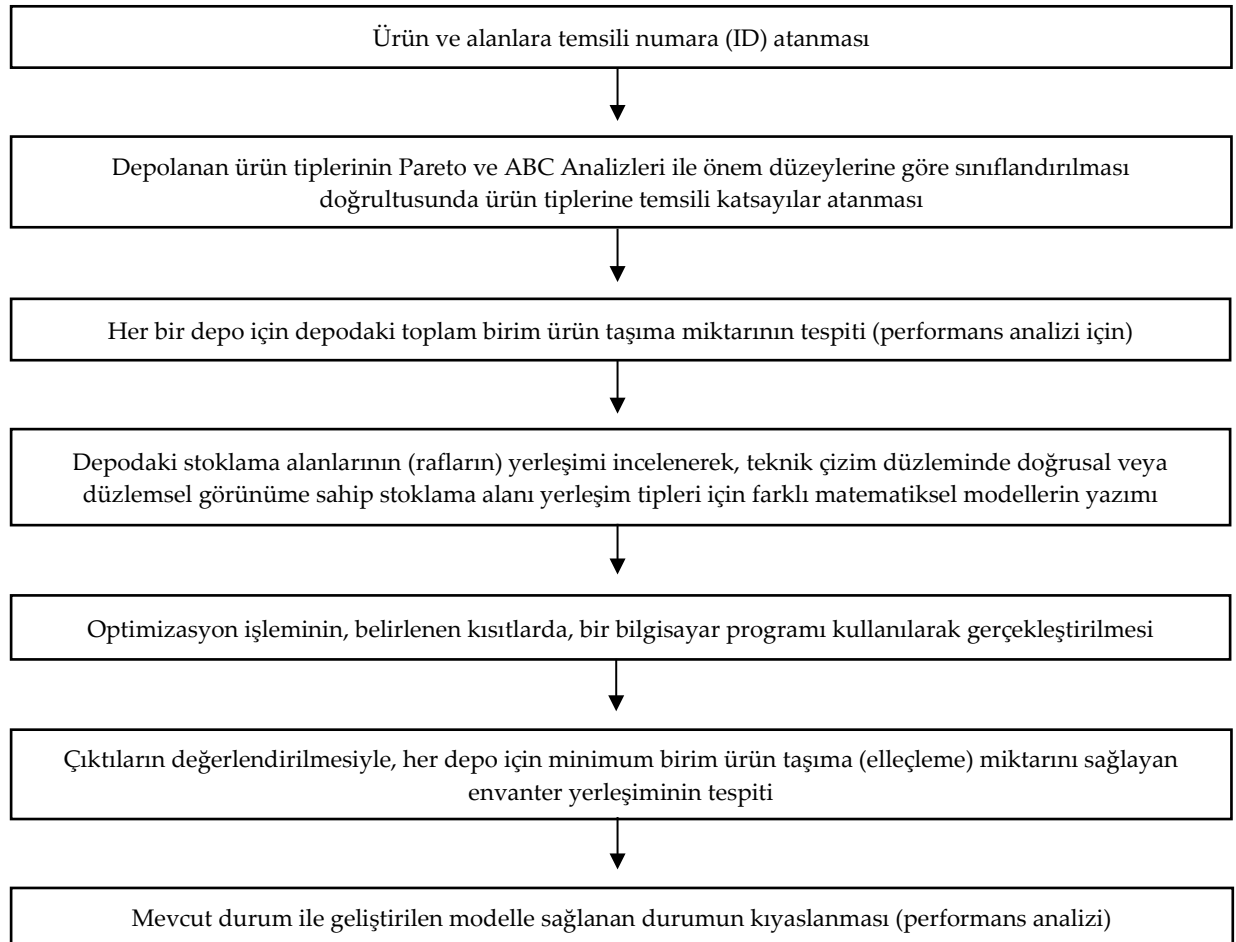
Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışmanın amacı (problem) ve kapsamı hakkında bilgiler verilmiş; bu konuda daha önceden yapılan bazı çalışmalar incelenerek bunlara yer verilmiştir. İkinci bölümde işletmenin envanter ve depo bilgileri, ek olarak depo problemi ayrıntılı olarak açıklanmış, mevcut depodaki ürün tipleri ve stoklama alanlarına yerleşimleri analiz edilmiştir. Üçüncü bölümde işletmedeki envanter yerleşimi problemini çözmek için gerekli analizler yapılarak, ele alınan iki depo için (hammadde ve ara ürün deposu) ayrı birer matematiksel model önerilmiştir. Bu bölümde ayrıca, modelin çözümünün sağlandığı program (LINGO) çıktıları incelenmiş, AutoCAD kaynaklı teknik çizimler üzerinde gösterilmiş ve yapılan iyileştirme sonucundaki toplam depo içi ürün taşıma miktarları bulunmuştur. Son olarak, her depo için yapılan toplam depo içi taşıma miktarlarının, geliştirilen sıralı yöntemler kullanılarak sağlanmış olan iyileştirme miktarları için performans ölçümleri yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise yapılan matematiksel çalışmanın sonucu,

çıkarımları ve alana katkıları hakkında bilgi verilmiş, bu alandaki gelecek çalışmaların ne yönde ilerleyebileceğine dair bir ön tespit sunulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, yer üstü petrokimya depolama tankı çözümleri için iç conta sistemleri, dış sızdırmazlık sistemleri, yüzer tavanlar, drenaj ve yüzer emme sistemleri, alüminyum kubbe çatılar ve emisyon azaltma cihazları gibi ürünler ve bu alanda hizmetler sunan bir firmanın İzmir yerleşkesi ele alınmıştır.

Çalışmanın yapıldığı şirket gibi, büyümekte olan diğer tüm şirketlerde zamanla mevcut depodaki boş alanların azaldığı ve yakın gelecekte deponun yetersiz geleceğinin öngörüldüğü durumlar yaşanmaktadır. Depolardaki rastgele ürün yerleşimi ile ilgili sorunlara çözüm olması için yapılan çalışmaların akış şeması (önerilen yaklaşım) Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Önerilen yaklaşım

Şekil 1'de görülebileceği gibi sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

1. İşletmedeki ürün tiplerine 1'den 16'ya kadar temsili numaralar (kimlikler) verilmiştir. Ayrıca işletmedeki farklı depolar içindeki stoklama yapılabilecek alanlar (raflar) temsili olarak numaralandırılmıştır.

2. İşletmede mevcut üç depo içerisinde (raf düzenlerindeki ve dolayısıyla modellemelerindeki farklılıklar sebebiyle) sadece iki depo için ürün tiplerinin stoklama

alanlarına yerleşimi incelenmiştir. Ürün tiplerinin önem düzeylerine göre sınıflandırılarak uygun alanlara yerleşiminin sağlanabilmesi için Pareto ve ABC Analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda yüksek önem düzeyine sahip ürün tiplerinin depo kapısına daha yakın raflara yerleştirilmesi için, modellemede kullanılan temsili katsayıların tespiti sağlanmıştır.

3. Ürün tiplerinin mevcut depolarda gerçekleştirdiği birim taşıma miktarları bulunarak, her bir depo için depodaki toplam birim ürün taşıma miktarı tespit edilmiştir.

4. İşletmede incelenen iki ayrı (hammadde ve ara ürün) depodaki envanter yerleşim probleminin çözümü için matematiksel modeller önerilmiştir.

5. Ele alınan işletmenin depolarındaki envanter yerleşim problemleri için geliştirilen modelin, LINGO programının 16.0 versiyonu ile global optimum çözümleri sağlanarak, elde edilen çıktılar incelenmiştir. Ayrıca ürün tiplerinin stoklama alanlarına (minimum birim ürün taşıma miktarını sağlayan) yerleşimleri, AutoCAD programı kaynaklı teknik çizimler üzerinde temsili numaralar ile gösterilmiştir.

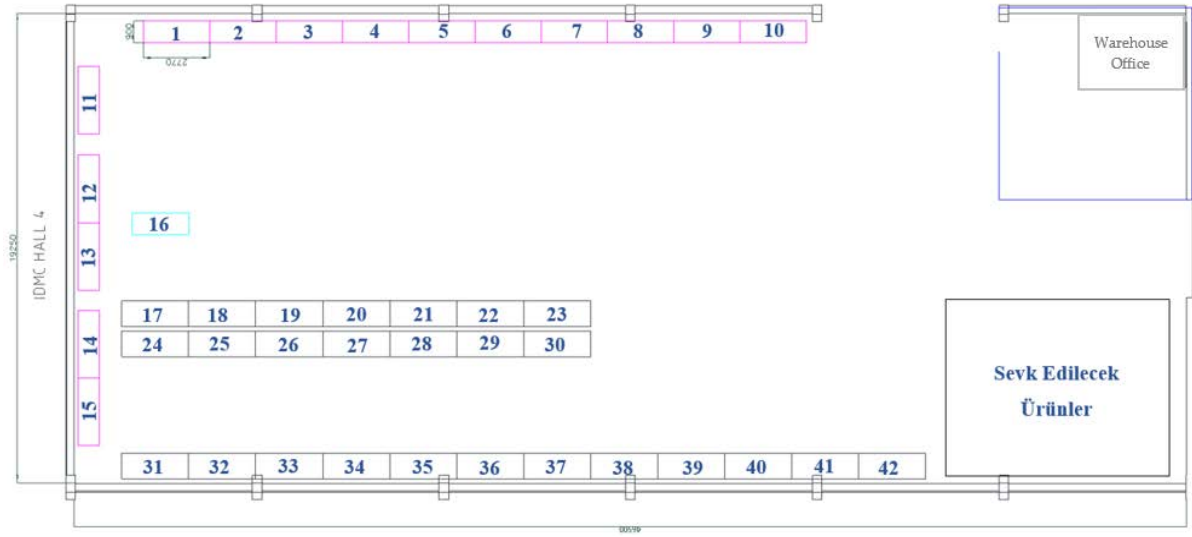
6. Depolardaki mevcut durum ile geliştirilen sıralı yöntemler sonucundaki durum kıyaslanarak, üç depodaki depo içi toplam birim ürün taşımalar yönünden performans analizi yapılmıştır.

2.1. Mevcut Sistemin İncelenmesi

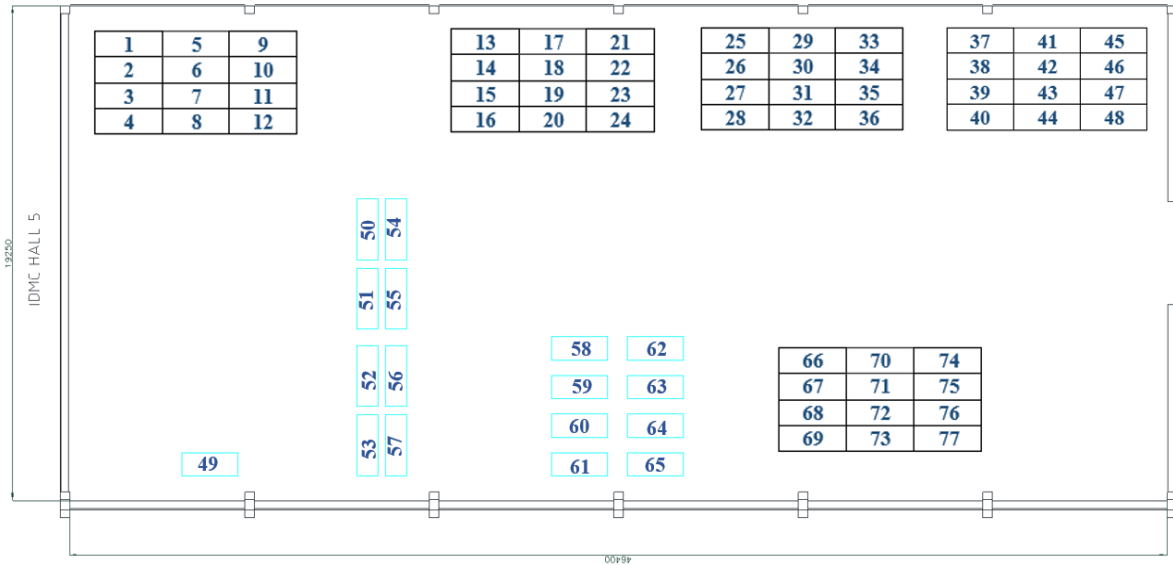
Mevcut düzende ürünlerin rastgele yerleşimi nedeniyle depo alanı yeni stoklara yetersiz kalmaktadır. Bu mevcut düzen, firmanın vizyonunda öncelikli olarak yer verdiği iş sağlığı ve güvenliğine uygunluğu azaltmaktadır. Ayrıca üretimde iş gücü ve zaman kayıplarına sebep olduğu gibi Kaizen ve 5S gibi Yalın Üretim yaklaşımı tekniklerine de uygun olmamaktadır.

İşletmede 3 depo bulunmaktadır. Bunlar; hammadde deposu, ara ürün deposu ve bitmiş ürün deposudur. Her bir deponun uzunluğu, genişliği ve içindeki stoklama alanlarında bulunan rafların boyutları aynıdır. Fakat her deponun ağırlıklı olarak depoladığı ürünler farklıdır.

Depolarda bulunan 16 ürün çeşidi, matematiksel modelde ve teknik çizimlerde kullanılmak üzere 1'den 16'ya kadar numaralandırılmıştır. Ayrıca mevcut depodaki stoklama yapılabilecek alan, eş boyutlu ve her ürün tipinin sığabileceği raflarla kullanılmaktadır. Bu çalışmada depodaki stoklama yapılabilecek alanlar, tümü birbiriyle özdeş olan rafların uzunluk ve genişlik verileri kullanılarak iki boyutlu düzlemde eş boyutlu birim parçalara bölünmüş ve 1'den başlamak üzere numaralandırılmıştır. Hammadde ve ara ürün depolarının iç ölçüleri ve depolardaki özdeş rafların ölçüleri, sayıları, yerleşim düzenleri bilgilerini belirten (AutoCAD programındaki) teknik çizimleri Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. Belirtilen teknik çizimlerde ayrıca, mevcut depo düzeni hesaplamalarında ve matematiksel modelde kullanılan özdeş depolama alanlarının temsili numaralandırılması verilmiştir.



Şekil 2. Matematiksel modelde kullanılmak üzere hammadde deposundaki özdeş alanların temsili numaralandırılması



Şekil 3. Matematiksel modelde kullanılmak üzere ara ürün deposundaki özdeş alanların temsili numaralandırılması

Her ürün çeşidine depoda ayrılması gereken eş boyutlardaki birim alan sayıları için hesaplamalar, mevcut depodaki ürün tiplerine ayrılan birim alan sayıları ile aynı olacak şekilde yapılmıştır.

Ayrıca bu teknik çizimler üzerinde, numaralandırılmış ürün tiplerinin depolardaki mevcut yerleşim düzeni belirtilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3'te de kıyaslanabileceği üzere, her depoda stoklama yapılabilecek temsili olarak numaralandırılmış alanlar, teknik çizim düzleminde bir boyutlu (çizgisel) raf yerleşimi ve iki boyutlu (düzlemsel) raf yerleşimi olmak üzere farklı boyutlarda bulunmaktadır. Bu boyut farklılığı sebebiyle matematiksel modellemeler de farklılık göstermektedir. Kullanılan yöntemin, farklı depolardaki ve farklı boyuttaki raf yerleşimleri bulunduğu durumlardaki uygulanmasının gösterimi amacıyla bu çalışmada iki depoya (hammadde ve ara ürün deposu) yer verilmiştir.

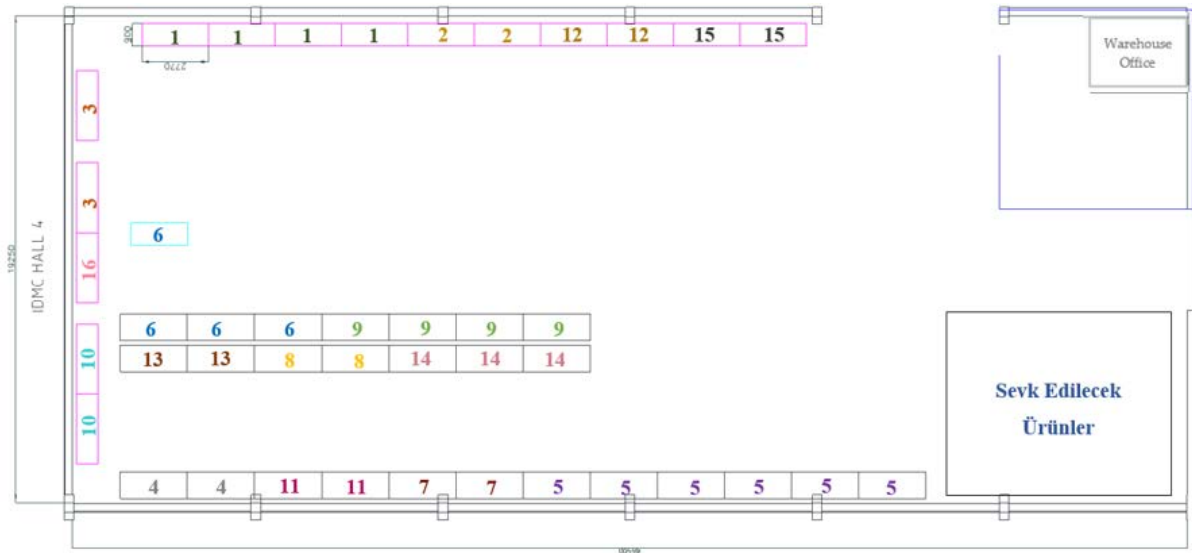
2.2. Pareto ve ABC (Always Better Control) Analizleri

2.2.1. Pareto Analizi Hakkında

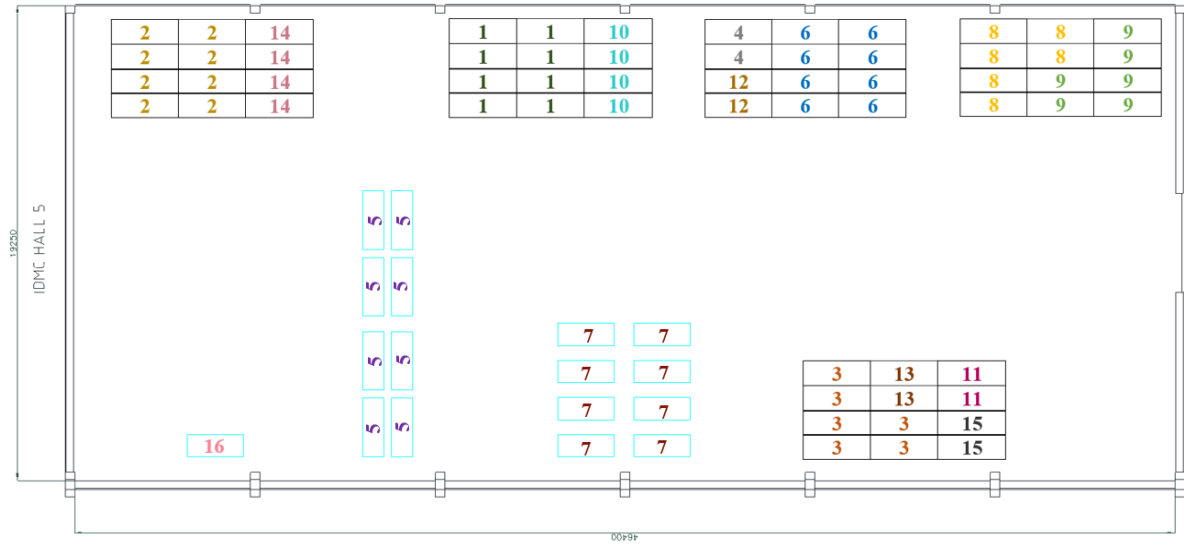
Pareto Analizi, bir problemin önemli sebeplerini, daha önemsiz sebeplerden ayırmak için kullanılan, veri toplama formları incelenerek yapılan bir yöntemdir (Eissa ve Rashed, 2020: 388). Pareto diyagramları firmanın hangi problemlere daha çok önem vereceği konusunda karar sağlamaya yarar. Pareto diyagramında problemlerin önem düzeyine göre sıralanması en önemli prostestir. Pareto İlkesi, İtalyan ekonomist Vilfredo Pareto tarafından 1897 senesinde öne sürülmüştür. Pareto Analizi'nde, 80/20 kuralı olarak bilinen kurala göre, olaylarda sonuçların %80'i, sebeplerin %20'si dolayısıyla ortaya çıkmaktadır. Pareto'nun 80-20 ilkesinin envanter kontrolüne uygulanması şu şekilde ifade edilebilir: Stokların büyük çoğunluğu (yaklaşık %80'i) düzenli stok giriş-çıkış yani taşıma hareketi uygulanan ve ekonomik açıdan şirkete getirisi az olan ürün tiplerinden oluşmaktadır. Az bir kısmı ise (yaklaşık %20'si) hem yüksek stok devir hızına (yani depo içerisinde çok hareket gerçekleştiren) hem de ekonomik açıdan yüksek getiriye sahip ürün tiplerinden meydana gelmektedir (Kılıç vd., 2014: 186).

2.2.2. Ürün Gruplarının Pareto Analizi'ne Göre İncelenmesi

Bu çalışma çerçevesinde, deponun mevcut ürün yerleşim durumu ele alındıktan sonra ikinci adım olarak, depoda yer alan ürünler için Pareto Analizi yapılmıştır. Bu analizin ana hedefi depodaki en çok hareket gerçekleştiren ürünleri belirlemektir (Eissa ve Rashed, 2020: 388). Böylece ürünlerin depodaki yerleri planlanırken en çok hareket gerçekleştiren ürünler giriş-çıkış kapısına yakın lokasyonlara atanmış; bu sayede de toplam depo içi ürün taşıma mesafesi en aza indirilmiştir.



Şekil 4. Hammadde deposunda stoklama alanlarındaki mevcut ürün tipi yerleşimi

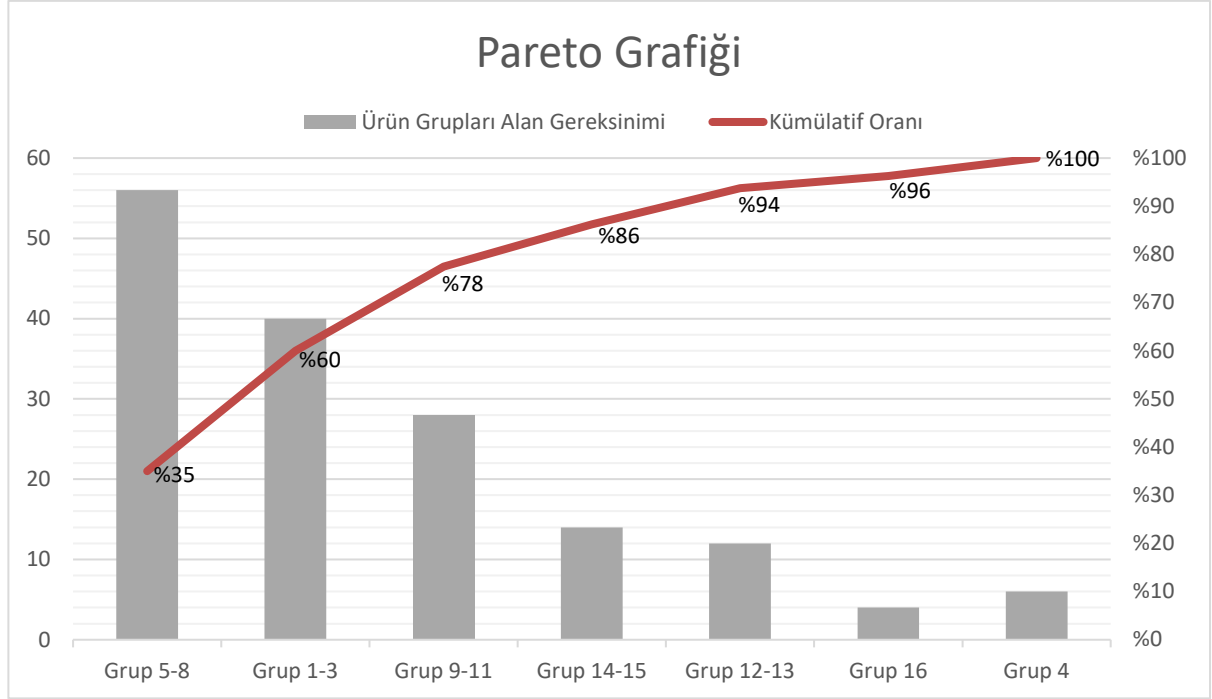


Şekil 5. Ara ürün deposunda stoklama alanlarındaki mevcut ürün tipi yerleşimi

Hammadde ve ara ürün depolarındaki, her tip ürün için ihtiyaç duyulan (mevcut durumdaki) depodaki özdeş alan sayısı Şekil 4'te ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Tablo 1'de gösterildiği üzere ürünler, Pareto Analizi için ilk olarak benzerliklerine göre gruplandırılmıştır ve bu gruplarının üç depodaki toplam özdeş alan gereksinimleri (grup üyesi tüm ürünlerin alan gereksinimlerinin toplamı) tespit edilmiştir. Ürün gruplarının üç depodaki toplam özdeş alan gereksinimlerine göre büyükten küçüğe sıralanmasından sonra, Pareto Analizi yöntemini uygulamak üzere ürün gruplarının kümülatif birim alan gereksinimleri ve toplam birim alan gereksinimi içerisindeki kümülatif oranları bulunmuştur. Şekil 6'da, yapılan Pareto Analizi'nin grafiği verilmiştir. Pareto Analizi sonrasında, kıyaslama/kontrol amacıyla ABC Analizi de yapılmıştır. Pareto Analizi'nde analiz ürün grupları şeklinde yapılmış; ABC Analizi'nde ise her ürün tek tek ele alınmıştır. Stoktaki ürünler için Pareto Analizi yapıldıktan sonra ürünler; A, B ve C grubu olmak üzere ürün aileleri şeklinde tespit edilmiştir.

Tablo 1. Ürün gruplarının toplam alan gereksinimleri ve kümülatif oranlar

Ürün Grupları Sıralaması (Gruptaki Ürün Numaraları)	Ürün Grupları Alan Gereksinimi	Kümülatif Alan Gereksinimi	Kümülatif Oranı
<i>Grup 5, 6, 7, 8</i>	56	56	%35
<i>Grup 1, 2, 3</i>	40	96	%60
<i>Grup 9, 10, 11</i>	28	124	%78
<i>Grup 14, 15</i>	14	138	%86
<i>Grup 12, 13</i>	12	150	%94
<i>Grup 16</i>	4	154	%96
<i>Grup 4</i>	6	160	%100
TOPLAM	160		



Şekil 6. Firmadaki ürün grupları için Pareto Analizi grafiği

2.2.3. ABC (Always Better Control) Analizi Hakkında

Stok kontrolünün asıl hedefi, stok maliyetini en düşük düzeyde tutmaktır. Stoklardaki her ürün tipi aynı önem seviyesinde değildir. Dolayısıyla depoda, sayıca fazla olup değer bakımından envantere düşük düzeyde etki eden ürünler olduğu gibi az sayıda olan fakat tutar bakımından toplam fabrika envanterinin büyük bir bölümünü oluşturan ürünler olabilir. Az sayıdaki yüksek değerli stokları, değeri düşük olan stoklara oranla daha çok kontrol etmek gerekmektedir. Envanter kontrolünde yüksek değerli stokları en düşük düzeyde tutmak ana hedeftir. Depoda fazla alan kaplayan, fakat diğerlerine oranla az maliyetli olan stoklara sık sipariş açılması halinde ise taşıma maliyetleri fazla olacağı için bu tip ürünler depoda çok sayıda tutulmalıdır (Top, 2001).

Stokların maliyetler ve önemli kriterler dikkate alınarak etkin bir şekilde yönetilmesi için bazı yöntemler geliştirilmiştir. ABC (Always Better Control) Yöntemi, VED (Vital-Essential-Desirable) Yöntemi ve ABC-VED Matrisi yöntemi bunlardan bazılarıdır (Korkmaz ve Güner, 2022: 1). Stok yönetim tekniklerinden ABC analizi, stokların etkin yönetimi için geliştirilen yöntemlerdendir. Stok yönetimi çerçevesinde ABC Analizi'ndeki genel kabul şu şekilde tanımlanabilir:

- A kategorisi stokların %20'sini, alımların %80'ini,
- B kategorisi stokların %30'unu, alımların %15'ini,
- C kategorisi stokların %50'sini, alımların %5'ini oluşturur (Top, 2001).

Envanterdeki ürünleri değerlerine göre sınıflandırmak amacıyla stoklar için ABC Analizi yapılabilir. ABC yöntemi, çokluğun içindeki az fakat önemli olanı bulmaya odaklanır. ABC Analizi, Pareto ilkesi (20/80) kuralından türetilmiştir. Pareto ilkesi ve ABC yöntemi ile lojistik

ve tedarik zinciri yönetiminde, etkin stok optimizasyonu sayesinde maliyetlerin azaltılması, üretim planlama, kalite kontrolü, satış vb. alanlardaki süreç sorunlarını tespit ve analiz etmek amacıyla kullanılmaktadır (Çolak vd., 2016: 55).

2.2.4. Ürünlerin ABC Analizi ile Önem Düzeyine Göre Gruplandırılması

Tablo 2’de görüleceği üzere, ele alınan firmadaki ürünlere ABC tekniği uygulanması için öncelikle her tip ürünün üç depodaki toplam özdeş birim alan gereksinimi bulunarak, ürünler bu alan gereksinimlerine göre sıralanmıştır. Hareket Miktarı başlığı altında ürün tipleri için üç depoda 6 ay içerisinde (Temmuz 2019 ile Aralık 2019 aralığında) toplam kaç kez elleçleme (depoya giriş ve/veya çıkış) yapıldığını belirtmektedir. Her tip ürün için üç depodaki toplam özdeş birim alan gereksinimi ile depo içi hareket miktarı çarpılmış; tüm ürünlerin çarpım değerlerinin toplamı (oranlama yapılmak üzere) bulunmuştur. Tablo 3’te ise her ürün tipi için alan gereksinimi ve hareket miktarı çarpımının, toplam çarpım içindeki oranı tespit edilmiş; buna göre ürün tipleri A, B ve C olmak üzere gruplandırılmıştır. Grup içindeki tüm ürün tiplerinin belirtilen oranlarının toplamı ile grup yüzdeleri bulunmuştur. Ele alınan problemde depo içinde en çok hareketi sağlanan ve alan gereksinimi olan ürünler A grubu ürünlerdir. Bu durumda depo içi malzeme taşıma minimizasyonu için A grubu ürünler, deponun giriş çıkış kapısına en yakın ve en uygun konuma yerleştirilmelidir. Bu yerleşimin sağlanması amacıyla, modellemede kullanılmak üzere ürün tiplerine temsili katsayılar atanmıştır. Katsayı ataması, satış sonrasında ürünlerin teslimatının yapılması için düzenlenen sevk irsaliyesi sayıları dikkate alınarak yapılmıştır. C tipi ürünlerin toplam sevk irsaliyesi sayısı 100 ile doğru orantılı olarak tespit edilmiştir. B tipi ürünler C tipi ürünlerin yaklaşık 4 katı (yani 400 ile doğru orantılı), A tipi ürünler ise C tipi ürünlerin yaklaşık 7 katı (yani 700 ile doğru orantılı) sevk irsaliyesine sahip olduğu için katsayılar bu oranlar doğrultusunda Tablo 4’teki gibi atanmıştır. Atanan katsayılar sayesinde modellemede, sadece ürün tiplerinin depo kapısına uzaklığı ve raf gereksinimleri değil, depo içindeki birim hareket (taşıma-elleçleme) miktarları ve satış sonrası sevk irsaliyesi sayıları da göz önünde bulundurulmuştur.

Tablo 2. ABC Analizi İçin Gerekli Veri ve Hesaplamalar

Ürünler	Alan Gereksinimi b(i)	Hareket Miktarı a(i)	Çarpım b(i)*a(i)=ç(i)
5	18	1647	29646
1	16	1708	27328
6	14	1595	22330
9	14	1437	20118
2	14	378	5292
14	10	468	4680
7	12	302	3624
12	12	279	3348
8	12	256	3072
3	8	361	2888
10	8	132	1056
11	6	143	858
4	6	204	1224
16	6	182	1092
13	4	172	688

15	4	109	436
TOPLAM	164	9373	Ç=127680

Tablo 3. ABC Analizi ile belirlenmiş ürün grupları, toplam grup yüzdeleri ve katsayı tespitleri

ÜRÜNLER	ORAN -ç(i)/Ç-	GRUP	GRUP YÜZDESİ	KATSAYI TESPİTİ
5	%23,22	A	%77,87	700
1	%21,40			700
6	%17,49			700
9	%15,76			700
2	%4,14	B	%17,94	300
14	%3,67			300
7	%2,84			300
12	%2,62			300
8	%2,41			300
3	%2,26			300
10	%0,83	C	%3,37	100
11	%0,67			100
4	%0,96			100
16	%0,86			100
13	%0,54			100
15	%0,34			100

Tablo 4. Belirlenmiş ürün tiplerine göre gruplara atanan katsayılar (özet)

Ürün Tipi	Katsayı (k)
A Tipi Ürün	700
B Tipi Ürün	400
C Tipi Ürün	100

Pareto ve ABC Analizi'ni kıyaslamak gerekirse; Pareto Diyagramı'nda (Şekil 6'da) görüldüğü üzere öne çıkan ürünler (ilk 2 grup) 5-6-7-8 ve 1-2-3 numaralı ürünlerdir. ABC Analizi'nde (Tablo 3'te) görüleceği üzere benzer şekilde A ve B grubunda 5, 6, 7, 8, 1, 2, 3 ürünlerinin tamamı bulunmaktadır. ABC Analizi'ndeki A grubu ise, Pareto Diyagramı'nda en önemli olarak tespit edilen ilk 3 grupta yer alan 1, 5, 6 ve 9 numaralı ürünlerden oluşmaktadır.

2.3. Mevcut Depo Düzeninde Depo İçi Taşıma Miktarı Hesaplamaları

Bu çalışmada, numaralandırılmış özdeş stoklama alanlarının, depo içi toplam ürün taşımaların minimizasyonu ele alınarak, numaralandırılmış 16 ürün tipine atanması sağlanmıştır. Performans ölçümü amacıyla öncelikle mevcut sistem, depo içi birim ürün taşıma yönünden incelenmiştir. Her ürün tipi için hammadde deposunda ayrılmış özdeş alan sayıları belirlenmiştir (Şekil 4'te görülebilir). Mevcut depodaki her ürün tipinin bulunduğu, numaralandırılmış alanın temsili numarası Alan No sütununda verilmiştir. Bu sütunda belirtilen alanların, depo giriş-çıkış kapısına uzaklıkları ise deponun AutoCAD teknik çizimi ile hesaplanmıştır ve $d(j)$ sütunu bu uzaklıkları belirtmektedir.

Bu bölümde, hammadde deposunun uzunluk ve genişlik bilgilerini ayrıca raf sayısı, uzunluğu ve genişliği bilgilerini içeren AUTOCAD programındaki teknik çizimi ve mevcut depo hesaplamalarında ve matematiksel modelde kullanılmış olan özdeş alanların numaralandırılması verilmiştir.

ABC Analizi kullanılarak ürünlerin önem düzeyi belirlenmiş ve minimizasyon çalışmasında kullanılmak üzere A tipi ürün için 700, B tipi ürün için 300 ve C tipi ürün için 100 katsayısı verilmiştir. Ayrıca yine Tablo 5'teki performans analizi amacıyla yapılan mevcut depo hesaplamalarında, her ürün tipinin hammadde deposunda bulunduğu özdeş alan numaraları için; depo kapısına uzaklık ve ABC Analizi ile belirlenen temsili ürün katsayısı çarpımı verilmiştir. Mevcut envanter yerleşimi için bahsedilen hesaplamalar ile birlikte hammadde deposu için toplam depo içi ürün taşıma (amaç fonksiyonu) değeri tespit edilmiştir.

Tablo 5. İşletmede mevcut hammadde deposu için hesaplamalar ve toplam depo içi taşıma değerleri

Ürün -i-	Gerekli Alan Sayısı	Alan No -j-	Uzaklık -d(j)-	Katsayı -k(i)-	k(i)*d(j)
1	4	1	43,29	700	30303,0
		2	40,58	700	28406,0
		3	37,88	700	26516,0
		4	35,18	700	24626,0
2	2	5	32,5	300	9750,0
		6	29,83	300	8949,0
3	2	12	45,75	300	13725,0
		11	46,09	300	13827,0
4	2	31	44,17	100	4417,0
		32	41,42	100	4142,0
5	6	37	27,86	700	19502,0
		38	25,2	700	17640,0
		39	22,58	700	15806,0
		40	20,01	700	14007,0
		41	17,6	700	12320,0
		42	15,11	700	10577,0
6	4	16	43,13	700	30191,0
		17	43,41	700	30387,0
		18	40,62	700	28434,0
		19	37,82	700	26474,0
7	2	35	33,24	300	9972,0
		36	30,64	300	9192,0
8	2	26	38,02	300	11406,0
		27	35,24	300	10572,0
9	4	20	35,13	700	24591,0
		21	32,23	700	22561,0
		22	29,44	700	20608,0
		23	26,65	700	18655,0
10	2	14	45,85	100	4585,0
		15	46,17	100	4617,0
11	2	33	38,68	100	3868,0
		34	35,96	100	3596,0
12	2	7	27,18	300	8154,0
		8	24,57	300	7371,0

13	2	24	43,59	100	4359,0
		25	40,81	100	4081,0
14	3	28	32,47	300	9741,0
		29	29,7	300	8910,0
		30	27,03	300	8109,0
15	2	9	21,99	100	2199,0
		10	19,46	100	1946,0
16	1	13	45,68	100	4568,0
Depo İçi Taşımaların Toplam Değeri					573660,0

Hammadde deposu ile benzer hesaplamalar, ara ürün ve bitmiş ürün depoları için de yapıldığında birinci senaryonun sonuçları yani üç depo için depo içi ürün taşımalarının toplam değerleri özetlenerek Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. İşletmede mevcut tüm depolar için toplam depo içi ürün taşıma değerleri özeti

Depolar	Depo İçi Taşımaların Toplam Değerleri (Problemin Amaç Fonksiyonu)
Hammadde	573660,00
Ara Ürün	771818,00
Bitmiş Ürün	353536,00

2.4. Matematiksel Model

İşletmede depo yerleşim (atama) probleminin çözümü için doğrusal programlama modeli uygulanmıştır (Manoharan vd., 2022: 33). Modelin, depodaki ürünlerin yerleşimini, Pareto ve ABC Analizi sonuçlarına göre depo içi taşımaları minimuma indirecek şekilde yapılması sağlanmıştır. Bu model sonucunda (ürünler için katsayılar kullanılarak), A grubu ürünler kapılara daha yakın yerleştirilmiştir. Verilen temsili katsayılar sayesinde B ve C grubu ürünlerin, önem düzeylerine göre depo kapısına yakınlıkları belirlenmiştir. Böylece daha sık taşıma yapılan bu ürünler, zamandan ve taşıma maliyetlerinden tasarruf etmek amacıyla kapıya yakın alanlara yerleştirilmiştir.

Matematiksel formülasyonda kullanılan kümeler şu şekilde tanımlanır:

I	Ürünler	$i: 1, 2, 3 \dots I$
J	Alanlar	$j: 1, 2, 3 \dots J$

Bu matematiksel modelde kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir:

k_i	Ürün tipi i 'nin önem katsayısı (ABC Analizinden tespit edilmiştir.)
b_i	Ürün tipi i için depoda ayrılması gereken toplam özdeş alan (raf) sayısı
d_j	Alan j 'nin giriş-çıkış kapısına uzaklığı (İşletmenin AutoCAD teknik çiziminden tespit edilmiştir.)

Bu matematiksel modelde kullanılan karar değişkenleri şu şekildedir:

$X_{i,j}$	i . ürünün j . alana atanması
-----------	-----------------------------------

$Y_{i,j}$	i . ürünün atanma olasılığı indisi
-----------	--------------------------------------

Matematiksel modelde 1 numarayla gösterilen amaç fonksiyonu ile depo içindeki taşımalar minimize edilmiştir. Kurulan model sayesinde ürün yerleşimleri; çok hareketli ürünleri giriş çıkış kapısına en yakın, az hareketli ürünleri ise giriş çıkış kapısına uzak olacak şekilde yerleştirerek yapılmıştır. Amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J k_i \cdot d_j \cdot X_{i,j} \quad (1)$$

Depodaki alanlara ürünleri atama problemi için kullanılan kısıtlar aşağıdadır.

$$\sum_{i=1}^I X_{i,j} = 1 \quad j = 1, \dots, J \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{i,j} = b_i \quad i = 1, \dots, I \quad (3)$$

2.4.1. Hammadde Deposundaki Envanter Yerleşim Probleminin Çözümü

Bu bölüm, ele alınan firmadaki stok yerleşim problemi incelenirken, hammadde deposundaki problem için önerilen matematiksel modeli sunmaktadır.

Matematiksel formülasyonda kullanılan kümeler şu şekilde tanımlanır:

I	Ürünler	$i: 1, 2, 3, \dots, 16 \quad \{i \in I\}$
J	Alanlar	$j: 1, 2, 3, \dots, 42 \quad \{j \in J\}$

Probleme yönelik amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\text{min } Z = \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{42} k_i \cdot d_j \cdot X_{i,j} \quad (4)$$

Depodaki çok hareketli (yani ABC Analizi ile tespit edilen A tipi) ürünlerin katsayısının yüksek verilmesi ile bu ürünlerin giriş çıkış kapısına uzak alanlara atanmaması sağlanmıştır. A tipi stokların tam tersine, C tipi ürünlere de çok daha az bir katsayı değeri verilerek bu ürünlerin depo kapısına daha uzak alanlara atanması gerçekleştirilmiştir. ABC Analizi ile tespit edilen A tipi stoklara 700, B tipi stoklara 400, C tipi stoklara 100 katsayısı (toplam sevk irsaliyesi sayısı dikkate alınarak) atanmıştır.

Depoda ve buna bağlı olarak matematiksel modelde, eşit büyüklüklere ayrılmış olan her bir özdeş alana sadece bir ürün tipi atanması gerekmektedir. Bu atama ile birlikte, depo görevlileri farklı ürün tiplerinin hangi raflarda bulunduğunu daha kolay kavrayabilirler. Bu sayede mevcut depodaki karışıklığın önüne geçilmiş olur. Kısıtın belirtilen depo için özelleştirilmiş kapalı formu 5 numara ile gösterilmiştir.

$$\sum_{i=1}^{16} X_{i,j} = 1 \quad j = 1, \dots, 42 \quad (5)$$

Ürün tiplerinin atanması gereken toplam özdeş alan sayısı kısıtları için, ürünlerin mevcut depoda kapladığı özdeş alan sayıları dikkate alınmıştır. Depoda karışıklığın önlenmesi amacıyla aynı ürün tiplerinin, depoda yan yana alanlara atanması sağlanmıştır. Örnek vermek gerekirse 1 numaralı ürün için gereken 4 alanın yan yana atanması için bu kısıtın yazımı şu şekildedir:

$$X_{1,j} + X_{1,j+1} + X_{1,j+2} + X_{1,j+3} - 4Y_{1,j} \geq 0 \quad j = 1, \dots, 7 \quad (6)$$

$$X_{1,j} + X_{1,j+1} + X_{1,j+2} + X_{1,j+3} - 4Y_{1,j} \geq 0 \quad j = 24, \dots, 27 \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^{27} Y_{1,j} = 1 \quad j = 24, \dots, 27 \quad (8)$$

6, 7 ve 8 numaralı kısıtlardaki $Y_{i,j}$ ikili (binary) değişkeni olasılık olarak düşünülmelidir. Belirlenen aralıkta herhangi bir alan numarasından başlayacak olan $x_{i,j}$ 'nin 1 olması yani i ürün tipinin alanlara atanması *olasılığı* $Y_{i,j}$ olarak gösterilmiştir ve bu değişkendeki ikinci indis, numaralı alan (j) üzerinden yapılan olasılık hesaplamasını ifade etmektedir. Bu yüzden j 'ye bağlı olarak düzenlenen ikinci indisler, döngünün o anda kaçınıcı olasılıkta olduğunu gösterir.

Her tip ürünün depoda gereksinim duyduğu özdeş alan miktarı farklıdır. Bunun sebebi her ürünün talebinin yani satış adedinin farklı olmasıdır. Fabrikanın, talebi çok olan ürünlerden daha fazla üreterek bu ürünlere depoda daha çok alan ayırması gerekmektedir.

Bir sonraki adım olarak; ürünlerin toplam depo kapasitesine göre depodan yıllık çıkış adetleri göz önüne alınarak kullanacakları alanın oranı hesaplanmıştır. 9 numaralı kısıt ile ürünlerin, depoda ihtiyaçları ile eşit sayıda alanlara yerleşimleri yapılmıştır. Bu amaçla 9 numaralı kısıtın denklemi 'eşittir' olarak verilmiştir.

$$\sum_{j=1}^{42} X_{i,j} = b_i \quad i = 1, \dots, 16 \quad (9)$$

Aynı ürün tiplerinin alanlara rastgele dağılmaması ve yan yana olması için yazılan kısıt sayesinde depo görevlilerinin, aynen birinci kısıtın da sağladığı gibi, çok daha kolay ve etkin çalışması sağlanmıştır. Ürünler belli alanlarda toplu olarak duracağı için depodaki karışıklığın önüne geçilmiştir. Ayrıca depoya sık giriş çıkış yapan ürünlerin kapıya daha yakın olması sayesinde elleçleme süresinin daha az olması sağlanmıştır.

Alan No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.Olasılık($Y_{1,1}$)	1	1	1	1						
2.Olasılık($Y_{1,2}$)		1	1	1	1					
6.Olasılık($Y_{1,6}$)						1	1	1	1	
7.Olasılık($Y_{1,7}$)							1	1	1	1

Şekil 7. Ürün tipi i 'nin atanma olasılığı indisi için bir gösterim

J alanlarının aralıklı olarak verilmesinin sebebi; Şekil 7'de de görüleceği gibi ardışık numaralı alanların hepsinin yan yana bulunmamasıdır. Aynı tip ürünlerin depoda farklı yerlere

dağılmaması amacıyla, sadece yan yana olma kuralını sağlayan alanların aralıkları için ayrı ayrı kısıtlar yazılmıştır.

Modelde bahsedilen tüm olasılıklara (toplamda 27 olasılık) yer verildikten sonra, son kısıt sayesinde ele alınan ürün tipinin bu olasılıkların sadece bir tanesine atanması sağlanmıştır.

Model; açıklamaları yapıldığı şekilde tüm ürün tipleri ve numaralandırılmış mevcut depo alanları için (42 alan) yazılan kısıtlar arasındaki en uygun olanını tespit edip seçmesi ile sona erer.

2.4.2. Ara Ürün Deposundaki Envanter Yerleşim Probleminin Çözümü

Bu bölüm, ele alınan firmadaki envanter yerleşim problemi incelenirken, ara ürün deposundaki problem için önerilen matematiksel modeli sunmaktadır.

Matematiksel formülasyonda kullanılan kümeler şu şekilde tanımlanmıştır:

I	Ürünler	$i: 1, 2, 3 \dots 16$	$\{i \in I\}$
J	Alanlar	$j: 1, 2, 3 \dots 77$	$\{j \in J\}$

Bu matematiksel modelde kullanılan parametreler ve karar değişkenleri, hammadde deposu için kullanılanlar ile aynıdır.

Hammadde deposundaki modellemede olduğu gibi bu modellemede de amaç fonksiyonu ile, depo içindeki birim ürün taşımalar minimize edilmiştir. 10 numara ile belirtilen amaç fonksiyonu sayesinde, hammadde deposuna benzer şekilde, depodaki çok hareketli ürünler depo kapısına en yakın, az hareketli ürünler ise depo kapısına daha uzak olacak şekilde yerleştirilecektir.

$$\min Z = \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{77} k_i \cdot d_j \cdot X_{i,j} \quad (10)$$

Her alana sadece bir ürün atanması kısıtı ikinci depo için, birinci depoda kullanılan her alana yalnızca bir ürün atanması kısıtı ile tamamen aynı yöntem kullanılarak yazılabilir.

Depoda ve tabii ki matematiksel modelde, tıpkı hammadde deposunda olduğu gibi, eşit büyüklüklere ayrılmış olan her bir özdeş alana sadece bir ürün tipi atanması gerekmektedir.

Ürün tiplerinin atanacağı toplam özdeş alan sayısı kısıtı ara ürün deposu için, hammadde deposunda kullanılan ürün tiplerinin atanacağı toplam alan sayısı kısıtları (6, 7 ve 8 numaralı örnek kısıtları) ile aynı yöntem kullanılarak yazılabilir.

Aynı ürün tiplerinin alanlara rastgele dağılmaması ve yan yana olması için yazılan kısıtlar, ara ürün deposunda farklılık göstermektedir. Ara ürün deposunda hammadde deposundan farklı olarak ARENA çiziminde görüldüğü gibi; kuş bakışı görünümde tüm alanlar tek boyutlu değildir. Bu depoda 2 boyutlu (4x2 ve 4x3 raf boyutunda) raflı alanlar mevcuttur. Bu durumda sadece, modelde temsili alan numaraları ardışık giden bir aralık belirterek tek boyutlu gibi bir işlem yapmak mümkün değildir. Bu yüzden; örneğin ara ürün deposunda 8 birim alan kaplayacak olan 1 numaralı ürün tipinin, ulaşılabilir olacak şekilde atanabileceği alanlar için başlangıç noktaları kümesi oluşturulmuştur. Kümenin her bir elemanı, Şekil 3'te gösterilmiş olan temsili bir alan numarasını göstermektedir. Bu ürün tipinin numaralı alanlara

yerleşim olasılığı, başlangıç noktaları kümesinin elemanlarından başlayarak ve ardışık ilerleyerek bulunmaktadır. Her ürün tipinin, numaralı alanlara yerleşimi yapılırken ardışık (yan yana) olarak atanmaya başlayabileceği başlangıç noktaları (alanları) kümeleri 1 ve 14 numaralı ürünler için (p_i) aşağıda verilmiştir.

$$p_1=1 \ 5 \ 13 \ 17 \ 25 \ 29 \ 37 \ 41 \ 50 \ 58 \ 66 \ 70$$

$$p_{14}=1 \ 5 \ 9 \ 13 \ 17 \ 21 \ 25 \ 29 \ 33 \ 37 \ 41 \ 45 \ 50 \ 54 \ 58 \ 62 \ 66 \ 70 \ 74$$

Modelin birinci ürün tipinin yerleşimine başlayabileceği noktalar kullanılarak ara ürün deposunda birinci ürün tipi için gereken 8 alanın yan yana atanmasını sağlayan kısıtın yazımı, 11 ve 12 numaralı kısıtlarda verilmiştir. Aynı modelleme yöntemi on altı numaralı ürün tipi için de uygulanmış ve 13 ve 14 numaralı kısıtlarda verilmiştir. Dikkat edilmesi gereken başka bir nokta da şudur: Farklı alan gereksinimi olan ve bazı başlangıç noktalarına (arkada kalıp ulaşımı zor olacağı için) atanamayacak olan bazı ürünler için kısıtların yazımları değişiklik gösterebilir.

$$X_{1,p1(j)} + X_{1,p1(j)+1} + X_{1,p1(j)+2} + X_{1,p1(j)+3} + X_{1,p1(j)+4} + X_{1,p1(j)+5} + X_{1,p1(j)+6} + X_{1,p1(j)+7} - 8Y_{1,j} \geq 0 \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^{12} Y_{1,j} = 1 \quad (12)$$

$$X_{16,p16(j)} - Y_{16,j} \geq 0 \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^{77} Y_{16,j} = 1 \quad (14)$$

11, 12, 13 ve 14 numaralı kısıtlardaki $Y_{i,j}$ değişkeni olasılık olarak düşünülmelidir. Belirlenen aralıkta herhangi bir alan numarasından başlayacak olan $X_{i,j}$ 'nin 1 olması yani i ürününün alanlara atanması *olasılığı* $Y_{i,j}$ olarak gösterilmiştir ve bu değişkendeki ikinci indis, numaralı alan (j) üzerinden yapılan olasılık hesaplamasını ifade etmektedir. Bu yüzden j 'ye bağlı olarak düzenlenen ikinci indisler, döngünün o anda kaçınıcı olasılıkta olduğunu gösterir.

Bu depoda, hammadde deposundan farklı olarak; mevcut depoda gereksinim duyulan alan sayısı az olan ürün tiplerinde, başka ürün tiplerinin arkasında kalarak ulaşılamama sorunu yaşanabilir. Bu problemin çözümü için, bazı ürün tiplerinin kısıtlarının yazımında, bahsedilen problemin oluşabileceği numaralı alanlara atanması olasılığı (ikili $Y_{i,j}$ karar değişkeni) 0'a eşitlenmiştir.

Ayrıca her ürün tipi için yalnızca bir $Y_{i,j}$ olasılığının getirdiği -gerekli raf sayısı kadar- $X_{i,j}$ ile belirtilen numaralı raflara atanması kısıtları her bir ürün tipi için eklenmiştir. Bu kısıtlar sayesinde her ürün tipi, kısıtlarda verilen olasılıklardan yalnızca birine atanabilmektedir.

Model tüm ürünler ve numaralandırılmış mevcut depo alanları için (77 alan) yazılan kısıtlar arasındaki en uygun olanını tespit edip seçmesi ile sona erer.

Ara ürün deposundaki envanter yerleşimi problemi için geliştirilen modelleme yöntemleri, bitmiş ürün deposunda da aynı şekilde uygulanmıştır.

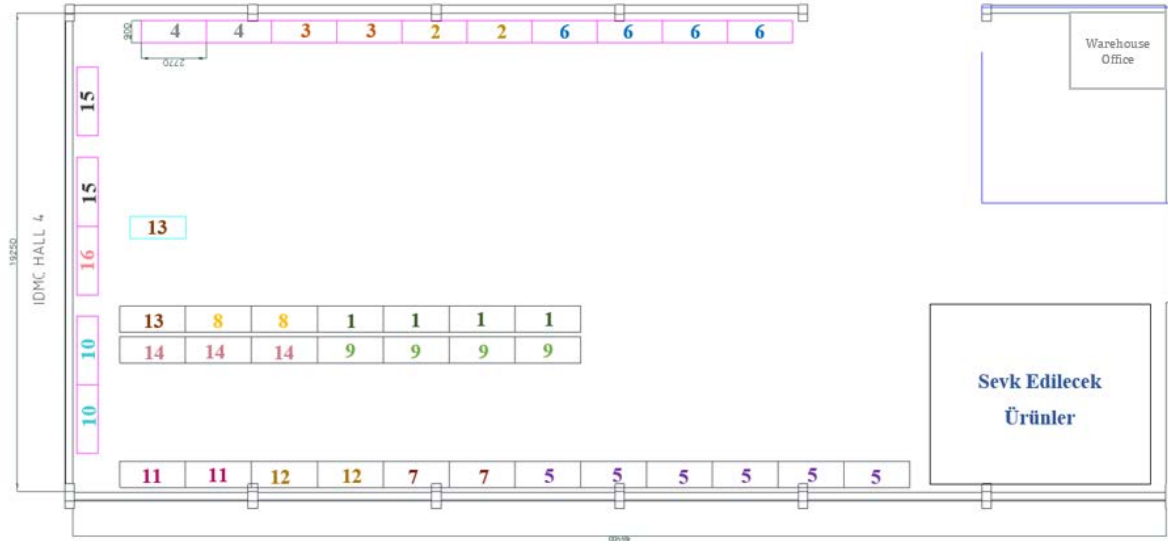
2.4.3. Optimizasyon Programı ile Geliştirilen Modellerin Çözümü

İşletmede mevcut depolardaki envanter yerleşimi probleminin çözümü için geliştirilen sıralı matematiksel analiz ve yöntemler sonucunda oluşturulan modellerin çözümü için; LINDO yazılımlarından olan LINGO programının 16.0 sürümü kullanılmıştır. Bu program doğrusal programlama ile ilgili problemleri çözmeye kullanılır (Gupta ve Ali, 2021: 36).

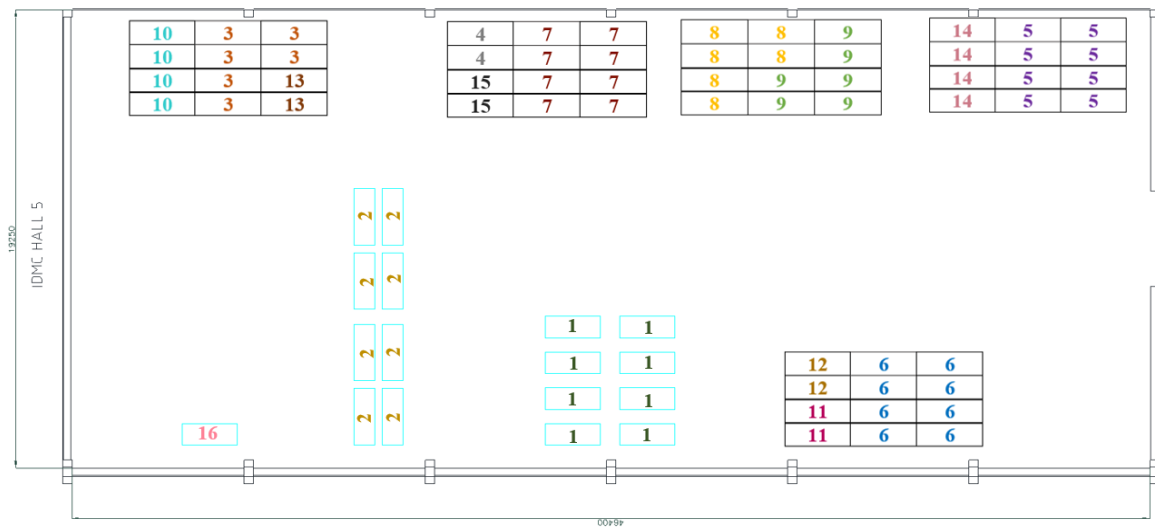
Her depoda kurulan modellerin, dolayısıyla kısıtların ve çözümlerinin farklı olması sebebiyle üç depo için ayrı ayrı LINGO modelleri yazılmıştır. Bu modellerin çıktılarına ait önemli bilgiler, hammadde deposu için şu şekildedir: Hammadde deposunun matematiksel modeli için yazılmış LINGO kodunun çözdürülmesi ile program, 33653 iterasyon yaparak amaç fonksiyonunun global optimum çözümünü elde etmiştir. Bu durumda depodaki 519600 birim ürün taşıma, hammadde deposu için yapılacak minimum birim ürün taşıma miktarıdır. Bu sonucu sağlayan envanter yerleşimleri ise daha kolay anlaşılması için teknik çizim üzerinde, depodaki yerleşim düzeni görünümü olarak verilmiştir. Kısacası; hammadde deposu içerisindeki birim ürün taşımaları en aza indiren ürün atamaları Şekil 8'de verilmiştir.

Ara ürün deposundaki problemin LINGO programı ile çözdürülmesi ile belirlenen optimum envanter yerleşimleri ise teknik çizim üzerinde, depodaki yerleşim düzeni görünümü olarak verilmiştir. Kısacası; ara ürün deposu içerisindeki birim ürün taşımaları en aza indiren ürün atamaları Şekil 9'da verilmiştir.

Çalışmada açıklanmış olan tüm sıralı işlem basamaklarının sonuncusu olarak; $X_{i,j}$ değişken değerlerinin daha kolay anlaşılması ve geliştirilen sonucun görsel olması için hammadde ve ara ürün depolarının optimizasyon programındaki çıktı sayfaları ayrı ayrı dikkate alınarak, depolar içindeki temsili olarak numaralandırılmış alanlara yapılan ürün tipi atamaları, ARENA programı ile yapılmış olan teknik çizim üzerinde gösterilmiştir (Şekil 8 ve Şekil 9).



Şekil 8. Hammadde deposu içerisindeki optimum ürün yerleşimlerinin teknik çizim üzerinde gösterimi



Şekil 9. Ara ürün deposu içerisindeki optimum ürün yerleşimlerinin teknik çizim üzerinde gösterimi

Çalışmada ele alınmış olan sıralı yöntemler ve modellemeler, aynı düzen dahilinde üç depo için (hammadde, ara ürün ve bitmiş ürün depoları) uygulanmış ve optimum ürün tipi-numaralandırılmış alan atamaları yapılmıştır.

3. BULGULAR

Bu bölümde, yapılan çalışmalar ile performans analizi, tablolar ve açıklamalar ile birlikte verilmiştir.

Pareto ve ABC Analizleri ile ürünlerin depo içindeki birim taşıma miktarı bakımından önem düzeyleri tespit edilmiştir. Pareto Analizi ile en önemli olarak tespit edilen ürünlerin

tamamının, ABC Analizi'nde de A ve B grubunun içinde yer aldığı; ürünlerin önem düzeyi tespitinde iki ayrı yöntemin sonuçlarının benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Birinci senaryo yani mevcut durumdaki birim ürün taşımalar ile, geliştirilen sıralı yöntemler ve modelleme ile sağlanan ikinci senaryodaki birim ürün taşımaların farkı; gerçekleştirilen iyileştirme miktarı olarak ele alınmıştır. Her bir depo için gerçekleştirilen iyileştirme miktarı ile, depodaki mevcut durumun oranlanmasıyla, geliştirilen yöntem sayesinde sağlanan iyileştirme yüzdeleri tespit edilmiştir.

Tablo 7. Kullanılan yöntem sonucunda depo içi toplam ürün taşımalarında gerçekleştirilen iyileştirme miktarları

Depolar	Mevcut Durumdaki Toplam Taşıma	Önerilen Yöntem Sonucundaki Toplam Taşıma	Depo İçi Taşımadaki İyileştirme Miktarı	İyileştirme Yüzdesi
1.Depo	573660,00	519600,00	54060,00	%9,42
2.Depo	771818,00	638786,00	133032,00	%17,24
3.Depo	353536,00	289764,00	63772,00	%18,04
Toplam iyileştirme			250864,00	

Problemin çözümü için geliştirilmiş sıralı yöntemler sonucunda oluşturulan matematiksel modelin bir yazılım (Lindo) kullanılarak çözdürülmesi ile birlikte Tablo 7'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Tüm depolar üzerinde yapılan çalışmalar ve iyileştirmeler sonucunda ürünlerin toplam depo içi taşıma miktarlarında 250864 birim azalma olmuş, üç depoda depo içi taşımalarda ortalama %14,9 azalma sağlanmıştır. Belirlenen kısıtlarda en iyi (optimum) iyileştirme miktarına ulaşılmıştır.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Etkin depo yerleşimi bir firmanın, sürekli değişen ve gelişen sektördeki yoğun rekabet ortamında, rakip firmaların önüne geçebilmesi için en önemli unsurlardan biridir. Bu çalışmada, yer üstü depolama tankı üreten bir firmanın İzmir yerleşkesindeki ürün tipleri Pareto ve ABC Analizleri ile incelenmiştir. Mevcut depodaki envanter yerleşim problemi incelenerek ürün tiplerinin depo içindeki birim taşıma miktarları bulunmuştur. Problemin çözümü için her depoda kullanılmak üzere ayrı ayrı matematiksel modeller kurulmuştur. Bu modellerin ana hedefi, ürünlerin depo içi birim taşıma miktarlarını minimize etmektir. LINGO programı kullanılarak optimize edilmiş ürün yerleşimleri, AutoCAD programındaki teknik çizim üzerinde gösterilmiş ve olabilecek en iyi durumdaki depo içi toplam birim ürün taşıma miktarları tespit edilmiştir. Son olarak mevcut durum ve iyileştirme yapılmış durumdaki taşıma miktarları kıyaslanarak her depo için iyileştirme yüzdeleri elde edilmiştir.

Depodaki ürünlerin mevcut alanlara yerleşimi problemi için geliştirilen yaklaşım ile işletmenin depo içerisindeki envanter yerleşimi, depo içi taşımalar açısından en az maliyetli (optimum) olacak şekilde sağlanmıştır. Bu da işletmenin, her üründen elde ettiği kâr miktarını, uzun vadede ise rekabetçilik ve dolayısıyla hayatta kalma özelliğini artıracaktır.

Bu çalışmada, envanter yerleşimi optimizasyonu konusunda birçok yöntem bir arada kullanılmış, analiz ve modellemeler sayısal örnekler ve gösterimlerle desteklenmiştir. Bu çalışma ayrıca, ürün tiplerinin depodaki hareket sayısına göre gruplandırıldığı fakat ürün yerleştirmelerinin ürün grubu olarak değil, her ürün tipi için ayrı ayrı yapılarak gösterildiği için alanında önemli bir çalışmadır. İleriki çalışmalarda, yerleşim yeri, raf düzeni ve ürün miktarları gibi bazı verilerde (örneğin depo giriş ve çıkış kapısının farklı olması veya üç boyutlu raf düzeni olması) değişikliklere gidilerek model geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

- Anantadjaya, S. P., Nawangwulan, I. M., Irhamsyah, M. & Carmelita, P. W. (2021). Supply Chain Management, Inventory Management & Financial Performance: Evidence from Manufacturing Firms. *Linguistics and Culture Review*, 5(S1), 781-794.
- Ang, M. & Lim, Y. F. (2019). How to Optimize Storage Classes in A Unit-Load Warehouse. *European Journal of Operational Research*, 278(1), 186-201.
- Aslan, B. C., Bulut, S., Öymez, C.R. ve Kellegöz, T. (2021). Depo Planlaması ve Ürünlerin Raflara Atanması Probleminin Çözümü. *Mühendis ve Makina Güncel*, 52, 27-37.
- Bandoophanit, T., Moonwicha, S., Rattanaprasert, K., Lestsathian, J., Moulmontree, T., Pimsri, W. & Sripolkrang, S. (2021). Warehouse Management Studies in Thailand: A Literature Review. *KKU Research Journal Humanities and Social Sciences (Graduate Studies)*, 9(3), 31-45.
- Baray, A. ve Çakmak, E. (2015). Design methodology for a multiple-level warehouse layout based on particle swarm optimization algorithm. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 25(77), 13-38.
- Berkdemir, G., Atak, G. ve Çebi, F. (2021). Digital Conversion on the Way to Industry 4.0. *Selected Papers from ISPR2020 September 24-26*, 598-603.
- Chen, M.C. & Wu, H.P. (2005). An Association Based Clustering Approach to Order Batching Considering Customer Demand Patterns. *Omega*, 33(4), 333-343.
- Çobanoğlu, İ. , Güre, İ. ve Bayram, V. (2021). Sipariş toplama sıklığı düşünceleri altında veri güdümlü depolama yeri atama problemi: Sezgisel bir yaklaşım. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 27(4), 520-531.
- Çolak, M., Keskin, G.A., Günel, G. ve Akkaya, D. (2016). Bir Kimya Firmasında Hammadde Deposunun Etkin Yerleşimi İçin Bir Model Önerisi. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(2), 55-76.
- Davarzani, H. & Norrman, A. (2015). Toward a relevant agenda for warehousing research: literature review and practitioners' input. *Logistic Research*, 8(1), 1-18.
- Denizhan, B. ve Menşur, Ş. (2019). Bir Lastik Fabrikasında Dinamik Adresleme Yaklaşımı ile Depoya Yerleştirme. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 7(3), 481-488.
- Eissa, M. & Rashed, E. (2020). Application of Statistical Process Optimization Tools In Inventory Management of Goods Quality: Suppliers Evaluation In Healthcare Facility. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(1), 388-408.

- Gu, J., Goetschalckx, M. & McGinnis, L. F. (2010). Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 203(3), 539–549.
- Gupta, N. & Ali, I. (2021). *Optimization with LINGO-18 Problems and Applications*. Boca Raton: CRC Press.
- Gül, G., Erol, B., Öngelen, G., Eser, S., Çetinkaya, Ç., Özmutlu, H.C., Özmutlu, S., Gökçedağlıoğlu, M. ve Erhuy, C.G. (2016). Ambar Depolama Maksimizasyonu. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 27(4), 26-38.
- Hammami, R. & Frein, Y. (2013). Inventory placement optimisation in complex supply chains. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(9), 412–417.
- Hu, X. & Chuang, Y. F. (2022). E-commerce warehouse layout optimization: systematic layout planning using a genetic algorithm. *Electronic Commerce Research*.
- Kılıç, A., Aygün, S., Aydın Keskin, G. ve Baynal, K. (2014). Çok Kriterli ABC Analizi Problemine Farklı Bir Bakış Açısı: Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi-İdeal Çözümeye Yakınlığa Göre Tercih Sıralama Tekniği. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(5), 179-188.
- Kıymetli Şen, İ. (2014). Lojistik Faaliyetlerin Yönetimi ve Maliyetleme Yaklaşımları. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(1), 83-106.
- Korkmaz, E. ve Güner, M. (2022). Stok Kontrolünde ABC ve VED Analizi Yöntemlerinin Kullanılması: Bir Üniversite Hastanesi Covid-19 Servislerinde Uygulama. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (93), 1-18.
- Manoharan, S., Stilling, D., Kabir, G. & Sarker, S. (2022). Implementation of Linear Programming and Decision-Making Model for the Improvement of Warehouse Utilization. *Applied System Innovation*, 5(2), 33.
- Muppani V. R. & Adil G. K. (2008). Efficient formation of storage classes for warehouse storage location assignment: A simulated annealing approach. *Omega*, 36(4), 609-618.
- Reis, A. C., de Souza, C. G., da Costa, N. N., Stender, G. H. C., Vieira, P. S. & Pizzolato, N. D. (2017). Warehouse Design: A Systematic Literature Review. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 14(4), 542-555.
- Shqair, M. & Altarazi, S., (2014). A statistical study employing agent-based modeling to estimate the effects of different warehouse parameters on the distance traveled in warehouse. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 49, 122-135.
- Toktaş Palut, P. ve Okçuoğlu, F. (2019). Depo tasarımı ve yerleşimi: Bir gerçek hayat uygulaması. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(2), 14-22.
- Top, A. (2001) *Üretim Sistemleri: Analiz ve Planlaması*, İstanbul: Alfa Basım Yayım.
- Yener, F. ve Yazgan, H.R. (2019). Optimal Warehouse Design: Literature Review and Case Study Application. *Computers & Industrial Engineering*, 129, 1-13.

Yılmaz Yalçınar, A. ve Can, B. (2019). Tam Sayılı Programlama ve Simülasyon ile Raf Alanı Optimizasyonu: Bir Ambalaj Firmasında Uygulama. *European Journal of Science and Technology*, Special Issue, 375-388.