



**DEPO RAF SİSTEMLERİNİN GRAFİK TEORİSİ  
VE MATRİS YÖNTEMİYLE OPTİMİZASYONU**

**2022  
DOKTORA TEZİ  
İŞLETME ANABİLİM DALI**

**Sema KOŞAR SÜRÜL**

**Danışman  
Prof. Dr. Süleyman DÜNDAR**

**DEPO RAF SİSTEMLERİNİN GRAFİK TEORİSİ VE MATRİS  
YÖNTEMİYLE OPTİMİZASYONU**

**Sema KOŞAR SÜRÜL**

**Prof. Dr. Süleyman DÜNDAR**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İşletme Anabilim Dalı  
Doktora Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Haziran 2022**

## İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER .....	1
DOĞRULUK BEYANI .....	5
ÖNSÖZ .....	6
ÖZ.....	7
ABSTRACT.....	8
ARŞİV KAYIT BİLGİLERİ.....	10
ARCHIVE RECORD INFORMATION .....	11
KISALTMALAR .....	12
ARAŞTIRMANIN KONUSU .....	13
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	15
ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ.....	20
ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ.....	21
KAPSAM VE SINIRLILIKLAR/KARŞILAŞILAN GÜÇLÜKLER .....	23
BİRİNCİ BÖLÜM .....	24
DEPO VE DEPOLAMA .....	24
1.1. Depo ve Depolama Kavramı.....	24
1.2.    Seramik Sağlık Gereçleri Sektörü ve Depolama .....	26
1.3.    Depo Türleri.....	29
1.3.1. Mülkiyetine Göre Depo Türleri .....	29
1.3.2. Fonksiyonuna Göre Depo Türleri.....	30
1.3.3. Yerleşim Yerine Göre Depo Türleri.....	31
1.3.4. Hava Koşullarından Korunma Derecesine Göre Depo Türleri....	31
1.3.5. Ürünün Türü ve Özelliklerine Göre Depo Türleri.....	31
1.3.6. Otomasyon Düzeyine Göre Depo Türleri .....	32

1.4. Depo Tasarımı.....	32
İKİNCİ BÖLÜM.....	35
DEPO RAF SİSTEMLERİ VE İSTİFLEME ARAÇLARI.....	35
2.1. Depolama Birimi.....	36
2.2. Depo Raf Sistemleri.....	37
2.2.1. Sırt Sırta Raf Sistemi .....	38
2.2.2. Çift Derinlikli Raf Sistemi .....	39
2.2.3. Tek Paletli Raf Sistemi.....	40
2.2.4. İçine Girilebilir Raf Sistemi ve İçinden Geçilebilir Raf Sistemi ...	41
2.2.5. Giydirme Raf Sistemi.....	41
2.2.6. Paletli Kayar Raf Sistemi .....	42
2.2.7. Hareketli Raf Sistemi.....	43
2.2.8. Otomatik Raf Sistemi.....	43
2.2.9. Dar Koridor Raf Sistemi .....	45
2.2.10. Askılı Konveyör/Raf Sistemi .....	45
2.2.11. Kutulu Kayar Raf Sistemi.....	46
2.2.12. Katlı Raf Sistemi .....	47
2.2.13. Sipariş Hazırlama Raf Sistemi.....	47
2.2.14. Konsol Kollu Raf Sistemi.....	48
2.3. Depo Raf Sistemlerinin Seçimi .....	49
2.4. Seramik Sağlık Gereçleri Depolamada Raf Sistemleri .....	51
2.5. Depo İstifleme Araçları.....	52
2.5.1. Çatallı İstifleme Araçları.....	53
2.5.2. Yan Yönlü Toplama İstifleme Araçları.....	53
2.5.3. Dar Koridor İstifleme Araçları.....	54
2.5.4. Yüksek İrtifa İstifleme Araçları .....	55
2.5.5. Sipariş Toplama İstifleme Araçları .....	56
2.5.6. Kule İstifleme Araçları .....	56
2.5.7. Palet Taşıyıcı İstifleme Araçları .....	57
2.5.8. Otomatik Palet İstifleme Araçları .....	58
2.6. İstifleme Araçlarının Seçimi.....	58

<b>ÜÇÜNCÜ BÖLÜM</b> .....	60
<b>GRAFİK TEORİSİ VE MATRİS YÖNTEMİ</b> .....	60
<b>3.1. Kriter Hiyerarşisinin ve Kriter İlişkilerinin Yönlü Grafik Gösterimi</b> .....	64
<b>3.2. Performans Değerlendirme Matrisi</b> .....	65
<b>3.3. Performans Değerlendirme Fonksiyonu</b> .....	67
<b>3.4. Performans İndeksi ve Alternatiflerin Performans Sıralaması</b> .....	70
<b>3.5. Benzerlik/Farklılık Katsayısı</b> .....	73
<b>DÖRDÜNCÜ BÖLÜM</b> .....	75
<b>SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ DEPO RAF SİSTEMİ DEĞERLENDİRME UYGULAMASI</b> .....	75
<b>4.1. Deponun Raf Sistemi Alternatifleri ile Modellenmesi</b> .....	81
<b>4.2. Uygulama 1: Yatırım Maliyetlerine Göre Uygulama</b> .....	87
<b>4.2.1. Depo Raf Sistemleri Kriter Değerleri</b> .....	88
<b>4.2.2. Performans Değerlendirme Matrisi</b> .....	102
<b>4.2.3. Performans İndeksi ve Raf Sistemi Alternatiflerinin Sıralanması</b> .....	103
<b>4.3. Uygulama 2: Yatırım ve On Yıllık Kullanım Maliyetlerine Göre Uygulama</b> .....	107
<b>4.3.1. Depo Raf Sistemleri Kriter Değerleri</b> .....	107
<b>4.3.2. Performans Değerlendirme Matrisi</b> .....	109
<b>4.3.3. Performans İndeksi ve Raf Sistemi Alternatiflerinin Sıralanması</b> .....	111
<b>SONUÇ</b> .....	114
<b>KAYNAKÇA</b> .....	116
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	124
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	126
<b>EKLER</b> .....	128
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	136

## TEZ ONAY SAYFASI

Sema KOŞAR SÜRÜL tarafından hazırlanan “DEPO RAF SİSTEMLERİNİN GRAFİK TEORİSİ VE MATRİS YÖNTEMİYLE OPTİMİZASYONU ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Süleyman DÜNDAR .....

Tez Danışmanı, İşletme Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İşletme Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 27/06/2022

**Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)**

**İmzası**

Başkan : Prof. Dr. Onur ÖZVERİ (DEÜ) .....

Üye : Prof. Dr. Fazil ALİOĞLU (VCU) .....

Üye : Prof. Dr. Süleyman DÜNDAR(IZBÜ) .....

Üye : Doç. Dr. İlyas HAŞİMOĞLU (KBÜ) .....

Üye : Doç. Dr. Hakan Murat ARSLAN (DÜ) .....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora Tezi derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ .....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

## **DOĞRULUK BEYANI**

Doktora tezi olarak sunduğum bu çalışmayı bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı herhangi bir yola tevessül etmeden yazdığımı, araştırmamı yaparken hangi tür alıntıların intihal kusuru sayılacağını bildiğimi, intihal kusuru sayılabilecek herhangi bir bölüme araştırmamda yer vermediğimi, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden olduğunu ve bu eserlere metin içerisinde uygun şekilde atıf yapıldığını beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak ahlaki ve hukuki tüm sonuçlara katlanmayı kabul ederim.

**Adı Soyadı:** Sema KOŞAR SÜRÜL

**İmza** :

## ÖNSÖZ

Tez konusunun belirlenmesi, literatür araştırması ve tez yazım sürecindeki katkı ve destekleri için Prof. Dr. Süleyman DÜNDAR'a teşekkür ederim.

Tez izleme jürisinde görev alan, kıymetli görüşleriyle beni tez sürecim boyunca destekleyen sayın hocalarım Prof. Dr. Fazil ALİOĞLU ve Doç. Dr. İlyas HAŞİMOĞLU'na teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sürecinde anlayışı ve fedakârlığı için eşim Uğur SÜRÜL'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca desteklerini gördüğüm annem Hatice KOŞAR, babam Nevzat KOŞAR ve kardeşim Burak KOŞAR'a teşekkür ederim.



## ÖZ

Bu çalışma ile minimum maliyetli, maksimum kapasiteli, depolama alanı hacmini maksimum kullanan, ürünlere ulaşımı en kolay olan, ürünlerin en hızlı şekilde raflara yerleştirilmesine ve raflardan alınmasına imkân tanıyan depo raf sistemini belirlemek amaçlanmıştır. Depo raf sistemi alternatiflerini değerlendirmek için birim maliyet, kapasite, ürün çeşitliliği, günlük işlem hacmi ve hacim verimi kriterlerine göre Grafik Teorisi ve Matris Yöntemi ile depo raf sistemi alternatiflerinin performans indeksleri hesaplanmıştır. Depo raf sistemi değerlendirme uygulamaları seramik sağlık gereçleri alanında faaliyette bulunan bir firmaya ait 35.080 m<sup>3</sup> hacimli bir depo için yapılmıştır. Ürün özellikleri ve depodaki ihtiyaçlara göre seramik sağlık gereçleri deposu için depo raf sistemi alternatiflerinin ön değerlendirmesi sonucunda uygulanabilir olan alternatifler; sırt sırta, dar koridor ve çift derinlikli raf sistemi olarak belirlenmiştir.

Depo raf sistemi alternatiflerinin performans indeks hesaplamaları iki senaryoya göre yapılmıştır. Birinci senaryoda yatırım maliyetlerine göre, ikinci senaryoda yatırım maliyetleri ile birlikte 10 yıllık kullanım maliyetlerine göre hesaplamalar yapılmıştır. Yatırım maliyetlerine göre yapılan hesaplamalar sonucunda depo raf sistemi alternatiflerinin performans indeksleri şu şekilde bulunmuştur: Dar koridor raf sistemi 6.41, çift derinlikli raf sistemi 5.51, normal koridor raf sistemi 4.75, geniş koridor raf sistemi 3.73. Yatırım ve 10 yıllık kullanım maliyetlerine göre yapılan hesaplamalar sonucunda depo raf sistemi alternatiflerinin performans indeksleri şu şekilde bulunmuştur: Dar koridor raf sistemi 6.47, çift derinlikli raf sistemi 5.51, normal koridor raf sistemi 4.42, geniş koridor raf sistemi 3.18. Hesaplanan performans indekslerine göre iki senaryo içinde depo alanının verimli ve etkin kullanım amaçlarını gerçekleştirebilmede en iyi olan depo raf sisteminin dar koridor raf sistemi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Depo Raf Sistemleri; Grafik Teorisi ve Matris Yöntemi; Çok Kriterli Karar Verme

## **ABSTRACT**

With this study, it is aimed to determine warehouse racking system that has minimum cost, maximum capacity, maximum use of storage space volume, easiest to access products, and allowance for products to be placed on the racks and removed from the racks in the fastest way. In order to evaluate warehouse racking system alternatives, performance indexes of warehouse racking system alternatives were calculated using Graph Theory and Matrix Approach according to the unit cost, capacity, product variety, daily transaction volume and volume efficiency criteria. Warehouse racking system evaluation applications were made for a warehouse with a volume of 35,080 m<sup>3</sup> belonging to a company operating on ceramic sanitary ware. As a result of the preliminary evaluation of the warehouse racking system alternatives for the ceramic sanitary ware warehouse according to the product features and the needs in the warehouse; warehouse racking system alternatives that can be applied were determined as back to back, narrow aisle and double deep racking system.

Performance index calculations of warehouse racking system alternatives were made according to two scenarios. Calculations were made according to the investment costs in the first scenario, and according to the 10-year usage costs together with the investment costs in the second scenario. As a result of the calculations made according to the investment costs, the performance indexes of the warehouse racking system alternatives were found as follows: Narrow aisle racking system 6.41, double deep racking system 5.51, normal aisle racking system 4.75, wide aisle racking system 3.73. As a result of calculations made according to investment costs and 10-year usage costs, the performance indexes of warehouse racking system alternatives were found as follows: Narrow aisle racking system 6.47, double deep racking system 5.51, normal aisle racking system 4.42, wide aisle racking system 3.18. According to the calculated performance indexes it has been concluded that the narrow aisle racking system is the best warehouse racking system to achieve the efficient and effective use of the warehouse space in two scenarios.

**Keywords:** Warehouse Racking Systems; Graph Theory and Matrix Approach;  
Multi Criteria Decision Making

## ARŞİV KAYIT BİLGİLERİ

<b>Tezin Adı</b>	Depo Raf Sistemlerinin Grafik Teorisi ve Matris Yöntemiyle Optimizasyonu
<b>Tezin Yazarı</b>	Sema KOŞAR SÜRÜL
<b>Tezin Danışmanı</b>	Prof. Dr. Süleyman DÜNDAR
<b>Tezin Derecesi</b>	Doktora
<b>Tezin Tarihi</b>	27/06/2022
<b>Tezin Alanı</b>	İşletme
<b>Tezin Yeri</b>	KBÜ/LEE
<b>Tezin Sayfa Sayısı</b>	136
<b>Anahtar Kelimeler</b>	Depo Raf Sistemleri; Grafik Teorisi ve Matris Yöntemi; Çok Kriterli Karar Verme

## ARCHIVE RECORD INFORMATION

<b>Name of the Thesis</b>	Optimization of Warehouse Racking Systems by Graph Theory and Matrix Approach
<b>Author of the Thesis</b>	Sema KOŞAR SÜRÜL
<b>Advisor of the Thesis</b>	Prof. Dr. Süleyman DÜNDAR
<b>Status of the Thesis</b>	Doctoral thesis
<b>Date of the Thesis</b>	27/06/2022
<b>Field of the Thesis</b>	Business
<b>Place of the Thesis</b>	KBU/LEE
<b>Total Page Number</b>	136
<b>Keywords</b>	Warehouse Racking Systems, Graph Theory and Matrix Approach, Multi Criteria Decision Making

## KISALTMALAR

<b>AÇSHB</b>	: Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı
<b>AÇSHBİSGGM</b>	: Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü
<b>AHP</b>	: Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Prosesi)
<b>ÇKKV</b>	: Çok Kriterli Karar Verme
<b>ELECTRE</b>	: Elemination and Choice Translating Reality English (Eleme ve Seçim Yöntemi)
<b>FIFO</b>	: First In First Out (İlk Giren İlk Çıkar)
<b>GTMA</b>	: Graph Theory and Matrix Approach
<b>GTMV</b>	: Grafik Teorisi ve Matris Yöntemi
<b>JUÜ</b>	: Jaipur Ulusal Üniversitesi
<b>LIFO</b>	: Last In First Out (Son Giren İlk Çıkar)
<b>MBDK</b>	: Merkez Bankası Döviz Kurları
<b>MEB</b>	: Millî Eğitim Bakanlığı
<b>STB</b>	: Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
<b>TDK</b>	: Türk Dil Kurumu
<b>TOPSIS</b>	: The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği)
<b>TSF</b>	: Türkiye Seramik Federasyonu
<b>TÜİK</b>	: Türkiye İstatistik Kurumu
<b>Vd.</b>	: Ve diğerleri

## ARAŞTIRMANIN KONUSU

İşletme yönetimlerinin ürünlerini üretimden sonra satışın ve alıcıya teslimatın gerçekleşeceği zamana kadar zarar görmeden muhafaza etmesi gerekmektedir. Bu süreç genel olarak ürünlerin depolanma süreci olarak ifade edilmektedir. İşletmeler için ürünlerin üretim maliyetlerine ilaveten depolama maliyetleri ortaya çıkmaktadır. İşletme yönetimleri için depolama sürecinin planlanmasında ve yönetiminde ürünlerin zarar görmemesi ve depolama sürecinin minimum maliyetle gerçekleştirilebilmesi önemlidir. İşletme yönetimleri için depolama sürecinin planlamasında depolama sistemine karar verilmesi çok kriterli karar verme problemi olarak ortaya çıkmaktadır. Depolamadaki çok kriterli karar problemlerinde karar kriterlerinin; ürünlerin zarar görmemesi, ürün sirkülasyonunun kolay olması, maliyetin en az olması, depolama kapasitesinin en çok olması, depolama alanı hacminin en çok kullanılması vb. kriterlere göre değerlendirmeler, analizler yapılarak belirlenmesi gerekir. Depolama sürecinde en önemli kararlardan birisi de depo içerisinde kurulacak depo raf sistemlerinin belirlenmesidir. Depolarda kullanılması gereken depo raf sistemleri; sektöre, ürünlerin özelliklerine ve niteliklerine ve işletme yönetimlerinin amaçlarına göre değişkenlik gösterebilmektedir. Bu değişkenliğe bağlı olarak alternatif depo raf sistemleri geliştirilmiştir.

Bu çalışmada; seramik sağlık gereçleri ürünlerinin depolanma sürecinde depolama amaçlarını gerçekleştirebilmek için kullanılacak depo raf sistemleri belirlenmiş, incelenmiş ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden Grafik Teorisi ve Matris Yöntemi (GTMY) ile hesaplamalar ve analizler yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar ve analizler sonucunda depo raf sistemi alternatiflerine ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.

Bu çalışma uygulamalı bir çalışmadır. Seramik sağlık gereçleri ürünlerinin depolanma sürecinde depo raf sistemlerinde işletme yönetiminin amaçlarını gerçekleştirebilmede alternatif depo raf sistemlerinin en iyiden en iyi olmayana şeklinde sıralaması GTMY ile yapılmıştır. Bu uygulama çalışması seramik sağlık gereçleri sektöründe önde gelen, Zonguldak ilinde üretim yapan bir işletmenin depo planlaması ve depo raf sisteminin belirlenmesi problemi üzerinde yapılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde depo, depolama, seramik sağlık gereçleri ve depolama, depo çeşitleri ve depo tasarımı konuları açıklanmıştır. Çalışmanın ikinci

bölümünde depo raf sistemleri, depo raf sistemlerinin seçimi, seramik sağlık gereçleri depolarında kullanılan raf sistemleri hakkında bilgi verilmiş, istifleme araçları incelenmiş ve istifleme aracı seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar açıklanmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde GTMY'nin adımları anlatılmıştır. Çalışmanın dördüncü ve son bölümünde ise seramik sağlık gereçlerinin depolanması için kullanılacak raf sistemi alternatifleri GTMY ile değerlendirilmiştir.



## LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Depo raf sistemleri üzerine literatür incelenmiş ve yapılmış olan çalışmalarla ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir:

- Anbiyaa vd. (2019), petrol ve gaz şirketleri tarafından kullanılan kimyasal ürünlerin depolandığı bir depo için tek derinlikli ve çift derinlikli raf sistemi alternatifleri arasından en uygununu belirlemişlerdir. Araştırmada depolama alanı güvenlik faktörlerine dayalı dört alana ayrılmıştır ve her alan için uygun raf sistemini bulmak amacıyla karma katsayılı doğrusal programlama ile maliyet optimizasyonu yapılmıştır. Ortaya çıkan raf sistemi kombinasyonu ile zeminde depolamaya göre %60 daha fazla palet depolama yapılabilmektedir.

- Zaerpour vd. (2019), depo raf sistemlerinin depolama kapasitesini ve işlem hacmini değiştirerek sistemleri yatırım ve işletme maliyetlerine göre karşılaştırmışlardır. Depolama kapasitesi ve verim düşük olduğunda manuel raf sistemlerine, depolama kapasitesi ve verim arttıkça daha küçük alanda daha fazla yük depolayabilen daha kompakt raf sistemlerine ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir.

- Demircan (2018), kot kumaş üretimi yapan bir firmanın sırt sırta raf sistemi ile tasarlanmış deposu için işlem sürelerini ve taşımaları azaltmak amacıyla depo yerleşim sisteminde raflara rastgele palet atama işlemine alternatif müşteri temelli bir yerleşim sistemi önermiştir. Önerilen ürün yerleşim sistemi ile alış hacmi yüksek müşterilerin ürünleri enerji sarfiyatı düşük olan konumlara ve benzer ürünlere sahip müşterilerin ürünleri komşu olan konumlara atanmıştır. Mevcutta uygulanan sistem ile karşılaştırıldığında müşteri alış hacminin büyüklüğüne göre erişilebilirlik ve enerji tüketiminde %9 ile %56 arasında, müşteri ürünlerini sevk etmek için indirilmesi gereken palet adedinde de %12 ile %56 arasında bir iyileşme gözlemlenmiştir.

- Indap (2018), depo raf sistemlerinin özelliklerini incelemiş ve ön değerlendirme ile e-ticaret giyim sektörü için uygun raf sistemi alternatiflerini sırt sırta raf sistemi, dar koridor raf sistemi ve otomatik raf sistemi olarak belirlemiştir. Çalışmasında raf sistemi alternatiflerini değerlendirmek için maliyet, hacimden faydalanma, yükseklikten faydalanma, yükleme kolaylığı ve stok devir hızı kriterlerini dikkate almıştır. AHP ile

raf sistemlerinin analizini yapmış ve e-ticaret giyim sektörü için en uygun raf sisteminin sırt sırta raf sistemi olduğu sonucuna varmıştır.

- Öztürkoğlu vd. (2014), birim yük depoları için geleneksel koridor tasarımlarına alternatif tasarımlar geliştirmişlerdir. Geleneksel koridor tasarımlarında raflar ve koridorlar birbirine paralel, koridorlar ve koridorlarının kesiştiği ana koridorlar ise birbirine diktir. Çalışmalarında geliştirmiş oldukları farklı koridor modelleri ile geleneksel koridorlara göre %5-12 oranında daha iyi performansa sahip modeller elde etmişlerdir.

- Rakesh ve Adil (2015), alan maliyetini ve malzeme taşıma maliyetini en aza indiren; depo raf sisteminin ve deponun boyutlarını belirleyen matematiksel bir model ve bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu model ile alan ve malzeme taşıma maliyetlerini minimize ederek toplam maliyette %14'e kadar tasarruf elde etmişlerdir.

- Mowrey ve Parikh (2014), dağıtım merkezleri deposunda tamamen geniş ya da tamamen dar koridor raf sistemi kullanıldığını belirterek dar ve geniş koridorların birlikte bulunduğu depo tasarımını önermişlerdir. Önerilen tasarım ile alan ve işçilik olmak üzere iki bileşene ayrılan toplam sistem maliyetini en aza indirmek amaçlanmıştır. Araştırmaları neticesinde tamamen geniş ya da tamamen dar koridor raf sistemi yerine karışık koridor genişlikleri kullanılarak oluşturulan bir depo ile yıllık 48 bin dolara kadar tasarruf edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

- Karakış (2014), hiyerarşik depo tasarım yöntemini kullanarak günlük işlem hacmi 2500 palet olan yeni dağıtım merkezi deposu tasarlamıştır. Depo tasarlama aşamasında rafların sırt sırta olarak yerleştirildiği bir depoya istifleme aracı seçimi için iki aşamalı bir analitik model geliştirmiştir. Modelin ilk aşamasında istifleme aracı alternatifleri için optimum maliyetleri hesaplamıştır. Modelin ikinci aşamasında maliyet, büyüme stratejilerini destekleme, esneklik, personel yönetimi, işlem doğruluğu ve uygulama başarısı kriterlerini dikkate alarak Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanmış ve alternatifleri değerlendirmiştir. Çalışması sonucunda günlük işlem hacmi 2500 palet olan depo için en uygun seçeneğin otomatik depo seçeneği olacağı sonucuna varmıştır.

- Süer (2012), çalışmasında kırtasiye sektöründe depo tasarımında izlenmesi gereken adımları belirleyerek örnek bir uygulama yapmıştır. Bu uygulamada, çalışılan depo sırt sırta raf sistemine göre tasarlanmıştır.

- Yılmaz (2011), çalışmasında sınırlı depolama alanı için birim depolama otomatik raf sisteminin üç alternatifini 12 katlı ve çift derinlikli, 24 katlı ve tek derinlikli, 12 katlı sırt sırta raf sistemi olarak belirlemiş ve alternatiflerden en uygununu seçmeyi hedeflemiştir. Bu amaçla verimlilik, ilk yatırım maliyeti ve gerekli depo alanı karar kriterlerini kullanarak ELECTRE ve TOPSIS yöntemleriyle alternatifleri değerlendirmiştir. İki yöntemle de 24 katlı ve tek derinlikli birim depolama otomatik raf sisteminin en uygun alternatif olduğu sonucuna varmıştır.

- Ekren ve Heragu (2010), çalışmalarında sınırlı bir depolama alanı için kat, koridor ve koridor başına bölme sayısına göre en iyi raf konfigürasyonuna sahip otomatik raf sistemini belirlemek adına simülasyon tabanlı bir regresyon analizi sunmuştur. Çalışmada beş performans ölçütü (depolama işlemlerinin ortalama çevrim süresi, geri alma işlemlerinin ortalama çevrim süresi, araçlar için işlemlerin ortalama bekleme süreleri, araçların asansörler için ortalama bekleme süreleri, araçların ortalama kullanım süreleri) ve raf konfigürasyonuna ait üç girdi (kat sayısı, koridor sayısı ve koridor başına bölme sayısı) kullanılmıştır. Uygulama yapılan depo için yapılan birçok tasarım arasından 6 katlı, 65 koridorlu ve 18 bölmeli raf tasarımını optimum seçenek olarak belirlemişlerdir.

- Baker ve Canessa (2009), depo tasarım süreci üzerine yapılan çalışmalarını incelemişler ve depo tasarım şirketleri ile görüşmeler yapmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda depo tasarım sürecinde uygulanan faaliyetlerin benzer olduğu ancak tasarım sürecindeki faaliyetler çeşitli kombinasyonlarda gruplandırılabilirdiğinden depo tasarımı için izlenmesi gereken kesin adımlardan bahsetmenin zor olduğu sonucuna varmışlardır.

- Lee vd. (2005), farklı boyutlarda birim yükleri depolayan, modüler hücrelerden oluşan otomatik raf sistemi kullanılan bir depoda en uygun hücre büyüklüğünü belirlemek için bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri model ile modüler hücrenin boyutunu ürünlerin boyutuna göre sistemdeki toplam kayıp alanları en aza indirecek şekilde belirlemişlerdir. Bu çalışma ile hücre büyüklüğünde yapılacak değişimler ile var olan raf sistemine göre alan kullanımının %58'e kadar azalacağı sonucuna varmışlardır.

GTMY üzerine literatür taraması yapıldığında GTMY'nin kullanıldığı çok fazla çalışmaya rastlanırken depo raf sistemi belirlemesine ilişkin çalışmaya rastlanamamıştır. Aşağıda GTMY ile ilgili ulaşılan bazı çalışmalara yer verilmiştir:

- Uysal ve Gülmez (2014), Türkiye'de Akdeniz Bölgesi'nde yer alan 8 ilden hangisinin lojistik merkez yeri olabileceğinin kararını GTMY ile vermişlerdir. Alternatif lojistik merkez yerleri; çevre, ekonomik, lojistik potansiyel, sosyal ve teknik kriterleri ile değerlendirilmiş ve lojistik merkez yeri seçimi için uygunluk sıralaması yapılmıştır. Bu sıralamada Antalya ili ilk sırada yer alarak lojistik merkez yeri için en uygun seçenek olarak bulunmuştur.

- Uysal (2011), çalışmasında Türkiye'de yenilenebilir enerji alternatiflerinin seçimini GTMY ile sunmuştur. Yenilenebilir enerji alternatifleri biyokütle enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji ve rüzgâr enerjisi; çevre, ekonomik, sosyo-politik, potansiyel ve teknoloji kriterleri ile değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda güneş enerjisi en iyi alternatif olarak belirlenmiştir.

- Baykosoğlu (2013), iş süreçlerini modellemede kullanılan "Processmodel" ve "Simprocess" isimli iki yazılımın değerlendirmek için GTMY'yi kullanmıştır. Toplam 8 adet ana kriter ve 36 adet alt kriter kullanılarak yapılan değerlendirmede tercih edilmesi önerilen yazılım "Simprocess" olarak bulunmuştur.

- Luqman vd. (2021), GTMY'yi kullanarak risk analizi yapmışlardır. Çalışmalarında bir elektrik üretim tesisinde buhar vana sisteminde gerçekleşen 8 adet hatayı (vananın uzun süre açık kalması, vananın sıkı kapatılmaması, buhar sızıntısı vb.) tanımladıktan sonra hataların gerçekleşme olasılığı, gerçekleştiklerindeki etki dereceleri ve gerçekleşmeden önce tespit edilebilme olasılığına göre değerlendirerek risk öncelik sıralaması elde etmişlerdir. Çalışmalarında tesis için en büyük riskin vanaların uzun süre açık kalması olduğu sonucuna varmışlardır.

- Virmani vd. (2021), Endüstri 4.0'ın benimsenmesindeki engelleri; operasyonel engeller, davranışsal engeller, insan kaynakları engelleri, yönetim engelleri ve prosedür engelleri olarak beş sınıfa ayırmış ve GTMY'yi kullanarak otomobil endüstrisinde bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada Endüstri 4.0'ın benimsenmesindeki en önemli engelin yönetim engeli olduğu sonucuna varmışlardır.

- Rabbani vd. (2019), bir petrokimya tesisini kritik 10 birime ayırmış (kalite kontrol, laboratuvar, yönetim ve planlama vb.) ve birimlerin esneklik endeksini GTMY ile hesaplayarak performans değerlendirmesini yapmışlardır. Bu değerlendirme herhangi bir aksama durumunda tesisin zayıf ve güçlü yönlerinin belirlenmesi adına yapılmıştır.
- Safari vd. (2013), CNC makinesi seçimi için ilk adımda ağırlık, güç, fiyat, mil, çap ve yükseklik kriterlerinin ağırlıklarını bulanık AHP kullanarak hesaplamışlardır. Belirlenen 6 CNC makine alternatifinin değerlendirilmesi için elde edilen kriter ağırlıkları GTMY’de kullanılmış ve alternatiflerin tercih edilebilirlik sıralaması elde edilmiştir.
- Mohaghar vd. (2014), 8 tedarikçi firma alternatifini; teknoloji ve yatırım (K1), lisanslar, sertifikalar ve gerekli yönetim sistemleri (K2), deneyimi ve iş itibarı (K3), insan kaynakları (K4), finansal istikrar ve güç (K5), coğrafi konum ve erişim kolaylığı (K6), üretim kapasitesi, siparişleri yönetme ve planlama yeteneği ve değişen ihtiyaçları karşılama esnekliği (K7) kriterleri ile değerlendirerek GTMY ile tercih edilebilirlik sıralaması elde etmişlerdir.
- Agrawal vd. (2016), cep telefonu üretici firması için iade edilen bir cep telefonunun elden çıkarılması kararının alınmasında GTMY’yi kullanmışlardır. Onarma ve yeni olarak satma, onarma ve yenileme, yeniden üretme ve satma, geri dönüşüm olarak belirlenen elden çıkarma kararları müşteri tutumu, piyasa koşulları, işlem maliyeti vb. gibi 8 kriter altında incelenmiştir. Sonuçlar, iade edilen cep telefonunun elden çıkarılması için yeniden üretim yerine geri dönüşümün tercih edildiğini göstermektedir.

## ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

Depo raf sistemi seçimi genel depo maliyetini ve performansını doğrudan etkileyen bir karardır. Depoya uygun raf sistemi belirlemesiyle;

- Depolama ve dağıtım işlemini en kısa sürede ve en az hatayla gerçekleştirmek
- Depo ekipman ve araçlarını verimli kullanmak
- Depodaki ürünlere kolay erişilmesini sağlamak
- Depolanan ürün çeşidini ve miktarını arttırmak
- Maliyetleri düşürerek kârlılığı arttırmak
- Talepleri hızla karşılayarak müşteri memnuniyetini sağlamak
- Fire ve kayıp oranlarını azaltmak
- Veri güvenilirliğini arttırmak

mümkün olacaktır (Acar & Çakmak, 2017). Bu nedenle uygun depo raf sistemine karar vermek bir kuruluşun karlılığı için çok önemli bir konudur. Depo raf sistemi üzerine literatür incelendiğinde depo raf sistemi seçimiyle ilgili az çalışma yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmanın amacı deponun daha etkin ve verimli kullanılmasına imkân tanıyan minimum maliyetli, maksimum kapasiteli raf sistemini belirleme problemine; örnek bir depo üzerinden raf sistemlerini değerlendirerek literatüre katkıda bulunmaktır. Bu çalışmanın işletmelere depolama süreçlerinde etkin ve verimli bir depolamanın sağlanabilmesi için depo raf sistemlerinin değerlendirilmesinde fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın uygulamaları Zonguldak ilinde seramik sağlık gereçleri üretimi yapan ve üretimini 65 ülkeye ihraç eden bir firmada yapılmıştır. Seramik sağlık gereçleri sektörü ihracatta yerli kaynakları en çok kullanan, ithal ürünlere bağımlılığı en az olan sektörlerden biri olup ülkemizin önemli sektörlerindedir. Bu sektördeki firmalar pazarda rekabet edebilmek, üretimde süreklilik sağlamak ve pazara zamanında ürün yetiştirmek için etkin bir depolamaya ihtiyaç duymaktadır. Örnek uygulamaların bu sektörde yapılması çalışmanın önemini artırmaktadır.

## ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

Bu çalışmada depo raf sistemlerinin performanslarını değerlendirmek için Grafik Teorisi ve Matris Yöntemi (GTMY) kullanılmıştır. Bu yöntemin İngilizce tanımlaması, Graph Theory and Matrix Approach (GTMA)'tır. Türkçe literatür bakıldığında 'Graf Teori ve Matris Yaklaşımı, Çizge Teori ve Matris Yöntemi, Serim Teori ve Matris Yaklaşımı' şeklinde ifadeler görülmektedir. İngilizce 'Graph' kelimesinin Türkçe karşılığı 'grafik, çizge, çizelge ...' anlamlarına gelmektedir. Türkçe de graf kelimesi olmadığı için ve bilim dilinin Türkçe olması gerekliliğinden bu yöntemin isimlendirilmesi Grafik Teorisi ve Matris Yöntemi (GTMY) olarak tanımlanmıştır. Bu çalışma kapsamında Grafik Teorisi ve Matris Yöntemi (GTMY) tanımlaması kullanılacaktır. Bu yöntem ile raf sistemi alternatiflerinin amaçlara yaklaşma derecesi belirlenerek tercih edilebilirlik sıralaması elde edilmiştir.

GTMY belirli bir problem için çok sayıda alternatif arasından en uygunun belirlenmesi için kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Mantıklı ve sistematik bir yöntem olan GTMY, sistemi ve alt sistemi bileşen seviyesine kadar tanımlayarak sistemi bir bütün olarak analiz etmeye ve anlamaya yardımcı olur (Geetha & Sekar, 2017).

GTMY'de performans değerlendirme kriterleri ve alternatifler belirlendikten sonra belirlenen kriterleri düğüm kabul eden kriter yönlü grafiği oluşturulmaktadır. Kriter yönlü grafiği, kriterler ve kriterlerin ikili karşılaştırmaları için hızlı görsel değerlendirme sağlayan, kriterlerin önem sırasına göre hazırlanmış bir çevrimi gösteren grafik sunumdur. M kriter için m tepeli olan bu yönlü grafik, satır ve sütunlar ile ifade edilip matris şeklinde gösterilerek mxm boyutunda kriter karşılaştırma matrisi oluşturulmaktadır. Daha sonra alternatiflerin kriter değerleri bulunup mxm boyutunda kriter değerleri matrisleri oluşturulur. Her alternatif için bu iki matris toplanarak n adet alternatif için n adet performans değerlendirme matrisi oluşturulur. Alternatiflerin amaçlara yaklaşma derecesini belirlemek için türetilen performans değerlendirme fonksiyonuna matris değerleri girilerek fonksiyonun sayısal değeri elde edilir. Bu fonksiyonun sayısal değeri performans indeksi olarak kullanılmaktadır. Performans değerlendirme fonksiyonu sadece pozitif terimleri içerdiği için alternatiflerin kriter değerlerindeki artışlar performans indeksinde artışı sağlar. Bu nedenle indeksin artması

amaçlara yaklaşma durumunun iyileştiğini ifade eder. Alternatiflerin performans indeksleri büyükten küçüğe sıralanarak tercih edilebilirlik sıralaması elde edilir. Bu sıralamaya ek olarak elde edilen farklılık/benzerlik katsayıları ile alternatiflerin performansları ikili olarak karşılaştırılır ve sonuçlar değerlendirilir.

GTMY'nin tercih edilme sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Rao, 2007):

- GTMY ile karar problemleri kolaylıkla modellenabilir ve analiz edilebilir.
- GTMY grafik gösterimi ile görsel değerlendirme sağlar.
- GTMY çoğu çok kriterli karar verme yönteminden farklı olarak AHP gibi kriter etkileşimlerini ve kriterlerin ikili karşılaştırma değerlerini göz önünde bulundurur.
- GTMY ile istenilen sayıda nicel ve nitel kriter birlikte dikkate alınabilir.
- GTMY kriter değerlerinin değişimine çok duyarlıdır. Bu yöntemde kriter değerindeki küçük bir değişiklik sonuç üzerinde anlamlı değişikliklere neden olmaktadır.



## KAPSAM VE SINIRLILIKLAR/KARŞILAŞILAN GÜÇLÜKLER

Araştırmanın sınırlılıkları ve araştırma yapılırken karşılaşılan güçlükler aşağıda sıralanmıştır:

- Araştırmada seramik sektöründe ölçüleri belirli bir depo için raf sistemleri değerlendirilmiştir.
- Örnekleme seramik sağlık gereçleri üretimi yapan bir firmada yapılmış; farklı bölge ve farklı çalışma kültürüne sahip firmaların da aynı bakış açısıyla çalıştığı varsayılmıştır.
- Araştırmada istenilen depo operasyonlarında beklenen minimum istekler firmada çalışan uzman kişiler tarafından hesaplanarak verilmiş bilgilerdir. Bu bilgilerin depo operasyonlarında beklenen hareketliliğin doğru hesaplanarak verildiği kabul edilmiştir.
- Dünya genelinde 2019 yılında ortaya çıkan COVID 19 salgını nedeniyle depoda yapılan uygulamalarda zorluklar yaşanmıştır. Bu durum uygulama süreçlerinin beklenenden uzun ve daha kısıtlı olmasına sebebiyet vermiştir.
- Depo raf sistemlerine göre depo tasarlanırken koridor aralıkları, depolama alanının ölçüleri ve istifleme aracının teknik özellikleri dikkate alınarak belirlenmiştir.
- İstifleme aracı firmalarının fiyat bilgisini net olarak vermek istememelerinden kaynaklı, firmalar çalışmada kullanılan araçlara istinaden ortalama fiyat belirtmişlerdir.

# BİRİNCİ BÖLÜM

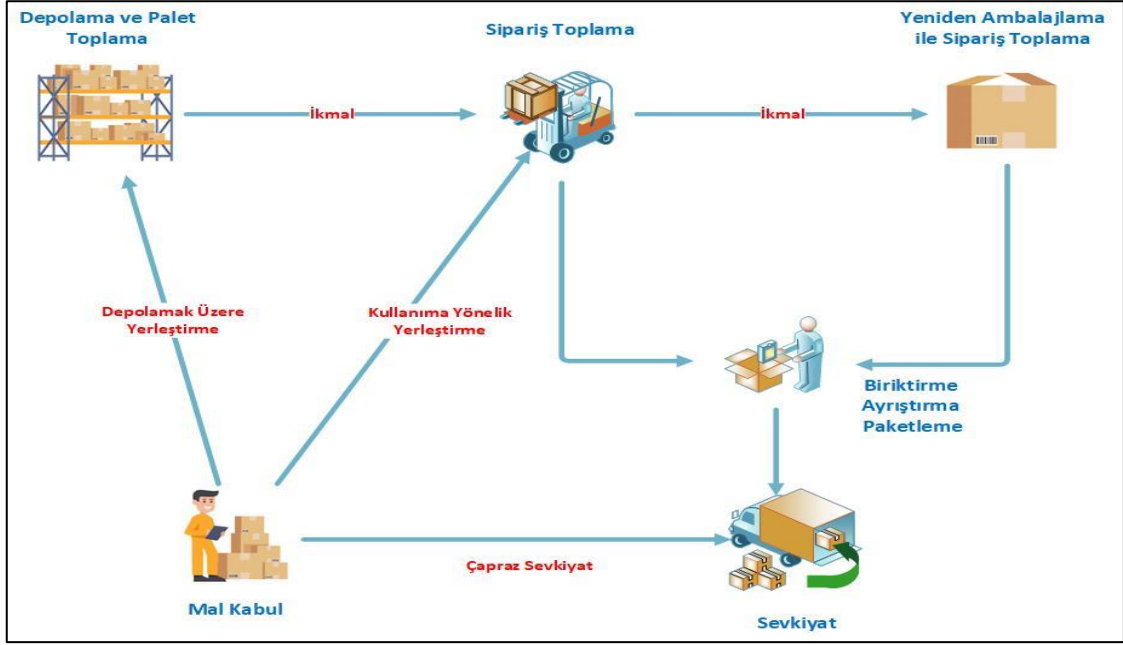
## DEPO VE DEPOLAMA

### 1.1. Depo ve Depolama Kavramı

Ürünlerin bir kaynaktan alınıp ihtiyaç duyulana kadar saklandığı alana depo denir. Depolar; tedarikçi, üretici, dağıtıcı ve perakendeciler açısından ürünlerin saklandığı, korunduğu ve sevke hazır hale getirildiği yerler oldukları için büyük öneme sahiptir. Depolarda depolama faaliyetlerine ek olarak ürünlerin test edilmesi, incelenmesi, onarımı, iade işlemleri, montajı, paketleme ve etiketleme işlemleri gibi katma değerli hizmetler de gerçekleştirilebilmektedir (Heragu vd., 2005; Şener, 2015). Depolar aşağıdaki işlevleri yerine getirir (JUÜ, 2013; Ackerman, 2012; Ertek 2012):

- **Malların korunması:** Bir depo, malların ısı, toz, rüzgâr, nem gibi nedenlerle yaşanan kayıp veya hasardan korunmasını sağlar. Farklı ürünler için hava koşullarından koruma derecesine göre kurulan depolar sayesinde bozulma ve israftan kaynaklanan kayıplar azalmaktadır.
- **Sınıflandırma:** Çok sayıda ürünün olduğu durumlarda depolarda yapılacak planlı yerleştirme ile ihtiyaç duyulacak ürüne ulaşım ve ilgili ürünle işlem yapma kolaylığı sağlanır.
- **Maliyet avantajı:** Depolar sayesinde üretim veya satın alımlarda büyük ölçeklere ulaşılabilmesi birim başına maliyeti düşürmekte ve maliyet avantajı sağlamaktadır.
- **Müşteri memnuniyeti:** İyi yapılmış bir depolama ile müşteri talebini karşılama süresi kısalmır hem zamandan hem de maliyetlerden tasarruf edilerek müşteri memnuniyeti sağlanır.

Depolarda gerçekleşen temel faaliyetler mal kabul, ürün yerleştirme, depolama, sipariş toplama, biriktirme, ayrıştırma, paketleme ve sevkiyat olarak sayılabilir. Depolama faaliyetlerindeki aksaklık, malzemenin istenilen zamanda tedarik edilememesine ve üretim sürecinin aksamasına neden olmaktadır (Küçüköğlü vd., 2018). Tompkins vd. (2003) tipik depo iş akışını Şekil 1.1'deki gibi göstermektedir.



Şekil 1. 1. Tipik depo iş akışı

Depolama ise ürünlerin korunması için belirli bir alanda saklanması ve tutulması faaliyetlerini ifade etmektedir. Başka bir deyişle, depolama; ürünleri satın alma veya üretme anından fiili kullanımına veya satışına kadar büyük miktarlarda tutmak, muhafaza etmek anlamına gelir. Depolama, stok yönetimi ile yakından bağlantılıdır. Bu yakın bağlantıdan kaynaklı olarak bazen depolama ve stok yönetimi aynı fonksiyon olarak kabul edilir ama aslında stok yönetimi stokla ilgili kararlarla ilişkili yönetim fonksiyonu iken depolama fiziksel olarak ona bakan operasyonel fonksiyondur (Kaya, 2020).

Depolama, ürünlerin üretimi ve tüketimi arasındaki zaman boşluğunu doldurarak zaman faydası yaratır. Çoğu ürünün içinden geçtiği lojistik süreçlerden biri olan depolama ticaretin önemli yardımcılarından biridir. Dünya genelinde 2019 yılında ortaya çıkan COVID 19 salgın süreciyle birlikte depolama talepleri artmıştır ve salgın sürecinden başta otomotiv sektörü olmak üzere en çok stok seviyelerini sıfırda tutan sektörler etkilenmiştir.

Depolamanın neden gerekli olduğu aşağıdaki gibi sıralanabilir (JUÜ, 2013):

- **Mevsimlik üretim:** Tarımsal ürünler belirli mevsimlerde hasat edilmekte, ancak tüketimi veya kullanımı yıl boyunca gerçekleşmektedir. Bu nedenle, bu ürünlerin gerektiği zaman tedarik edilebilmesi için uygun şekilde depolanmasına ihtiyaç vardır.

- **Mevsimsel talep:** Kışın yönlü giysiler, yağmurlu mevsimde Őemsiye gibi mevsimlik talep edilen bazı ürünler vardır. Bu rnlerin üretimi mevsimsel talebi karşılamak için yıl boyunca yapılmaktadır. Dolayısıyla, bu ürünleri ihtiyaç anında hazır bulundurmak için bir depoda saklamaya ihtiyaç vardır.

- **Büyük lekli üretim:** reticiler; ürünlerinin mevcut ve gelecekteki taleplerini karşılamak, daha ekonomik olan büyük ölçekli üretimden faydalanmak için büyük miktarda mal üretirler. Bu nedenle, büyük ölçekte üretilen bitmiş ürünlerin satılana kadar uygun Şekilde depolanması gerekir.

- **Hızlı tedarik:** Hem endüstriyel hem de tarımsal ürünler belirli yerlerde üretilmekte ancak ülke genelinde tktilmektedir. Bu nedenle, bu ürünlerin tktim yerlerine yakın bir yerde depolanması ve ihtiyaç anında tkticilere herhangi bir gecikme olmaksızın sunulması için depolanması gereklidir.

- **Sürekli retim:** Fabrikalarda sürekli üretim, yeterli ham madde tedarikini gerektirir. Bu nedenle, sürekli üretimi sağlamak için depoda yeterli miktarda ham madde stoku bulundurma ihtiyaı vardır.

- **Fiyat istikrarı:** Piyasadaki malların fiyatını makul bir seviyede tutmak için depolarda yeterli miktarda stok bulundurma ihtiyaı vardır. Mal arzındaki kıtlık, piyasadaki fiyatlarını artırabilir. Yine aşırı üretim ve arz da ürün fiyatlarının düŐmesine neden olabilir. Depo, mal tedarik dengesini koruyarak fiyat istikrarına sağlar.

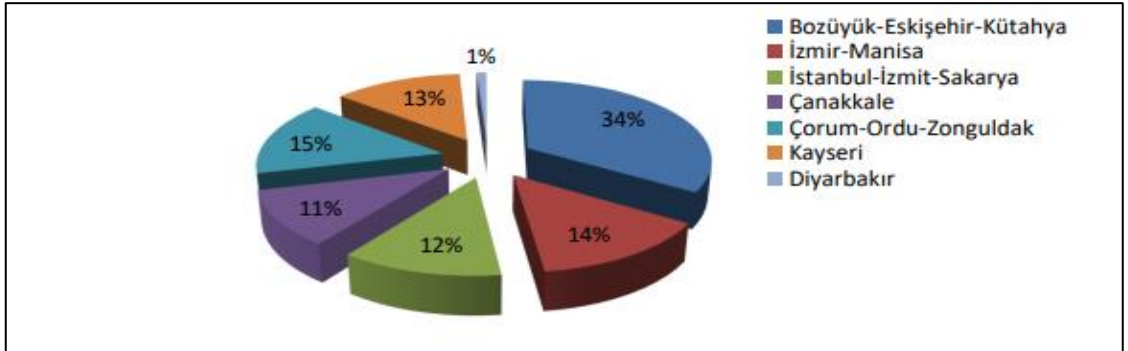
## 1.2. Seramik Sağlık Gereçleri Sektörü ve Depolama

Seramik sağlık gereçleri metal oksitleri içeren kaolen, kil, feldispat ve kuvars gibi inorganik maddelerin akıŐkan çamur haline getirilip, alçı gibi su emme özelliği olan kalıplarda Őekillendirdikten sonra, 1200-1250 °C sıcaklıkta piŐirilmesiyle elde edilen ürünlerdir (Topaloğlu, 2016). Seramik sağlık gereçleri konut, iş yeri vb. yapılarda ihtiyaç duyulan genellikle banyo ve tuvaletlerde kullanılan malzemelerdir. Bu rnler yüksek darbeye dayanıklı olup hijyenik kullanım ve düşük su emme özelliklerine sahiptir.



Şekil 1. 2. Seramik sağlık gereçleri

Seramik sağlık gereçleri sektöründe Türkiye’de 9 adet büyük ölçekli ve 30 adet küçük ve orta ölçekli şirket üretim yapmaktadır. Seramik sağlık gereçleri üreticileri Bilecik, Çanakkale, Çorum, Diyarbakır Eskişehir, İstanbul, İzmir, Kayseri, Kocaeli, Kütahya, Manisa, Ordu, Sakarya, Tekirdağ ve Zonguldak illerinde yer almaktadır. Sektör yoğun olarak %34,3 payla Bozüyük- Eskişehir- Kütahya illerinde kümelenmiştir. Sektörün diğer yerleşim bölgeleri; %15,3 payla Çorum- Ordu- Zonguldak illeri ile Karadeniz, % 14,1 payla İzmir- Manisa illeri ile Ege Bölgesi, %13,0 payla Kayseri ili ile İç Anadolu Bölgesi, %12,0 payla İstanbul-İzmit-Sakarya illeri ve %11,2 payla Çanakkale ili ile Marmara Bölgesidir. Seramik sağlık gereçleri tesislerinin kurulu kapasitelerin ülke çapındaki dağılımı Şekil 1.3’te görülmektedir (STB, 2020).



Şekil 1. 3. Seramik sağlık gereçleri üretim tesislerinin ülke çapındaki dağılımı

Tablo 1.1’de 2013-2019 yılları arasında seramik sağlık gereçleri üretim adeti, iç pazardaki satış adeti, ihracat adeti ve üretime göre satış yüzdeleri listelenmiştir. Tabloda yer alan veriler incelendiğinde 2013 yılından 2017 yılına kadar olan süre zarfında seramik sağlık gereçleri üretim kapasitesinde bir artış görülürken 2018 ve 2019 yıllarında düşüş görülmektedir. Üretimde olduğu gibi iç satış adetinde de 2017 yılına kadar düzenli bir artış görülürken 2018 ve 2019 yıllarında düşüş görülmektedir. İhracat

adetinde, 2015'teki küçük miktarda düşüğe karşın sürekli artış gerçekleşmekte ve 2019 yılındaki ihracat adeti 2013 yılına kıyasla yaklaşık %38'lik bir artış göstermektedir.

Tablo 1. 1. Seramik sağlık gereçleri üretim, iç pazar ve ihracat verileri

Yıllar	Girişimci sayısı	Üretim (adet)	Satış (adet)	%	İç pazar satış (adet)	%	İhracat (adet)	%
2013	38	16.869.237	16.241.692	96.28	9.659.703	57.26	6.581.989	39.02
2014	39	18.793.286	18.122.688	96.43	11.230.396	59.76	6.892.292	36.67
2015	43	21.307.449	20.766.291	97.46	13.990.524	65.66	6.775.767	31.80
2016	44	21.800.544	21.078.160	96.69	13.944.026	63.96	7.134.134	32.72
2017	48	23.135.355	22.494.918	97.23	14.674.944	63.43	7.819.974	33.80
2018	46	18.868.800	18.477.256	97.92	9.901.594	52.48	8.575.662	45.45
2019	38	17.564.782	16.687.334	95.00	7.617.365	43.37	9.069.969	51.64

Kaynak: (TSF, 2021)

Dünya seramik sağlık gereci üretiminin yaklaşık %10'u ülkemizde üretilmektedir. Seramik sağlık gereçleri sektöründe Türkiye, Avrupa'daki en büyük üretici ve ihracatçı ülkedir (STB, 2020). Dünya seramik sağlık gereçleri ihracatında 2020 yılında en büyük üç ihracatçı Çin, Meksika ve Almanya olurken Türkiye bu üç ülkenin hemen arkasında yer alarak dördüncü büyük ihracatçı olmuştur. Türkiye'nin dünya ihracatındaki payı, Trade Map 2020 yılı seramik sağlık gereçleri ihracat verilerine göre %2.2'dir. Dünya seramik sağlık gereçleri ithalatında ise Türkiye, 226 ithalatçı ülke arasında 99. sıradadır. Türkiye'nin dünya ithalatındaki payı Trade Map 2020 yılı seramik sağlık gereçleri ithalat verilerine göre %0.1'dir (Trade Map, 2021).

İthal ürünlere bağımlılığı az olan ve daha çok yerli girdiler kullanılan seramik sağlık gereçleri sektörü yüksek ihracat rakamları ile ülkemizin rekabet gücüne katkı sağlamaktadır. Bu sektördeki firmalar ürünlerinin korunmasını sağlamak, depoların büyük ölçekli üretim ve sınıflandırma işlevlerinden faydalanıp hem zamandan hem maliyetten tasarruf ederek müşteri memnuniyeti sağlamak için depolara ihtiyaç duymaktadırlar. Depolarda mal kabul, ürün yerleştirme, depolama, sipariş toplama, biriktirme, ayrıştırma, paketlenme ve sevkiyat gibi işlemler depo operasyonları adı altında yapılmaktadır. Bu işlemlere bakıldığı zaman depo operasyonları ürünleri muhafaza etmekten ziyade bir ürün akışını yönetmektedir. Diğer sektörlerde olduğu gibi bu sektörde de depolar ile büyük hacimde depolanan ürünlerin doğru, hızlı ve verimli ürün akışının sağlanması amaçlanmaktadır. Ayrıca bu sektördeki firmalar;

- Ürünlerin üretimi ve tüketimi arasındaki zaman boşluğunu doldurarak zaman faydası yaratmak
- Ürünlerinin mevcut ve gelecekteki taleplerini karşılamak
- Ürünlerini ihtiyaç anında tüketicilere herhangi bir gecikme olmaksızın sunmak
- Sürekli üretimi sağlamak için depoda yeterli miktarda ham madde stoku bulundurmak
- Fiyat istikrarı sağlamak

için etkin bir depolamaya ihtiyaç duymaktadır.

### 1.3. Depo Türleri

Depolar mülkiyetine göre, fonksiyonuna göre, yerleşim yerine göre, hava koşullarından korunma derecesine göre, ürünün türü ve özelliklerine göre ve otomasyon düzeyine göre altı grupta sınıflandırılabilir (Kabadayı, 2020).

#### 1.3.1. Mülkiyetine Göre Depo Türleri

Mülkiyet biçimine göre depolar; genel depolar, özel depolar, kamu kurum ve kuruluşlarına ait depolar ve antrepolar olarak dört gruba ayrılabilir.

**Genel depolar:** Bu tür depolarda bir veya birden fazla işletme kira karşılığı ürünlerini saklamaktadır. Bu depolar sayesinde işletmeler herhangi bir depo yatırımı yapmadan kira bedeli karşılığında depolama hizmetlerini sağlamaktadır (Tanyaş & Baskak, 2012).

**Özel depolar:** Bu tür depolarda deponun ve depo araçlarının mülkiyeti işletmeye aittir ve işletme, depolama faaliyetlerini kendisi yürüttüğü için yüksek kontrole sahiptir. Çok büyük yatırım gerektiren özel depoların riskleri fazla olmasına rağmen uzun dönemde deponun verimli kullanılması ve iyi bir depo yönetimi ile kiralanan depolara göre daha az maliyetli olabilmesi, esneklik sağlaması gibi avantajları vardır (Aras vd., 2018).

**Kamu kurum ve kuruluşlarına ait depolar:** Devlete ait kurum ve kuruluşlar tarafından kullanılan, mülkiyeti ve idaresi bu kurum ve kuruluşlara ait olan depolardır. Örneğin; üniversite, adliye, belediye gibi kamu kurum ve kuruluşları faaliyetlerini

gerçekleştirebilmek için çeşitli ürünlerini kendi depolarında saklamaktadır (Kabadayı, 2020).

**Antrepolar:** Gümrüklere gelen ticari ürünlerin konulduğu ve taşımaya hazır hale getirildiği kapalı veya açık alanlara antrepo denir. Antrepolar gümrüklü sahalarda kurulan ve 4458 sayılı Gümrük Kanunu ile Gümrük Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen hizmetleri veren, ürünlerin kıymet tespitinin yapılması için kalite, nitelik ve nicelik bakımından incelendiği ve uygun şekilde korunduğu depolardır (Arlı, 2009).

### 1.3.2. Fonksiyonuna Göre Depo Türleri

Fonksiyonuna göre depolar; geleneksel, terminal, toplama merkezi, dağıtım merkezi, aktarma merkezi ve sipariş işleme merkezi olarak altı sınıfa ayrılabilir.

**Geleneksel depolar:** Fabrikanın veya satış mağazasının çok yakınında veya içinde bulunan, ürünlerin ihtiyaç duyulana kadar kaldığı tesislerdir. Ürün giriş-çıkış hareketleri düşük düzeyde olan bu depolarda genelde ürünler uzun süre kalmaktadır (Tanyaş, 2014).

**Terminal depolar:** Büyük pazarların merkezi noktalarında bulunan çok sayıda üretici ve dağıtıcı şirket ile lojistik şirketlere hizmet veren yüksek kapasiteli tesislerdir (Tanyaş & Baskak, 2012).

**Toplama merkezi depolar:** Tedarikçilere yakın noktalarda kurulan, üretim yerlerine büyük hacimli, ham madde çeşidi bazında az ama karma ürün sevkiyatı sağlamak amacıyla kurulan depolardır (Tanyaş, 2014).

**Dağıtım merkezi depolar:** Müşteri taleplerini hızlı karşılamak için dağıtım fonksiyonuna ve perakendeye destek amaçlı olarak kurulan tesislerdir. Bu depolarda müşterilere toplu sevkiyat gerçekleştirmek için farklı firmalardan gelen ürünlerden ürün karması hazırlanarak sevk edilmektedir (Tanyaş & Baskak, 2012).

**Aktarma merkezi depolar:** Çapraz sevkiyat depoları olarak da adlandırılan bu depolar ürünlerin genelde istiflenmeden aktarıldığı, çok kısa süreli kaldığı depolardır (Tanyaş, 2014).

**Sipariş işleme merkezi depolar:** Genelde internetten adet bazında satış yapılan sistemlerde siparişlerin alındığı ve sevk edilmeye hazır hale getirildiği depolardır (Tanyaş, 2014).



### 1.3.3. Yerleşim Yerine Göre Depo Türleri

Yerleşim yerine göre depo türleri bölgesel depolar, merkezi depolar ve transit depolar olmak üzere üç gruba ayrılabilir (Bektaş Batıner, 2018).

**Bölgesel depolar:** Belirli bir bölgeye hizmet vermek için kurulan depolardır. Akdeniz Bölgesi'ne hizmet vermek için Antalya'da kurulan bir depo bölgesel depoya örnek olarak verilebilir.

**Merkezi depolar:** Pazara ve müşteriye yakın, ulaşımın kolay olduğu, merkezi yerlerde kurulan depolardır. Ürünler bu depolarda toplanır, korunur ve dağıtılırlar.

**Transit depolar:** Bu depolarda depoya gelen ürünler genelde depolanmadan ayırıştırma, birleştirme, etiketleme vb. gibi operasyonlardan sonra hızlı bir şekilde müşterilere ulaştırılırlar. Transit depolar ve aktarma merkezleri aynı fonksiyona sahiptirler.

### 1.3.4. Hava Koşullarından Korunma Derecesine Göre Depo Türleri

Hava koşullarından korunma derecesine göre depolar; açık hava depoları, kapalı depolar ve soğuk hava depoları olarak üçe ayrılabilir (Bektaş Batıner, 2018).

**Açık hava depoları:** Etrafı ve üst kısmı bir yapı ile kapatılmayan depolar açık hava depoları olarak adlandırılmaktadır. Ürünler açık havada hava şartlarından etkilenmeye müsait bir şekilde durduğu için bu tür depolarda hava şartlarına karşı korunmaya ihtiyacı olmayan ürünler depolanmaktadır.

**Kapalı depolar:** Depolama kavramı düşünüldüğünde ilk olarak akla gelen kapalı bir yapı içerisinde bulunan depolardır. Bu tip depolar ürünlerin hava şartlarından etkilenmeden korunmasını sağlar.

**Soğuk hava depoları:** Soğuk hava depoları, bozulabilir nitelikteki ürünlerin tazeliklerini korumak için uygun sıcaklık derecesinde muhafaza edildiği depolardır. Et, balık, süt, yoğurt, ilaç gibi ürünler bu depolarda saklanmaktadır.

### 1.3.5. Ürünün Türü ve Özelliklerine Göre Depo Türleri

Depolanan ürünlerin türü ve özelliklerine göre depolar tehlikeli madde depoları, gıda depoları, gıda dışı depolar, ham madde depoları, yarı mamul depoları ve bitmiş ürün depoları olarak ayrılabilir (Kabadayı, 2020).

**Tehlikeli madde depoları:** Tehlikeli madde olarak adlandırılan yanıcı, patlayıcı ve tutuşucu gibi özelliklere sahip ürünleri saklamak için kullanılan depolara tehlikeli madde depoları denmektedir.

**Gıda depoları:** Yiyecek içecek maddelerinin depolandığı alanlardır.

**Gıda dışı depolar:** Gıda harici ürünlerin depolandığı alanlardır.

**Ham madde depoları:** Üretimde kullanılacak olan hammadde halindeki ürünlerin depolandığı alanlardır.

**Yarı mamul depoları:** Tam işlenmemiş, son tüketici tarafından tüketime hazır hale gelmemiş, yarı mamul olarak adlandırılan ürünlerin depolandığı alanlara yarı mamul depoları denilmektedir.

**Bitmiş ürün depoları:** Satışa hazır hale gelmiş ürünlerin muhafaza edildiği yerlerdir. Bu depolar üretim tesislerine yakın yerlerde kurulmaktadır.

### 1.3.6. Otomasyon Düzeyine Göre Depo Türleri

Depolar otomasyon düzeyine göre; düşük irtifalı depolar, yüksek irtifalı depolar ve otomatik depolar olmak üzere üç gruba ayrılabilir.

**Düşük irtifalı depolar:** Çatallı istifleme aracı, palet taşıyıcı gibi araçlarla operasyonların yürütüldüğü genellikle 6-7 metre yüksekliğe sahip depolardır (Tanyaş & Baskak, 2012).

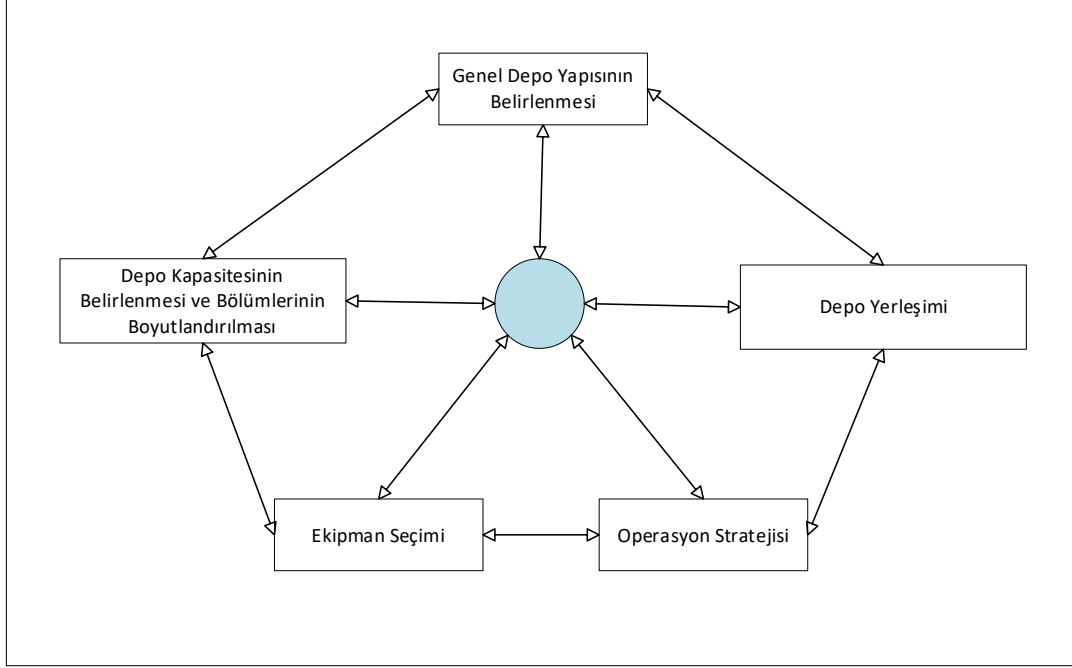
**Yüksek irtifalı depolar:** Depo tavan yüksekliği genellikle 10 m ile 16 m arasında olan ürün giriş çıkış trafiği yüksek depolardır. Bu sebeple bu depolarda kule istifleme aracı, yüksek irtifa istifleme aracı gibi ekipmanlar kullanılmaktadır (Kabadayı, 2020).

**Otomatik depolar:** İnsan faktörü en az seviyeye indirgenen bilgisayar destekli operasyonlar yapılan depolardır. Bu tip depolarda kurulum ve ilk yatırım maliyeti daha sonrasında ise bakım maliyetleri yüksektir (Şenocak, 2014).

## 1.4. Depo Tasarımı

Depo tasarımı, deponun kurulum maliyetini etkileyen birbiriyle ilişkili çok sayıda kararı içerir. Depo tasarım problemi; genel depo yapısının belirlenmesi, depo kapasitesinin ve boyutlarının belirlenmesi, her departman içinde ayrıntılı yerleşimin

belirlenmesi, depo ekipmanı seçimi ve operasyonel stratejilerin seçilmesi kararlarının alınması olmak üzere beş ana karar bağlamında ele alınabilmektedir. Bu kararların açıklamaları aşağıda verilmiştir (Gu vd., 2007; Gu vd., 2010):



Şekil 1. 4. Depo tasarımı

**Genel depo yapısının belirlenmesi:** Deponun genel yapısı ile alakalı kavramsal tasarım kararları olan depo içerisindeki malzeme akışının modellenmesi, işlevsel bölümlerin ve bu bölümler arasındaki akış ilişkilerinin belirlenmesi gibi kararlardır.

**Depo kapasitesinin belirlenmesi ve bölümlerinin boyutlandırılması:** Depolama kapasitesinin ve depo boyutlarının belirlenmesi karardır. Bu karar alınırken inşaat maliyeti, kullanılan teknoloji, ekipman ihtiyacı, ürün boyutu ve müşteri tabanı gibi faktörler dikkate alınmalıdır.

**Depo yerleşimi:** Ürünlerin depoda nereye yerleştirileceğine karar vermeyi içerir. Ayrıca koridor konumu, koridor genişliği ve derinliği, koridor sayısı, kapı konumu vb. gibi konuların kararını da kapsamaktadır. Bu kararlar malzeme maliyetini, seyahat süresini, depolama kapasitesini, alan kullanımını ve ekipman kullanımını etkilemektedir.

**Ekipman seçimi:** Depolama, sipariş toplama ve sevk gibi operasyonlar için depo içerisinde kullanılacak olan araç ve gereçlerin seçim sürecidir. Depodaki kullanılacak

raf sistemleri, istifleme aracı ve diğer endüstriyel ekipmanların seçimi gibi konuları içerir. Ekipman seçimi diğer tasarım süreçleri ile birlikte ele alınmalıdır.

**Operasyon stratejisi:** Depolama ve sipariş toplama stratejileri konularını içermektedir. Sabit adrese göre veya rastgele depolama yapılması, bölgesel toplama yapılıp yapılmaması gibi kararlar örnek olarak verilebilir.

Günümüzde işletmeler rekabet gücüne sahip olabilmek için finansal kaynaklarını etkili ve verimli kullanmalı, aynı zamanda da müşteri memnuniyetini sağlamalıdır. Maliyetlerin azaltılması ve rekabet avantajıyla müşteri memnuniyetinin sağlanması gibi unsurlar ancak doğru depo kararlarıyla mümkün olmaktadır. Bu nedenle özellikle de imalatçı işletmeler için depo tasarım aşamasında verilecek kararlar işletmeler için hayati önemli hale gelmiştir. Depo tasarım aşamasında verilen kararlar bir kuruluşun kârlılığı için çok önemlidir (Demirdöğen & Korucuk, 2017). Bu çalışmada önemli depo tasarım kararlarından biri olan depo raf sistemi seçimi üzerinde durulmuştur.

## İKİNCİ BÖLÜM

### DEPO RAF SİSTEMLERİ VE İSTİFLEME ARAÇLARI

Depo raf sistemleri ve istifleme araçları depolama faaliyetini ve başarısını önemli ölçüde etkileyen iki faktördür. Depo raf sistemleri, depodaki kısıtlı alanların verimli bir şekilde kullanılması, malzemelerin düzenli bir şekilde yerleştirilmesi, çevresel tehlikelerden korunması ve malzemelere kolayca erişilmesi için geliştirilmiş özel metal yapılardır. Bu yapılar, depolama alanını daha iyi kullanmaya ve yönetmeye yardımcı olmaktadır. İstifleme araçları ise depolarda ürün yerleştirme, sipariş toplama, sevk gibi operasyonların en kısa sürede verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için insan gücünün yetersiz olduğu durumlarda kullanılan ekipmanlardır. Ayrıca bu araçların çoğu, ürünleri yüksek düzeye taşıma özelliği sayesinde ürünlerin yüksek alanlarda depolanmasına olanak sağlayarak depo yüksekliğinin de verimli kullanılmasını sağlamaktadır.

Günümüzde depolama oldukça kapsamlı ve karmaşık bir işlem halini almıştır. Bunun temel bir nedeni depolanılan ürünlerin çeşitliğinin ve sayısının artması olmakla birlikte diğer önemli bir nedeni de depolamada yararlanılan raf sistemlerinin ve istifleme araçlarının hızlı bir biçimde gelişmesidir (Yumurtacı Aydoğmuş vd., 2018). Teknolojik alandaki ilerlemeyle birlikte farklı depolama ihtiyaçlarını karşılayabilecek çeşitlikte depo raf sistemleri ve istifleme araçları geliştirilmiştir. İşletmeler genel olarak yatırım olanaklarını, depo alanının özelliğini, depolanacak ürünlerin özelliklerini ve operasyonel gereksinimlerini dikkate alarak birçok alternatif arasından kendileri için uygun raf sistemlerinin ve bu raf sistemlerine uygun istifleme araçlarının seçimini yapmaktadır. Deponun etkin ve verimli bir şekilde kullanılabilmesi için depo raf sistemleri ve istifleme araçları seçilirken aralarındaki uyuma dikkat edilmesi gerekmektedir.

Bu bölümde depolama birimi hakkında bilgi verilip depo içi düzenlenmesinde en yaygın kullanılan depo raf sistemleri ve depolarda taşıma ve istif yapmak için en yaygın kullanılan istifleme aracı türleri açıklanmıştır. Depo raf sistemi ve istifleme aracı çeşitleri arasından seçim yaparken dikkat edilmesi gereken noktalar hakkında bilgi verilmiştir.

## 2.1. Depolama Birimi

Depolama birimi ürünlerin depoda ne tür bir birim ile depolanacağını belirtmektedir. Depolama birimine palet, karton kutu, plastik kap vb. gibi malzemeler örnek verilebilir (Karakış, 2014).

Palet, depolama sürecinde ürünleri zarar görmeden taşıyabilmek ve ürünlerin yerlerini değiştirebilmek için ürünlerin altına konan malzemelere denilmektedir. Paletler ürünlerin depolanması ve taşınmasında sık olarak kullanılmaktadır. Paletler sunta, ahşap, metal ve plastik gibi çeşitli malzemelerden yapılmaktadır. Ancak en yaygın kullanılan palet türleri ahşap ve plastik paletlerdir.

Yaygın kullanılan palet türlerinden olan ahşap paletler, tekrar onarılabildiği için kullanışlı ve uzun ömürlüdür. Günümüzde ahşap palet üretimi için dünya çapında yoğun talep olduğundan çeşitli standartlar getirilmiştir. Bunlardan biri Euro diğeri ise ISPM15 standartlarıdır. Euro standardı boyut ve kullanılan ağacın cinsi ile ilgili, ISPM15 standardı ise ahşap ambalajda hiçbir zararlı organizmanın ya da larvasının barındırılmadığından emin olunabilmesi için verilmiş belgedir (AÇSHBİSGGM, 2021).

Diğeri yaygın kullanılan palet türlerinden olan plastik paletler ise ahşap paletlere göre daha uzun ömürlüdür. Bu özellikleri sayesinde ilk yatırım maliyetleri ahşap paletlere göre daha çok olmasına rağmen uzun vadede kendilerini amorti edebilmektedirler. Plastik paletler ahşap paletlere göre daha düşük ağırlıktaki yükleri taşımak için kullanılmaktadır.

Paletler; Avrupa ülkeleri standardına göre ölçüleri 80 cm x 120 cm olan Euro paletler, Amerika ülkeleri standardına göre ölçüleri 100 cm x 120 cm olan Amerikan standardı paletler ve firmaların özel gereksinimlerini karşılamak için üretilen ölçü standartı olmayan standart dışı paletler olarak üç boyutta incelenebilmektedir (Karakış, 2014).



Şekil 2. 1. Ahşap ve plastik palet

Paletlerin yanı sıra depolama birimi olarak plastik kaplar veya karton kutular da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir deponun kapasitesi depolama birimi sayısına göre belirlenebilmektedir.



Şekil 2. 2. Karton kutu ve plastik kap örnekleri

## 2.2. Depo Raf Sistemleri

Ürünlerin depolanması gerektiği durumlarda depolarda ürünlerin güvenilir ve etkin bir şekilde muhafaza edilebilmesi ve ihtiyaç duyulduğunda ilgili ürünlere kolayca ulaşabilmesi için depo içi düzenlemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için depo raf sistemleri geliştirilmiştir.

Depo raf sistemi; depolanacak ürünün miktarına, niteliğine ve grup özelliğine göre belli bir düzen ve sıra içinde istiflenmesi için yararlanılan sergileme, saklama ve muhafaza etme elemanlarının bütünüdür (Küçük, 2018).

Depoda temel amaç içerisindeki ürünlerin güvenli bir şekilde istiflenmesi, düzenli bir şekilde sınıflandırılarak konumlandırılmasıdır. Depolama alanlarının kullanımında üretkenlik ve verimliliğinin artırılmasında en önemli yardımcı araç raf sistemleridir. Raf sistemleri karışıklıkların önlenmesini sağlayarak depoların düzenlenmesi, doğru ve zamanında paletleme yapılabilmesi, ürün birleştirme ve konsolidasyonun sağlanması alanında büyük kolaylıklar sağlamaktadır (Acar & Çakmak, 2017). Depo içi düzenlenmesinde kullanılan depo raf sistemleri aşağıdaki gibi listelenebilir (Salcan, 2012):

- Sırt sırta raf sistemi
- Çift derinlikli raf sistemi
- Tek paletli raf sistemi
- İçine girilebilir raf sistemi ve içinden geçilebilir raf sistemi

- Giydirme raf sistemi
- Paletli kayar raf sistemi
- Hareketli raf sistemi
- Otomatik raf sistemi
- Dar koridor raf sistemi
- Askılı konveyör/raf sistemi
- Kutulu kayar raf sistemi
- Mezanin raf sistemi
- Sipariş hazırlama raf sistemi
- Konsol kollu raf sistemi

### **2.2.1. Sırt Sırta Raf Sistemi**

Sırt sırta raf sistemi iki raf arka arkaya gelecek şekilde kurulum yapılan sistemdir. Bu sayede koridor sayısı azalır ve böylece depolama alanında koridorlar için ayrılması gereken alanlardan tasarruf edilir. Raflar her iki taraftan yüklenebildiğinden her ürüne direkt ulaşılabilir. Ayrıca bu sistem yapılarıdaki yüksekliği de kullanarak, depolama alanının daha verimli kullanılmasını sağlar.

Sırt sırta raf sistemi paletli ürünlerin depolanması için daha uygundur ve özellikle malzeme çeşitliliği çok olan firmalarda öncelikli tercih edilmektedir (Sayın & Maden, 2020). Bu sistemde raf derinliği ve yüksekliği ihtiyaç ve taleplere göre ayarlanabilmektedir. Bu nedenle en küçük antrepodan en büyük ve karmaşık distribütör merkezlerine kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. FIFO (ilk giren il çıkar) yöntemine uyum, manuel veya otomatik istifleme araçları ile kullanım olanağı gibi avantajları bulunan sistemin pek çok aksesuarı bulunmaktadır. Bu aksesuarlar sayesinde ürün; direkt olarak veya palet, kutu, bidon, varil gibi koruyucular içine konarak depolanabilir (Turan, 2006).

Sırt sırta raf sisteminde rafların arasındaki koridor genişliği kullanılan istifleme aracının çalışabildiği koridor genişliğine göre 2.7 ile 3.5 metre arasında değişebilmektedir. Bu nedenle istifleme için kullanılmayan alanın fazla olması bu sistemin dezavantajıdır.



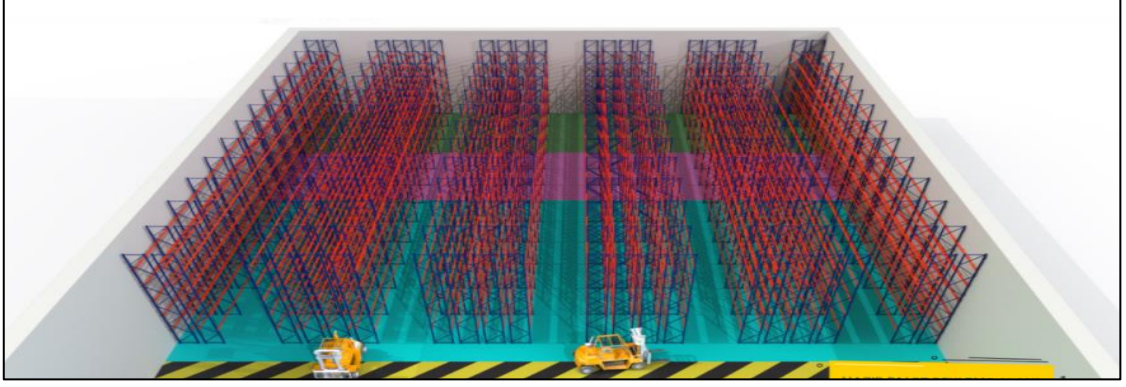


Şekil 2. 3. Sırt sırta raf sistemi

### 2.2.2. Çift Derinlikli Raf Sistemi

Çift derinlikli raf sisteminde raflara her iki taraftan da arka arkaya 2 palet genişliğinde yükleme yapılmaktadır. Bu sayede depolama alanında koridorlar için ayrılan alan azaldığından firmalara oldukça avantaj kazandırmaktadır. Bu sistem sırt sırta raf sistemine göre %30 daha fazla palet depolayabilmektedir. Bu sistemde paletlerin %50'sine doğrudan ulaşılırken arkadaki ürün paletleri de istifleme araçlarına ek teleskobik uzatma çatalı eklenerek veya bu sisteme özel istifleme araçlarında bulunan teleskobik çatal ile kolayca alınabilmektedir (Showell, 1997). Fakat ürün paletlerinin birbirinin önüne konulması nedeniyle ürünlere ulaşmak daha uzun sürmektedir.

Çift derinlikli raf sisteminde arka arkaya iki palet genişliğinde yükleme yapılan ürünlerin aynı ürünler olması gerekmektedir. Aksi durumda arkadaki ürün paletini alabilmek için öndeki paletin her seferinde yerinden oynatılmasına ihtiyaç duyulacaktır (Kabadayı, 2020). Bu nedenle bu sistemle, sırt sırta raf sistemine göre istiflenebilecek maksimum ürün çeşidi sayısı %50 azalır. Bu sistem aynı üründen birden fazla palet olduğunda ideal olmaktadır.



Şekil 2. 4. Çift derinlikli raf sistemi

### 2.2.3. Tek Paletli Raf Sistemi

Tek paletli raf sistemleri, diğer raf sistemlerinden farklı olarak iki ayak arasında her raf bölümünde tek palet taşıyan raf sistemidir. Bu sistem birim yüklerin doğrudan paletten ya da raftan alınmasına olanak sağlar. Büyük, ağır yüklerin depolanması için en yaygın kullanılan raf sistemidir (Yılmaz, 2011).

Bu sistemde raflar, aralarında bir koridor olacak şekilde depo içerisinde konumlandırılır. Tek paletli raf sistemleri ürün toplama sürecinde kolaylık, otomatik veya manuel istifleme araçlarıyla kullanım imkânı, raf derinlik ve yüksekliğinde ihtiyaca göre ayarlanabilme olanağı ve FIFO yöntemine uyum gibi avantajlar sağlar (Gözüm, 2007). Bu sistemlerin dezavantajı her bir rafın yanında koridor bulunması nedeniyle depolama yapılamayan alanların artmasıdır. Bu nedenle bu sistem ile diğer sistemlerden daha az palet depolama yapılabilir.



Şekil 2. 5. Tek paletli raf sistemi

#### 2.2.4. İçine Girilebilir Raf Sistemi ve İçinden Geçilebilir Raf Sistemi

Bu sistemlerde raflar, istifleme araçlarının geçişlere izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Bu rafların kullanılması için iki çeşit hareket uygulanır (Hompel & Schmidt, 2014):

**İçine girilebilir raf sistemi:** Birim yükler, aynı taraftan yerleştirilir ve aynı taraftan alınır. Bu nedenle LIFO yöntemine uygundur.

**İçinden geçilebilir raf sistemi:** Birim yükler, zıt taraflardan yerleştirilir ve alınırlar. Bu sistemlerde FIFO yöntemine uygundur.

Bu raf sistemlerinde aynı ebatlardaki paletler aralarında boşluk bırakılmaksızın st üste ve arkaya doğru yerleştirilmektedir. Bu durum dar alanda daha çok palet depolanmasını sağlarken paletlere direkt ulaşılmasını engellediğinden st üste ve arkaya doğru bir bloktaki paletlerin tamamen aynı ürüne ait olması gerekmektedir. Bu zellikleri nedeniyle çok farklı parçaların depolanması için uygun değildir (Dede, 2020). Bu sistemlerde istifleme araçları rafların arasından geçiş yaptığı için diğer sistemlere göre raflar daha çok hasar görmektedir.



şekil 2. 6. İçine girilebilir raf sistemi ve içinden geçilebilir raf sistemi

#### 2.2.5. Giydirme Raf Sistemi

Giydirme raf sistemi bina inşa edilmesine gerek olmadan kullanıcılara hizmet veren raf sistemidir. İnşaat yatırımı gerekmediğinden %18 ile %30 arasında maliyet avantajı sağlamaktadır. Giydirmen raf sisteminin kullanıldığı depolarda taşıyıcı kolonlar raf elemanları tarafından karşılındığından, bina için gerekli kolon ve kirişlerden doğan alan kayıpları olmamaktadır. Hava şartlarına karşı korunmaya ihtiyaç olmayan paletli ve paletsiz farklı türde ürünler depolanabilen giydirmen raf sistemleri ile yüksek katlı depolama yapılabilir. Bu sistemler istenildiğinde bulunduğu yerden



sökülebilmekte ve kısa zamanda başka bir yerde kurulabilmektedir (Yıldız, 2019). Çok kısa sürede kurulabilen giydirme raf sistemi, otomatik raf sistemi ile entegre edildiğinde maksimum performansa ulaşılmakta ve 40 metreye kadar istifleme yapılabilmektedir.



Şekil 2. 7. Giydirmeye raf sistemi

### 2.2.6. Paletli Kayar Raf Sistemi

Paletli kayar raf sistemi, bir kanal oluşturan art arda sıralanmış ayaklardan ve bu ayakların arasında bulunan makara sisteminden oluşmaktadır. Bu raf sistemi FIFO yöntemine göre çalışmaktadır. Makara sistemi sayesinde alınan bir paletin arkasından gelen diğer palet kayarak alınan paletin yerine geçmektedir. Paletlerin mevcut kayma hızlarının kontrolü de yine makaralar ile sağlanmaktadır (Şenocak, 2014).

Paletli kayar raf sisteminde yükün belirli bir süreçte kendisinin hareket etmesi istifleme araçlarının daha az kullanılmasına sağlar. Bu durum maliyetleri önemli ölçüde azaltırken operasyon hızını da büyük oranda artırmaktadır (Görçün, 2017). Bu sistemin dezavantajı ise her ürüne direkt ulaşılabilmesidir. Bir paletin arkasından gelen diğer palet kayarak alınan paletin yerine geçtiği için arkaya doğru bir sıradaki ürünlerin aynı ürün olması gerekmektedir.



Şekil 2. 8. Paletli kayar raf sistemleri

### 2.2.7. Hareketli Raf Sistemi

Hareketli raf sistemi, hareketli bir taban üzerinde palet rafları ya da konsollu raflardan oluşmaktadır. Bu sistemde sadece bir koridor arası boş alan bırakıldığından 9 ila 10 çalışma koridorundan tasarruf edilebilmektedir. Raflar buldukları noktalarda sabit olmayıp istifleme ve ürün toplama süreçleri için koridor açılacak şekilde, bir yay düzeneği üzerinde ileri ve geri hareket ettirilmektedir. Bu işlem manuel ya da otomatik olarak kontrol edilebilmektedir (Yılmaz, 2011).

Bu tip sistemlerde FIFO prensibi çok iyi uygulanabilir. Bu raf sisteminin dezavantajı ise depo donanım masraflarının yüksek olmasıdır (İmrak & Gerdemeli, 2006).

Hareketli raf sisteminde rafların hareket hızı dakikada 4.8 metredir. Bir raftan ürün almak için o rafın bulunduğu koridorun açılması gerektiğinden ürün çeşitliliği çok olan firmalar için ürün sirkülasyonunun az olduğu durumlarda uygun bir çözümdür. Bu sistem çoğunlukla gıda ve soğuk hava depolarında tercih edilmektedir (Metalsistem, 2022).



Şekil 2. 9. Hareketli raf sistemleri

### 2.2.8. Otomatik Raf Sistemi

Ürünlerin raflara doğru, hızlı ve düzgün bir şekilde yerleştirilmesini ve ihtiyaç durumunda çekilmesini bilgisayar programları kullanılarak sağlayan raf sistemlerine otomatik raf sistemleri denir.

Bu raf sistemi çeşitli özelliklerine ve uygulama tiplerine göre gruplara ayrılabilir (Soyaslan vd., 2015):

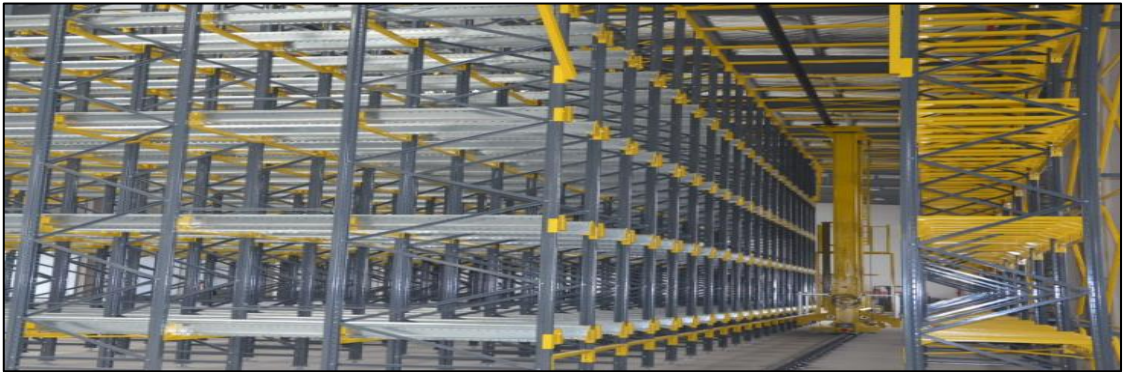
- **Birim depolama otomatik raf sistemi:** Birim depolama otomatik raf sisteminde paletli ürünlerin raflara yerleştirilmesi, taşınması, alınması gibi her türlü işlem bilgisayar üzerinden kontrol edilmektedir. Otomatik istifleme araçları kullanılmakta ve birim depolamaya uygun olarak tasarlanmaktadır. Ürün paletleri mekanik bir kelepçe, mıknatıs veya vakum tabanlı mekanizmalar ile depolanabilmektedir. Otomatik raf sisteminin en sık kullanılan tipidir. Ürünler genellikle 200 kg üzerindedir. Birim depolama otomatik raf sistemi tek derinlikli, sırt sırta veya çift derinlikli olabilmektedir.

- **Mini depolama otomatik raf sistemi:** Mini depolama otomatik raf sistemi küçük boyutlu ürünler için tasarlanmış sistemlerdir. Depo hacminin sınırlı olduğu uygulamalarda tercih edilmektedirler.

- **Çok derinlikli otomatik raf sistemi:** Bu sistemde paletler aralarda koridor boşlukları olmadan derinlemesine hücelere yerleştirilmektedir. Bu nedenle ürün sayısının çok ve ürün çeşitliliğinin az olduğu durumlarda tercih edilmektedirler.

- **Operatör kabinli otomatik raf sistemi:** Bu sistem birim yüklerden sayıca az olan ürünlerin depolanması için kullanılmaktadır. Koridor robotu üzerinde bir insan operatörü, raf girişine robot ile giderek ürünü bölmesine yerleştirmektedir. Bu sistem, aynı anda farklı ürünlerin raflara yerleştirmesine olanak sağlayarak depodan beklenen verimi artırmaktadır.

Otomatik raf sistemleri çok pahalı yatırımlardır. Bir kez kurulduktan sonra, teknik özelliklerinin değiştirilmesi zordur. Bu raf sistemi yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle ürün sirkülasyonunun çok yüksek olduğu büyük projeler için uygun olmaktadır (Zaerpour vd., 2019).



Şekil 2. 10. Otomatik raf sistemi



### 2.2.9. Dar Koridor Raf Sistemi

Dar koridor raf sistemi ile çalışma koridorları daraltılarak alandan maksimum fayda sağlanmak amaçlanmaktadır. Bu sistemde de sırt sırta raf sisteminde olduğu gibi raflar her iki taraftan yüklenebildiğinden her ürüne direkt ulaşılabilir. Ürün çeşitliliği fazla ve mal sirkülasyon hızı yüksek olan işletmeler tarafından tercih edilmektedir.

Dar koridor raf sistemlerinde yükleme veya çekme üretilen özel istifleme araçları ile yapılabilmektedir. Bu da sistemin dezavantajı olarak görünmektedir. Diğer istifleme araçları sistemde kullanılmadığından istifleme araçlarında ortaya çıkacak bir problem, sistemde ciddi aksamalara sebep olmaktadır. Buna ek olarak bu özel istifleme araçlarının değerlerinin diğer istifleme araçlarına göre daha yüksek olması finansman problemi yaratabilmektedir (MEB, 2011).



Şekil 2. 11. Dar koridor raf sistemleri

### 2.2.10. Askılı Konveyör/Raf Sistemi

Askılı sistem, üretimden önce ve üretim sırasında malzeme akışını sağlayarak üretimde etkin bir rol oynamasına ek olarak depolama ve dağıtım işlemlerinde de kullanılabilir. Bu sistem, işletmelere zaman ve personel tasarrufu sağlar. Ancak pahalı bir sistemdir. Bu sistem tasarlanırken satış miktarı, ürün özellikleri, ürün dolaşım hızı ve işletmenin sahip olmak istediği organizasyon tipi etkili olmaktadır. Bu sistem tekstil sektörüne çok uygundur (MEB, 2011).

Askılı sistemlerde genelde iki yöntem uygulanmaktadır (Acar & Çakmak, 2017):

- **Trolley taşıma tekniği:** Bu yöntem kullanılan askılı sistemler tam otomatik olarak sunulmakta olup raylar veya manuel sürgülerle kullanılabilir. Sistem mal kabulünden kalite kontrolüne, depolamadan sevkiyata kadar olan tüm operasyonları yerine getirmektedir. Dinamik taşıma birimleri aracılığıyla ürünler depolanmaktadır.

- **Trolleysiz taşıma ve ayırma sistemi:** Bu yöntem dağıtımda taleplerin çok farklı olduğu ürünlerin tek tek işlem görmesi gerektiği durumlarda tercih edilmektedir. Bu sistem manuel olarak yapılan toplu ayırma işlemi ile kıyaslandığında hem tek kademeli doğrudan dağıtım hem de çok kademeli ayırma işlemi için daha iyi bir seçenektir.



Şekil 2. 12. Askılı konveyör/raf sistemleri

### 2.2.11. Kutulu Kayar Raf Sistemi

Kutulu kayar raf sistemi paletli kayar raf sisteminin küçük parçalar ve depolama kutuları için uygulanan şeklidir. Bu sistem, normal ayaklara kaydırma rayları ve makaralar bağlanarak elde edilmektedir. Kutuların boyut ve ağırlığına göre makaraların adetleri değiştirilebilmektedir. Ürünlerin kendi kendine ön tarafa doğru kayması için eğimli makaralar kullanılmaktadır. Bu eğimli makaralar sayesinde bir kutu alındıktan sonra arkasındaki diğer kutu, aşağıya doğru yavaş yavaş kayarak alınan kutunun yerine gelir. Kayar raf sistemindeki malların teslimat gecikmesi nedeniyle bozulması ve elden çıkması sıra takibinin bozulmaması sayesinde önlenmektedir (Acar & Çakmak, 2017).

Tüm standart raflara uygulanabilir olan bu raf sistemi FIFO yöntemine göre çalışmaktadır. Bu sistem fabrikalarda montaj hatlarında ve sipariş toplama süreçlerinde zaman tasarrufu sağladığından fazlasıyla tercih edilen bir sistemdir (Dinçer, 2018).



Şekil 2. 13. Kutulu kayar raf sistemleri



### 2.2.12. Katlı Raf Sistemi

Katlı raf sistemi yüksekliğin uygun aralıklarda katlara bölünerek depo yüksekliğinden maksimum düzeyde faydalanılmasına olanak tanıyan sistemdir. Bu sistem depo sahasının zemin bölgesinin farklı işler için kullanılmasına olanak sağlaması bakımından sıklıkla tercih edilmektedir. Bu bağlamda depolanan malların ayakaltında kalmasını engellemekte ve yüksek bölgelere depolanmasını sağlayarak, zeminin örneğin üretim, paketleme veya sipariş hazırlama amaçlı kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır (Taşcı, 2018). Katlı raf sistemi, küçük ürünlerin rafın üzerinde depolanmasını sağlamak için ideal bir seçenektir.



Şekil 2. 14. Katlı raf sistemleri

### 2.2.13. Sipariş Hazırlama Raf Sistemi

Bu sistem sipariş hazırlayan kişinin mallara direkt ulaşabilmesini sağlamak için kullanıcıya en uygun koşulları sunmaktadır. Sipariş hazırlama, depo/sevkiyat bölümlerinin kesişme noktasıdır ve en çok personel gerektiren en yoğun işlemdir. Sipariş hazırlama raf sisteminin raf gözlerinin derinliği ve genişliği istenilen gibi ayarlanabilir ve taşıma kapasitesi 4 tonun altındadır (Gözüm, 2007).

Günümüzde ürün çeşitliliğinin artmasından dolayı depo düzenlemesi ve sipariş hazırlama işlemlerine ihtiyaç artmıştır. Bu sistem ile geniş ürün yelpazesine ve farklı boyutlardaki ürünlere sahip işletmelerin, depolama operasyonlarında yaşadıkları organizasyon sorunları azalmaktadır. Bu sistem hem paletiz olarak depolanan, kutusuz veya kutulu ürünlerin hem de büyük hacimli ürünlerin depolanmasına imkân sağlar (MEB, 2011).

Bu sistemin; ilk maliyetlerinin ve yönetim gereksinimlerinin az olması, kurulum ve yeniden düzenleme sırasında kolaylık gibi avantajları vardır. Buna karşılık zeminde fazla alan kullanımı, diğer sistemlerle karşılaştırıldığında daha fazla insan gücü gerekmesi, ürün güvenliği konusunda ve yönetsel konularda meydana gelebilecek sorunlara açık olması sistemin dezavantajlarıdır (Tompkins vd., 2003).

Bu sistemler süpermarketler, toptancılar, elektronik malzeme satıcıları, lastik satıcıları, yedek parça üretici ve satıcıları, lojistik firmaları, kozmetik sektörü ve ilaç sektörü gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (MEB, 2011).



Şekil 2. 15. Sipariş hazırlama raf sistemi

#### **2.2.14. Konsol Kollu Raf Sistemi**

Konsol kollu raf sistemi; bilhassa boru, profil ve ahşap malzemeler gibi uzun malların depolanmasında kullanılmaktadır. Uzun, hacimli ve ağır malzemeleri depolamak için özel olarak tasarlanmış metal bir çerçeveden öne doğru uzanan kollardan oluşur. Bu sistem, ürünlerin uzunluğuna göre ilave elemanlar ile istenilen uzunluğa ayarlanabilmektedir (Kamali, 2019). Bu raf sistemi tek veya çift taraflı kullanılabilir.



Şekil 2. 16. Konsol kollu raf sistemleri

### 2.3. Depo Raf Sistemlerinin Seçimi

Raf sistemleri depolama faaliyetlerinin tamamını etkilediği için raf sistemi seçimi önem arz etmektedir. Depo kurulumunda ihtiyaca uygun raf sistemi seçimi bir dizi etkene göre yapılır. Depo yöneticilerinin uygun raf sistemlerini değerlendirirken ilk olarak depolanacak ürünlerin türlerini ve ağırlıklarını bilmeleri ve gerekli depolama kapasitesi ve iş hacmini göz önünde bulundurmaları gerekmektedir. Depo raf sistemi seçerken yüksekliği verimli şekilde kullanabilme, hacimden yararlanabilme özellikleri de dikkate alınmalıdır.

Uygun depo raf sistemine karar verilirken raflarda istiflenerek depolanması gereken parçaların sevkiyat esnasında ambalajlarının açılmasına gerek olup olmayacağı, sipariş hazırlama kolaylığı sağlayacak şekilde ürünlere erişebilir olması gibi unsurlar da değerlendirilmelidir. Örneğin, sevkiyatı siparişlere göre küçük parçalar halinde yapılacak malzemeler daha hafif raf sistemlerine istiflenirken, sevkiyatı istifler şeklinde yapılacak malzemeler istiflerin ebatlarına göre tek veya sırt sırta raf sistemlerinde istiflenir (Acar & Çakmak, 2017). Bir başka örnek olarak hareket hızı fazla olan ürünlere kolay ulaşmak için sırt sırta raf sistemi, hareket hızı nispeten daha az olan ürünler için dar koridor raf sistemi kullanılabilir (Bayraktar vd., 2011).

Depo raf sistemi seçimi için alternatiflere karar verilmeden önce sorulmasında ve yanıtlanmasında yarar bulunan sorular aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Depo raf sistemi için yatırım olanağı ne kadardır?
- Depoda istifleme için ayrılan alan ne kadardır?
- Tavan yüksekliği nedir?

- Ürün türü ve özellikleri nelerdir?
- Ürün depolama birimi nedir? Palet ise kullanılan paletlerin tipi ve bunların boyutları nelerdir?
- Ürünlere ne sıklıkta ulaşılması gerekiyor?
- Ürünlerin raf ömrü var mı?
- Ürünler için FIFO veya LIFO prensibine ihtiyaç var mı?
- Depolama kapasitesi ihtiyacı ne kadar?
- Hangi tip istifleme araçları kullanılacak? Bu araçların kaldırma yüksekliği nedir? İstifleme aracının kolayca manevra yapabilmesine imkân sağlayacak koridor ve yol genişliği ne kadar olmalı?
- Ürün paketlerinin sevkiyat esnasında ambalajlarının açılmasına gerek var mı?

Bu sorulara cevap verildikten sonra depo için hangi raf sisteminin uygun olduğuna karar vermek adına şu faktörlerin de göz önünde bulundurulmasının doğru karar için fayda sağlayacağı öngörülmektedir:

- Birim maliyet: Raf sistemlerinin birim başına maliyeti
- Hacim verimi: Raf sistemlerinin deponun hacmini kullanımı
- Ürün çeşitliliği: Raf sistemlerinin daha geniş bir ürün yelpazesini barındırma durumu
- Kapasite: Raf sisteminin daha çok ürün depolama durumu
- Günlük işlem hacmi: Raf sisteminin imkân verdiği günlük iş hızı

Birçok etmen birlikte değerlendirileceği için doğru depo raf sistemine karar vermek çok kolay değildir. Depo raf sistemine karar verilmesi çok kriterli karar verme problemi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada ön çalışma ile çalışma yapılan depo için kullanılabilir depo raf sistemi alternatifleri belirlendikten sonra bu sistemler birim maliyet, günlük işlem hacmi, kapasite, ürün çeşitliliği ve hacim verimi kriterleri ile GTMY kullanılarak değerlendirilmiş ve sistemlerin tercih edilebilirlik sıralaması elde edilmiştir.

## 2.4. Seramik Sağlık Gereçleri Depolamada Raf Sistemleri

Seramik sağlık gereçlerinin taşınması, depolanması esnasında malzemenin ezilmesinin ve devrilmesinin önüne geçmek, depolama işlemini daha verimli gerçekleştirmek, sevkiyat işlemlerini hızlandırmak için farklı ölçülerde paletler kullanılmaktadır. Bu nedenle bu ürünlerin depolanması için ilk olarak palet istiflemeye uygun raf sistemleri;

- Sırt sırta raf sistemi
- Çift derinlikli raf sistemi
- Tek paletli raf sistemi
- İçine girilebilir raf sistemi ve içinden geçilebilir raf sistemi
- Giydirme raf sistemi
- Paletli kayar raf sistemi
- Hareketli raf sistemi
- Otomatik raf sistemi
- Dar koridor raf sistemi

akla gelmektedir. Dünyada inşaat sektörünün ve teknolojinin gelişmesiyle seramik sağlık gereçleri ürün çeşitleri artmıştır. Bu sebeple firmalarının bu sektörde rekabet edebilmek, hayatta kalabilmek için dünya pazarına göre ürün çeşitliliğini artırması gerekmektedir. Bu da depolanan ürünlerin çeşitliliğinin artması anlamına gelmektedir. Bu bağlamda az çeşit ürün depolamaya uygun içine girilebilir raf sistemi, içinden geçilebilir raf sistemi ve paletli kayar raf sistemi seramik sağlık gereçleri depolarında tercih edilmemektedir. Seramik sağlık gereçleri depolarında ürün çeşitliliği çok ve ürün sirkülasyonu fazla olduğu için hareketli raf sistemi de yine bu depolarda tercih edilmemektedir. Her raf bölmesinde tek palet taşınması, her bir rafın yanında koridor bulunması nedeniyle depolama yapılamayan alanları artırarak depolama verimliliğini ve depo kapasitesini azaltan, büyük, ağır birim yüklerin depolanması için en yaygın kullanılan sistem olan tek paletli raf sistemi de bu depolarda tercih edilmeyen sistemler arasında sayılabilir. Seramik sağlık gereçleri depoları için yöneticiler genel olarak yatırım ve işletme maliyetleri ile verilen iş hacmini ve depolama kapasitesini göz önünde

bulundurarak sırt sırta, çift derinlikli, giydirme, otomatik ve dar koridor raf sistemleri arasından tercih yapmaktadır. Bu çalışmada çalışılan depo için sırt sırta, dar koridor ve çift derinlikli raf sistemi alternatifleri değerlendirmeye alınmış ve 4. Bölüm’de nedenleri açıklanmıştır.

## **2.5. Depo İstifleme Araçları**

İstifleme araçları; depo sahası içerisinde yük taşımak ve istif yapmak amacı ile kullanılan depo ekipmanlarıdır. İstifleme araçları; özellikle insan gücünün yetersiz olduğu depolama süreçlerinde kullanılan; yükleme, kaldırma, boşaltma, taşıma ve istifleme olanağına sahip araçlardır. İstifleme araçlarının kullanılması daha kısa sürelerde çok yüksek hacme ve ağırlığa sahip materyallerin depo içi süreçlerde işlenmesine imkân sağlayabilmektedir. Bu araçlar kullanılarak ürünlerin istenilen yere hasarsız ve hızlı bir şekilde ulaştırılması amaçlanmaktadır.

İstifleme araçlarının yükseğe erişim kapasitesi depo sahalarının daha verimli kullanımına olanak sağlamaktadır. Bir istifleme aracının yükselme kapasitesi arttıkça depo içerisinde daha yüksekte bulunan alanlara istifleme yapılabilen ve depodaki atıl alanlar kullanılabilir. Bu şekilde istifleme aracı deponun kullanım hacmini artırabilmektedir.

Depoda kullanılan istifleme araçları aşağıdaki gibi listelenebilir (Görçün, 2017):

- Çatallı istifleme araçları
- Yan yönlü toplama istifleme araçları
- Dar koridor istifleme araçları
- Yüksek irtifa istifleme araçları
- Sipariş toplama istifleme araçları
- Kule istifleme araçları
- Palet taşıyıcı istifleme araçları
- Otomatik palet istifleme araçları



### 2.5.1. Çatallı İstifleme Araçları

Depo sahalarında en çok kullanılan ağır iş makineleri olan çatallı istifleme araçları ile depo içinde ve dışında taşıma işlemi gerçekleştirebilmektedir. Depo gereksinimleri göre farklı tip ve özelliklerde çatallı istifleme araçları kullanılabilir. Ön kısımlarında bulunan standart yük kaldırma çatallarına ilave edilen ekipmanlar ile bu araçların kullanım alanları arttırılabilmektedir (Erel & Ağaoğulları, 2017).

Çatallı istifleme araçlarının yük kaldırma kapasiteleri 1-40 ton arasında değişir ve yük kaldırma yükseklikleri 3-9 metre arasındadır (Yılmaz, 2014). Bu araçlar, dar koridor istifleme araçlarına ve yüksek irtifa istifleme araçlarına göre daha geniş koridor aralıklarında çalışabilmektedirler.



Şekil 2. 17. Çatallı istifleme aracı

### 2.5.2. Yan Yönlü Toplama İstifleme Araçları

Yan yönlü toplama istifleme araçları; taşıma, yükleme ve boşaltma işlemlerini yan tarafında yer alan çatal ile gerçekleştirmektedir. Bu araçların çatallı istifleme araçlarına göre avantajı ürünleri yan taraftan yükleyip boşaltabildikleri için dönmeye gerek olmadan rafların arasında raf boyu hareket edebilmesidir. Bu avantajı sayesinde çatallı istifleme araçlarına göre daha dar koridorlarda kullanılabilirler (Kabadayı, 2020). Bu araçlar kereste, çelik, boru gibi uzun yapıdaki ürünlerin taşınması için en uygun çözümdür.



Şekil 2. 18. Yan yönlü toplama istifleme araçları

### 2.5.3. Dar Koridor İstifleme Araçları

Dar koridor istifleme araçları; 1.45 ile 1.60 metre aralığındaki koridor genişliğinde, yüksek irtifa istiflemelerde kullanılan araçlardır. Söz konusu araçların dar koridorlarda kullanabilmeleri depo alanının daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Bu özelliği sayesinde dar koridor istifleme araçları diğer istifleme araçlarına göre depolama alanının istifleme kapasitesini önemli ölçüde arttırmaktadır. Bu araçlar depo kapasitesinin artırılmasına iki yönde etki edebilmektedir. İlk olarak daha dar koridorlarda çalışabildiğinden depo içerisinde raf sayısı artırılabilir, ikinci olarak da daha yükseğe erişebildiğinden depolama yapılabilecek raf yüksekliği artırılabilir. Bu sayede; daha çok ürün depolanabilmekte, birim zamanda daha yüksek iş hacmi ve kapasitesi ile birim başına düşen depolama maliyeti azaltılabilmektedir (Görçün, 2017).

Dar koridor istifleme araçları operatör kabini konumuna göre sabit operatör kabinli ve hareketli operatör kabinli olarak iki modele ayrılmaktadır. Sabit operatör kabinli modelinde operatör kabini hareket etmez ve zemin seviyesinin üstüne çıkmaz. Hareketli operatör kabinli modelinde ise operatör kabini yükselebilmektedir.





Şekil 2. 19. Dar koridor istifleme araçları

#### 2.5.4. Yüksek İrtifa İstifleme Araçları

Yüksek irtifa istifleme araçları dar alanlarda dönüş yapabilen ve yüksek seviyede bulunan paletli yüklerin yükleme, boşaltma, taşıma işlemlerinde kullanılan depo istifleme araçlarıdır. Bu istifleme araçları çatallı istifleme araçlarına göre daha dar raf aralıklarında kolaylıkla ilerleyebilir ve daha yüksek raflara kolaylıkla erişebilir. Elektrikle çalışan bu araçların çatalları ileri ve geri hareket etme özelliğine sahiptir.

Yüksek irtifa istifleme araçlarının koridor çalışma genişliği 2.7 – 3.0 m arasında değişmektedir. Bu araçlar azami 13 metre yükseklikte çalışabilir ve 2.5 tona kadar olan yükler bu araçlar ile güvenilir ve hızlı biçimde istenilen noktaya ulaştırılabilir (Jungheinrich, 2021).



Şekil 2. 20. Yüksek irtifa istifleme araçları

### 2.5.5. Sipariş Toplama İstifleme Araçları

Sipariş toplama istifleme araçları, yüksek irtifa istifleme araçları için geçerli olan özellikleri taşımaktadır. Bu araçlar; yüksek irtifa istifleme araçlarından farklı olarak yatay ve dikey yönde sipariş toplama yaparken operatörün de makine üzerinde yer değiştirmesine olanak vermektedir (Hopbaoğlu, 2009).

Sipariş toplama istifleme araçları, dikey ve yatay olarak iki modele ayrılmaktadır. Dikey sipariş toplama istifleme araçları ile yüksek raf seviyelerinde sipariş toplama ve istifleme yapılabilirken yatay sipariş toplama araçları ile ikinci raf seviyesine kadar sipariş toplama ve istifleme yapılabilmektedir. Ayrıca yatay sipariş toplama istifleme araçlarının 2.4 m uzunluğundaki çatalları sayesinde 2.5 tona kadar maksimum üç palet aynı anda taşınabilmektedir (Jungheinrich, 2021).



Şekil 2. 21. Sipariş toplama istifleme araçları

### 2.5.6. Kule İstifleme Araçları

Kule istifleme araçları dar koridor istifleme araçlarının özelliklerini taşıyan, ek olarak kısa mesafe taşıma yapılabilen istifleme araçlarıdır. Dar koridor istifleme araçları gibi sabit operatör kabinli ve hareketli operatör kabinli olarak iki modele ayrılmaktadır. Bu istifleme araçları paletli yükleri dikey ve yatay ekseninde hareket ettirebilmektedir ve depo sahası içerisinde kullanılırken çatallı istifleme araçları ve yüksek irtifa istifleme araçlarına göre daha dar koridorlarda çalışabildiğinden daha fazla istifleme hacmi yaratabilmektedir.



Şekil 2. 22. Kule istifleme araçları

### 2.5.7. Palet Taşıyıcı İstifleme Araçları

Palet taşıyıcı istifleme araçları; depo, fabrika, market gibi alanlarda plastik, ahşap ve metal palet üzerinde bulunan yüklerin taşınması amacıyla kullanılan istifleme araçlarıdır. Genelde yük paletlerinin kısa mesafeli sevk işlemleri için kullanılırlar ve kaldırma, yürütme ve indirme özelliklerine sahiptirler. Bu araçlar yükseğe istifleme yapamadığından zeminde yer alan paletli yüklerin depo içerisindeki akışına yönelik çözümler sunmaktadır. Bu araçların çatal uzunlukları 800-2000 mm arasında ve kaldırma kapasiteleri ise 3000 kg'a kadar olan tipleri vardır (Ağseren, 2017).

Palet taşıyıcı istifleme araçları iki çatala sahiptir. Bu çatalarla yüklü paletlerin boşluklarına girilir, hidrolik pompa gücünden yararlanılarak paletler yukarı doğru kaldırılır ve yüklü paletler düz bir zeminde taşınır. Bu araçların manuel ve motorlu olarak iki çeşidi bulunur.



Şekil 2. 23. Palet taşıyıcı istifleme aracı

### 2.5.8. Otomatik Palet İstifleme Araçları

Otomatik paletli raf sistemleri için tasarlanmış olan otomatik palet istifleme araçlarının tüm hareketleri bir depo yönetim yazılımı tarafından kontrol edilir. Bu istifleme araçlarında yüklerin taşınması tamamen otomatik, hızlı ve güvenlidir. Otomatik palet istifleme araçları bir koridor boyunca sabit bir ray üzerinde hem dikey hem yatay hareket etme özelliğine sahiptir. İnsansız araçlar olduklarından manuel çalışma hatalarını ortadan kaldırarak ürün giriş ve çıkış işlemlerinin hızlı ve hassas bir şekilde kontrol edilmesini sağlar. Otomatik palet istifleme araçları taşıma ve istifleme işlevinin yanında stok yönetimi işlevi de sunmaktadır (Dossou vd., 2022).



Şekil 2. 24. Otomatik palet istifleme aracı

### 2.6. İstifleme Araçlarının Seçimi

İstifleme araçlarının seçimi, etkili bir üretim sistemi tasarımında önemli bir faaliyettir. Uygun aracın seçilmesi, üretim hazırlık sürelerini azaltabilir, malzeme akışının verimliliğini artırabilir, tesis kullanımını iyileştirebilir ve verimliliği artırabilir (Görçün,2017). Depo istifleme aracının seçiminde seçimi etkileyen birtakım hususlar bulunmaktadır. İstifleme aracı seçiminde karar alıcıların göz önünde bulundurması gereken hususlar aşağıda yer almaktadır (Konuralp, 1993):

İstifleme aracı boşaltma amacıyla kullanılacak ise;

- Boşaltılacak ürünün tipi ve ağırlığı
- Hizmet verilecek kamyon türü
- Boşaltma alanının kısıtları
- Kaldırma yapılıp yapılmayacağı

İstifleme aracı istifleme amacıyla kullanılacak ise;

- İstifleme için kullanılacak palet ve raf sistemi türü
- İstiflenecek ürünün tipi ve ağırlığı
- Ürünün kaldırılacağı yükseklik
- İstifleme alanındaki koridor genişlikleri

İstiften yük çekme amacıyla kullanılacak ise;

- Alınacak ürünün tipi ve ağırlığı
- Ürünün alındığı raf sistemi
- Ürünün alınacağı yükseklik
- Ürünün bırakılacağı nokta

Yükleme amacıyla kullanılacak ise;

- Yüklenecek ürünün türü ve ağırlığı
- Ürünün nereden geldiği
- Ürünün kaldırıp kaldırılmayacağı
- Kullanılacak nakliye aracı

Yukarıda belirtilen hususlar seçilecek istifleme aracının türü, özellikleri ve niteliklerinin belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken konulardır. Örneğin eşya kırılabilir bir eşya ise raf kenarlarına çarpmaması için sadece ileri ve geri hareket eden bir istifleme aracı tercih edilebilecektir ya da kullanılan raf sistemi dar koridor raf sistemi ise çatallı istifleme aracı vb. araçların kullanılabilmesi mümkün olmayacaktır.

Depo sahası içerisinde yük taşımak ve istif yapmak amacı ile kullanılan istifleme araçlarının çevre dostu olması ve kapalı depolarda benzinli, LPG'li ve dizel araçların sağlık açısından tehlike oluşturması sebebiyle genelde akülü olanları tercih edilmektedir.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### GRAFİK TEORİSİ VE MATRİS YÖNTEMİ

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), birbiriyle çelişen kriterler ve amaçlar içeren karmaşık karar problemleriyle başa çıkabilmek için karar destek araçlarının ve metodolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanmasına yönelik ortaya çıkmıştır. ÇKKV, birden fazla kriterin optimize edildiği mümkün çözüm setleri içerisinde en iyi alternatife karar verme süreci olarak tanımlanabilir (Ecer, 2020). Bir karar probleminin ÇKKV problemi olabilmesi için en az iki alternatif çözüme ve en az iki çelişen kritere sahip olması gerekir.

ÇKKV sürecinde ilk olarak karar probleminin tespit edilmesi ve karar sürecinin yönlendirilmesi için en az bir amaç belirlenir. Belirlenen amaç ya da amaçlara göre karar problemi şekillenip kriterler ve alternatifler bu doğrultuda belirleneceği için bu konuda titiz davranılması gerekmektedir. Amaç ya da amaçlar açık şekilde belirlenmiş, gerçekçi, ulaşılabilir ve ölçülebilir olmalıdır ayrıca grup kararı söz konusu ise üzerinde uzlaşmış olmalıdır (Kocamustafaoğulları, 2007).

Amaç ya da amaçlar belirlendikten sonraki adımda kriterler belirlenip kriter seti oluşturulmaktadır. Kriterler amaca ya da amaçlara ulaşmada alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan karar bileşenleri olduğu için kriterlerin belirlenmesinde özen gösterilmelidir. Kriterlerin belirlenmesine ek olarak kriterlerin amaca katkı yönü yani fayda niteliğine mi maliyet niteliğine mi sahip olduğu da belirlenmelidir. Karar vermede kullanılan kriterlerin sahip olması gereken özellikler aşağıdaki gibi listelenebilir (Kocamustafaoğulları, 2007):

- **Kapsayıcı olma:** Kriterlerin karar probleminde ulaşılmak istenen amaca ya da amaçlara hizmet edecek kapsayıcılıkta olması gerekmektedir. Ayrıca değerlendirmeye konu olan alternatiflerin her birini temsil edecek kapsayıcılıkta olması beklenmektedir. Örneğin ev satın alma probleminde fiyatın kriter olarak kullanılabilmesi için tüm ev alternatiflerinin fiyatlarının belirli olması gerekmektedir. Ev alternatiflerinden bir eve ait fiyat bilinmiyorsa fiyat kriteri kapsayıcı olma özelliğini taşıyor demektir.

- **Ölçülebilir olma:** Karar probleminde kriterlerin etkisinin hesaplanabilmesi için kriterlerin ölçülebilir olması gerekmektedir. Kriterler sayısal olabileceği gibi sayısal



olmayan türde de olabilir. Sayısal kriterlerin ölçülebilir olduğu açıkken, sayısal olmayan kriterlerin ölçülebilir olmasını sağlamak için literatürde çeşitli ölçekler kullanılmaktadır.

- **Yeterli olma:** Kriterlerin amacı ya da amaçları temsil etmesi, alternatifleri etkin değerlendirebilmesi için yeterli sayıda olması gerekmektedir.

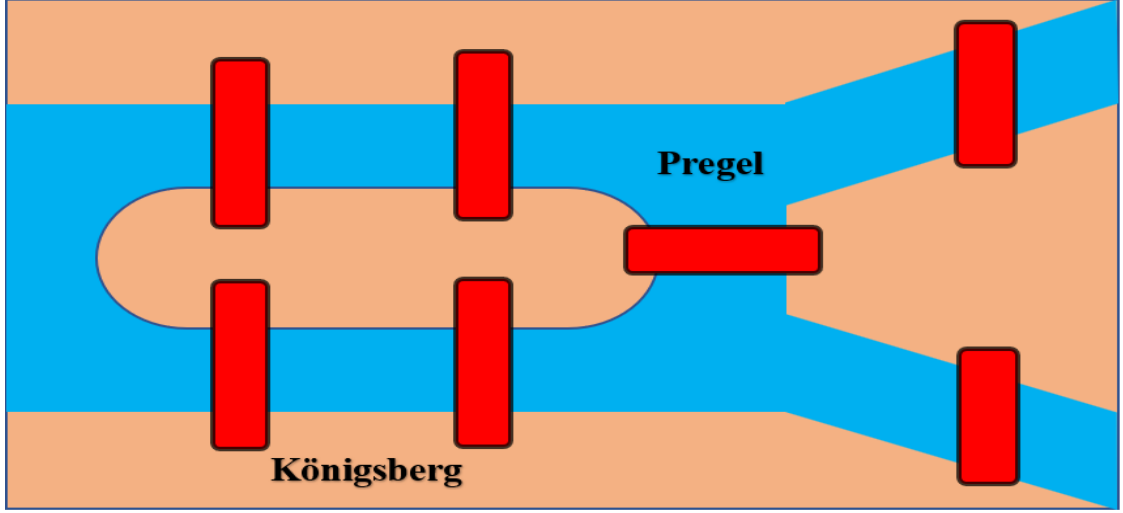
- **Minimal olma:** Kriter sayısının karar problemine uygun asgari sayıda olması gerekmektedir. Aynı doğrultuda yer alan kriterlerin ayıklanması, tek bir kriter altında birleştirilmesi, karar problemini mümkün olduğunca sade bir hale getirmek karar alma sürecini kolaylaştırabileceği gibi daha verimli karar vermeyi de mümkün kılacaktır.

Kriterler belirlendikten sonra değerlendirmeye konu olacak alternatiflerin belirlenmesi aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada karar verici ya da vericiler, gereksinimleri ve amaçları değerlendirir, gereksinimleri karşılayacak ve mümkün olduğunca çok amacı tatmin edecek alternatifler önerir. Her alternatifin tanımı, tanımlanan problemi nasıl çözdüğü ve diğer alternatiflerden nasıl farklı olduğu açıkça gösterilmelidir. Alternatif setinin karar problemini yansıtacak sayıda ve doğrulukta olması gerekmektedir (Baker vd., 2001).

Amaç ya da amaçlar, kriterler ve alternatifler belirlendikten sonra alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi aşamasına geçilir. Bu aşamada karar vericilerin ayrı bir dizi alternatif karar arasından seçim yapmasına yardımcı olmak için ÇKKV yöntemlerinden biri kullanılır. Kullanılan ÇKKV yöntemlerinden her biri sayısal teknikler ile kriterlere göre alternatiflerin sahip olduğu değerleri değerlendirerek karar vericinin faydasına olan alternatifi seçmesinde yardımcı olur (Triantaphyllou, 2000).

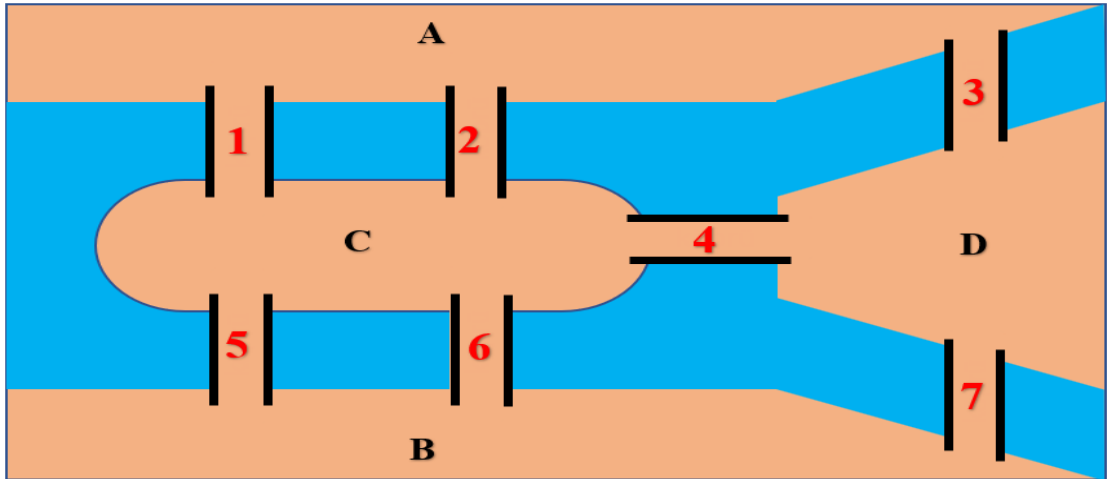
Bu çalışmada depo raf sistemi alternatiflerini değerlendirmek için ÇKKV yöntemlerinden biri olan GTMY uygulamaları yapılmıştır. Bu yöntemde en uygun alternatife karar vermek adına alternatiflerin performansları değerlendirilerek bir sıralama elde edilmektedir. Alternatiflerin performanslarını değerlendirmek için kriter hiyerarşisi ve kriter ilişkileri grafik ile gösterilmekte, bu grafik yapısı satır ve sütunlar ile ifade edilip matris formunda yazılarak amaçları karşılamak üzere performans değerlendirme fonksiyonu ve indeks türetilmektedir. Elde edilen indeksler büyükten küçüğe sıralanarak alternatiflerin tercih edilebilirlik sıralaması elde edilmektedir. Ayrıca elde edilen farklılık/benzerlik katsayıları yardımıyla alternatifler ikili olarak karşılaştırılabilmektedir.

Grafik Teorisi, grafik yapılarını inceleyen bilim dalıdır. 1736 yılında, Leonhard Euler tarafından yazılan bir makale Grafik Teorisi'nin bilinen başlangıç tarihidir. Günümüzde hâlâ popülerliğini koruyan Königsberg'in yedi köprüsü adındaki makale, Königsberg'de şehrin içinden geçen ortasında bir ada bulunan ve adayı geçtikten sonra iki kola ayrılan Pregel nehri üzerinde inşa edilen yedi köprü'nün her birinden bir kere geçerek tüm köprülerden geçip şehir dolaşabilir mi problemi üzerine yazılmıştır.



Şekil 3. 1. Königsberg'in yedi köprüsü

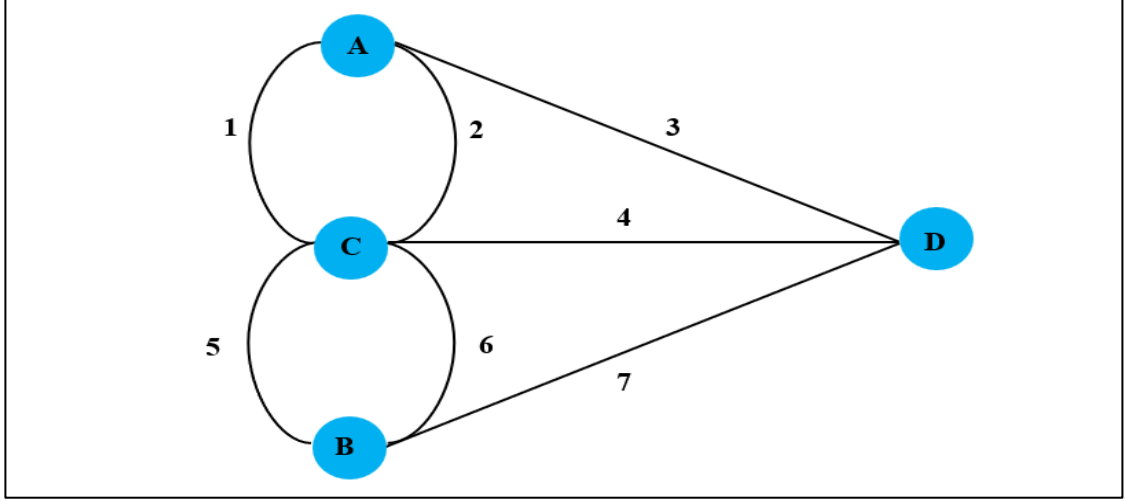
Bu problemin çözümü için ilk olarak Şekil 3.1'deki köprüler sayılarla ve kara parçaları harflerle gösterilmiş ve Şekil 3.2'deki gibi temsil edilmiştir.



Şekil 3. 2. Königsberg'in yedi köprüsü temsili



Daha sonra çözümleri biraz daha kolaylaştırmak adına Şekil 3.2’de yer alan kara parçalarının noktalar ve Şekil 3.2’de yer alan köprülerin bu noktaları birleştiren çizgiler olarak gösterildiği ikinci bir şekil çizilmiştir. Böylelikle Grafik Teorisi ortaya çıkmıştır.



Şekil 3. 3. Königsberg’in yedi köprüsünün grafik yapısı

Buradan yola çıkarak bir grafik; düğüm adı verilen noktalar ve her biri bu noktaları veya sadece noktanın kendisini birleştiren ve ayrıt adı verilen çizgiler olarak ifade edilebilir. Grafik yapısında düğümleri birbirine bağlayan ayrıtlar için giriş ve çıkış yönleri belirli ise bu grafiğe yönlü grafik denilmektedir (West,1996).

O zamandan beri Grafik Teorisi; fizik, kimya, matematik, iletişim bilimi, bilgisayar teknolojisi, elektrik mühendisliği, sosyoloji, ekonomi, yöneylem araştırması, dilbilim, internet gibi çeşitli bilim ve teknoloji alanlarında modelleme ve analiz için kullanılmaktadır. Grafik gösterim görsel değerlendirme için uygundur, bilgisayarda işlenebilir ve matematiksel olarak ifade edilebilir (Gothwal & Raj, 2016). Grafik satırlar ve sütunlarla matris şeklinde ifade edilebilir ve ek hesaplamalar ile grafiğin analizi yapılabilir.

GTMY’nin uygulama adımları aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır (Rao, 2007; Darvish vd., 2009; Bakar vd., 2019):

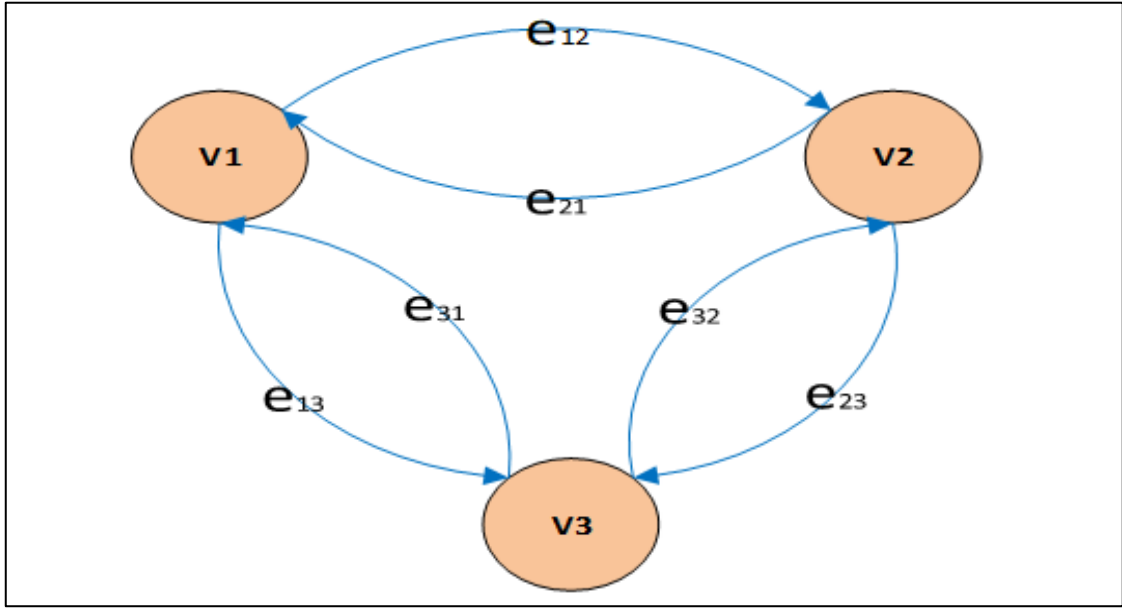
- Performans değerlendirme kriterlerinin ve alternatiflerin belirlenmesi
- Kriter hiyerarşisinin ve kriter ilişkilerinin yönlü grafik gösterimi
- Performans değerlendirme matrisinin oluşturulması

- Performans değerlendirme fonksiyonunun oluşturulması
- Performans indeksinin hesaplanması ve alternatiflerin performans sıralaması
- Alternatiflerin farklılık/benzerlik katsayılarının hesaplanması

### 3.1. Kriter Hiyerarşisinin ve Kriter İlişkilerinin Yönlü Grafik Gösterimi

$V$  boş kümeden farklı bir küme ve  $E \subset V \times V$  olmak üzere  $G = (V, E)$  ikilisine grafik (graph) denir. Burada  $V$ 'ye  $G$ 'nin düğümlerinin kümesi denir ve  $V(G)$  ile gösterilir.  $E$ 'ye ise  $G$ 'nin ayrıtlarının kümesi denir ve  $E(G)$  ile gösterilir. Bir  $G$  grafiği üzerindeki ayrıtlar bağlantının nereden başlayıp nerede sonlandığını belirten yön bilgisine sahip ise yönlü grafik olarak adlandırılır (West,1996).

Şekil 3.4 düğümlerin kümesi  $V(G) = \{v_1, v_2, v_3\}$  ve ayrıtların kümesi  $E(G) = \{e_{12}, e_{21}, e_{13}, e_{31}, e_{23}, e_{32}\}$  olan, 3 düğüme ve 6 ayrıta sahip yönlü grafik örneğidir.

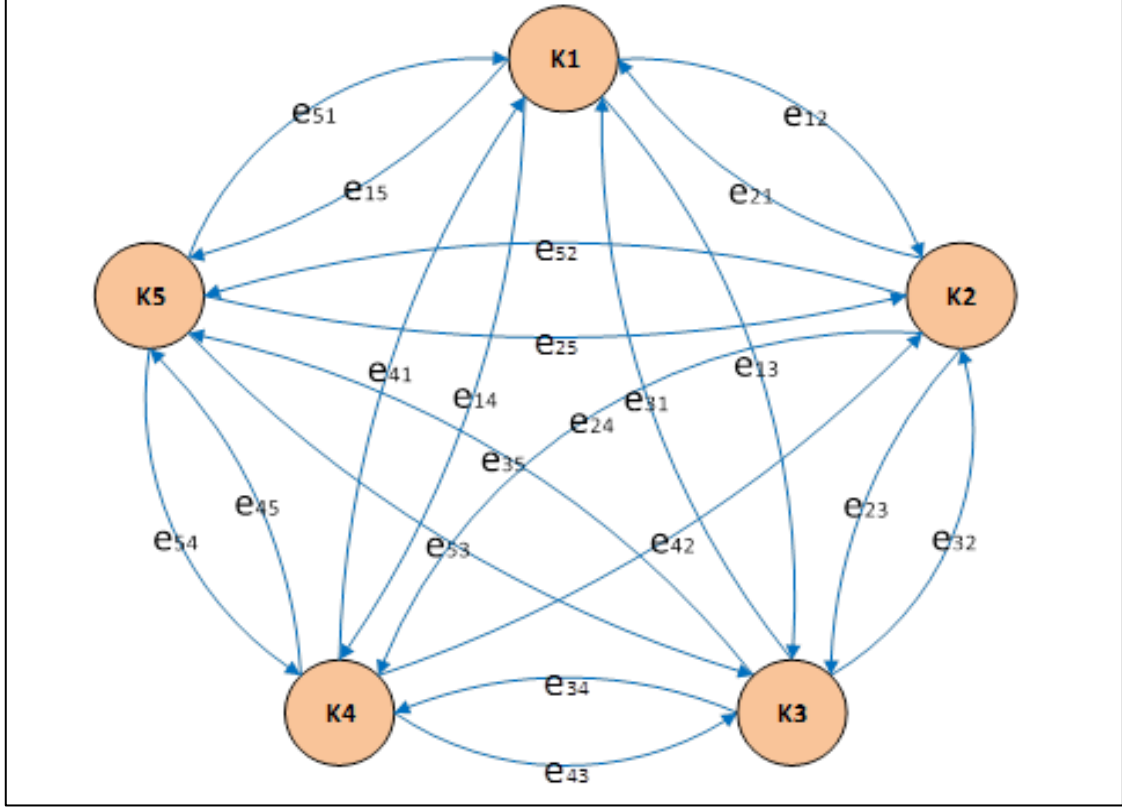


Şekil 3. 4. Yönlü grafik

Beş kriterli bir performans değerlendirme problemi düşünölsün ve kriterler  $K_1, K_2, K_3, K_4$  ve  $K_5$  olarak adlandırölsün. Kriterlerin önem sıralaması karar verici tarafından  $K_1, K_2, K_3, K_4$  ve  $K_5$  olarak belirlensin. Bu performans değerlendirme problemi için oluşturulacak yönlü grafik; düğümleri  $K_1, K_2, K_3, K_4$  ve  $K_5$  kriterlerini ve ayrıtları  $i$  kriterini  $j$  kriteri ile ilişkilendiren  $e_{ij}$  ayrıtlarını gösteren yönlü grafik olacaktır. Bu yönlü grafik kriter yönlü grafiği olarak adlandırılmıştır. Kriter yönlü grafiğinde kriterler saat

yönünde önem sırasına göre sıralanmaktadır. Şekil 3.5'te bu performans değerlendirme problemi için düğümlerinin kümesi  $V(G) = \{K_1, K_2, K_3, K_4, K_5\}$  ve ayrıtların kümesi  $E(G) =$

$\{e_{12}, e_{21}, e_{13}, e_{31}, e_{14}, e_{41}, e_{15}, e_{51}, e_{23}, e_{32}, e_{24}, e_{42}, e_{25}, e_{52}, e_{34}, e_{43}, e_{35}, e_{53}, e_{45}, e_{54}\}$  olan 5 düğüme ve 20 ayrıta sahip kriter yönlü grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3. 5. Kriter yönlü grafiği

Kriter yönlü grafiği sayesinde kriterler, kriterler arasındaki ilişkiler ve kriterlerin ikili karşılaştırmaları görsel olarak hızlıca değerlendirilebilmektedir. Kriterler ve kriterlerin aralarındaki ilişki artıkça yönlü grafiği değerlendirmek zor hale gelir. Bu durumda yönlü grafik matris şeklinde ifade edilir ve matris kullanılarak ek hesaplamalar yapılır (Geetha, 2018).

### 3.2. Performans Değerlendirme Matrisi

Şekil 3.5'te gösterilen kriter yönlü grafiğinin matris gösterimi A matrisi olarak verilmiştir. Kriter yönlü grafiğinin matris gösterimi olan A matrisi kriter karşılaştırma matrisi olarak adlandırılmaktadır. Bu matris bütün kriterlerin ikili olarak önem durumlarına göre karşılaştırılmalarını vermektedir.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & 0 & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & 0 & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & 0 & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & 0 \end{bmatrix}$$

Matriste yer alan  $a_{ij}$  değeri kriter yönlü grafiğinde  $i$  kriterini  $j$  kriteri ile ilişkilendiren  $e_{ij}$  ayrıtını temsilen atanmaktadır.  $a_{ij}$   $i$  kriteri ile  $j$  kriterinin ikili karşılaştırma değeri olmak üzere Tablo 3.1  $a_{ij}$  ile ilgili atamaları gösterir.  $a_{ij}$  değeri için Tablo 3.1’de yer alan ölçek üzerinden 0-1 arasında bir değer atanır.  $a_{ij}$ ;  $i$  kriterinin  $j$  kriterine göre önemini vermektedir.  $i$  kriteri ile  $j$  kriteri arasında ilişki yok ise  $a_{ij}$  0 değerini alır.

Tablo 3. 1. Karşılaştırma ölçeği

	Sınıf Açıklaması	İkili karşılaştırma değerleri	
		$a_{ij}$	$a_{ji} = 1 - a_{ij}$
1	İki kriter eşit önemdedir	0.5	0.5
2	Bir kriter diğerinden biraz fazla önemlidir.	0.6	0.4
3	Bir kriter diğerinden çok önemlidir	0.7	0.3
4	Bir kriter diğerinden daha çok önemlidir	0.8	0.2
5	Bir kriter diğerinden son derece önemlidir	0.9	0.1
6	Bir kriter diğerinden aşırı derecede önemlidir	1.0	0.0

Kaynak: (Rao, 2007)

$a_{ij}$  değeri kullanılarak  $j$  ve  $i$  kriteri arasındaki ikili karşılaştırma değerini veren  $a_{ji}$  değeri elde edilir.  $j$  kriterinin  $i$  kriteri ile karşılaştırılmasında Eşitlik 1’den yararlanılır. Örneğin  $i$ . kriteri  $j$ . kriterinden çok önemli ise  $a_{ij} = 0,7$  ve  $a_{ji} = 0,3$  değerini alır (Baykasoğlu, 2013; Geetha & Sekar, 2016a).  $a_{ji}$  değerleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

$$a_{ij} = 1 - a_{ji} \quad (1)$$

Kriter karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra alternatiflerin kriter değerleri bulunur.  $A_i$  değeri alternatifin düğümleri temsil eden  $i$ . kriter değerini verir. Herhangi bir alternatif için kriter değerleri matrisi aşağıda B matrisi olarak verilmiştir.

$$B = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & A_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & A_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & A_5 \end{bmatrix}$$

Eğer alternatiflerin değerleri ölçülemeyen nitel kriterleri mevcut ise bu alternatiflerin kriter değerleri atanırken Tablo 3.2'deki değerlere göre atama yapılır.

Tablo 3. 2. Nitel kriter değerleri

Kriterlerin Nitel Ölçümü	Kriter Değeri
Aşırı düşük	0.0
Son derece düşük	0.1
Çok düşük	0.2
Ortalama altı	0.3
Ortalama	0.4
Ortalama üstü	0.5
Yüksek	0.6
Çok yüksek	0.7
Oldukça yüksek	0.8
Son derece yüksek	0.9
Aşırı yüksek	1

Kaynak: (Rao, 2007)

Performans değerlendirme kriter değerlerini ve kriterlerin ikili karşılaştırma değerlerini içeren alternatifin performans değerlendirme matrisi A+B matrisi oluşturulur. Bu matris 5 kriter için 5 × 5 boyutundadır (Rao & Gandhi, 2002).

$$A+B = \begin{bmatrix} A_1 & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & A_2 & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & A_3 & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & A_4 & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & A_5 \end{bmatrix}$$

### 3.3. Performans Değerlendirme Fonksiyonu

GTMY'de m kriterli bir performans değerlendirme problemi için performans değerlendirme matrisi mxm boyutlarında olmaktadır. Alternatiflerin performanslarını değerlendirmek için kullanılan performans değerlendirme fonksiyonu bu mxm boyutlarında matrisin herhangi ikisi aynı satır ya da aynı sütunda bulunmayan m adet elemanın mümkün olan bütün çarpımlarının toplanması olarak ifade edilmektedir. Bölüm 3.2'de gösterilen performans değerlendirme matrisi A+B matrisi için performans değerlendirme fonksiyonu Eşitlik 2'deki gibi ifade edilir ve per(A+B) ile gösterilir. Eşitlik 2'de, 5x5 boyutlarında bir matris için herhangi ikisi aynı satır ya da aynı sütunda bulunmayan 5 adet elemanın mümkün olan bütün çarpımlarının toplanması ifade

edilmiştir. Performans değerlendirme fonksiyonunda tüm terimler pozitif işaretli olduğu için hiçbir bilgi kaybolmamaktadır.  $A_i$  ve  $a_{ij}$ 'nin değerlerindeki artışlar için performans değerlendirme fonksiyonunun değeri artarken  $A_i$  ve  $a_{ij}$ 'nin değerlerindeki azalma için performans değerlendirme fonksiyonunun değeri azalacaktır. Bu nedenle alternatiflerin performansını değerlendirmek için oluşturulan performans değerlendirme fonksiyonu iyi bir takdire yol açar (Rao, 2007).

$$\begin{aligned}
\text{per}(A + B) = & \prod_{i=1}^5 A_i + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=i+1}^5 \sum_{k=1}^2 \sum_{l=k+1}^3 \sum_{m=l+1}^4 (a_{ij}a_{ji})A_kA_lA_m \\
& + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=i+1}^4 \sum_{k=j+1}^5 \sum_{l=1}^3 \sum_{m=l+1}^4 (a_{ij}a_{jk}a_{ki} + a_{ik}a_{kj}a_{ji})A_lA_m \\
& + (\sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^5 \sum_{k=j+1}^4 \sum_{l=i+2}^5 \sum_{m=1}^4 (a_{ij}a_{ji}a_{kl}a_{lk})A_m + \\
& \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^4 \sum_{k=i+1}^5 \sum_{l=j+1}^5 \sum_{m=1}^4 (a_{ij}a_{jk}a_{kl}a_{li} + a_{il}a_{lk}a_{kj}a_{ji})A_m) \quad (2) \\
& + \left( \sum_{i=1}^3 \sum_{j=i+1}^4 \sum_{k=j+1}^5 \sum_{l=1}^4 \sum_{m=l+1}^5 (a_{ij}a_{jk}a_{ki} + a_{ik}a_{kj}a_{ji})a_{lm}a_{ml} \right. \\
& \left. + \sum_{i=1}^1 \sum_{j=i+1}^4 \sum_{k=i+1}^5 \sum_{l=i+1}^5 \sum_{m=j+1}^5 (a_{ij}a_{jk}a_{kl}a_{lm}a_{mi} + a_{im}a_{ml}a_{lm}a_{kj}a_{ji}) \right)
\end{aligned}$$

Eşitlik 2’de sunulan ifade, asal köşegen ve yedek köşegen elemanlarını ve farklı boyutta köşegen üzerinde olmayan elemanların döngü kümesini içermektedir ( $a_{ij}a_{ji}$  gibi). Eşitlik 2, kriterlerin tümünü ve kriterlerin ikili karşılaştırmalarını göz önünde bulundurmaktadır. Bu nedenle beş kriterli bir değerlendirme için tam bir anlatım sunmaktadır.

M sayıda performans değerlendirme kriteri ve tüm kriterler arasında ilişki mevcut olan bir performans değerlendirme problemi düşünölsün. Kriter yönlü grafiği M düğömden ve  $M.(M-1)$  ayrıttan oluşur. Performans değerlendirme matrisi  $M \times M$  lik  $C_s$  matrisi olarak yazılabilir.

$$C_s = \begin{bmatrix} A_1 & a_{12} & a_{13} & \dots & \dots & a_{1M} \\ a_{21} & A_2 & a_{23} & \dots & \dots & a_{2M} \\ a_{31} & a_{32} & A_3 & \dots & \dots & a_{3M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M1} & a_{M2} & a_{M3} & \dots & \dots & A_M \end{bmatrix}$$

$C_s$  matrisinin performans değerlendirme fonksiyonu M sayıda faktöriyel terimi içerir.

$$\begin{aligned}
& \text{per}(C_s) = \\
& \prod_{i=1}^M A_i + \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=i+1}^M \dots \sum_{M=i+1}^M (a_{ij}a_{jk})A_{ij}A_j \dots a_{ij}a_{jk} \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=i+1}^M \sum_{j+1}^M \dots \sum_{M=i+1}^M \dots (a_{ij}a_{jk}a_{ki} \dots \dots a_{ik}a_{kj}a_{ji}) \\
& x(A_1A_nA_o \dots A_1A_m) + \left( \begin{aligned} & \sum_{i=1}^{M-3} \sum_{j=i+1}^M \sum_{k=i+1}^{M-1} \sum_{l=i+2}^M \dots \sum_{M=i+1}^M (a_{ij}a_{ji})(a_{kl}a_{lk}) A_m A_n A_o \dots A_1 A_M + \\ & \sum_{i=1}^{M-3} \sum_{j=i+1}^{M-1} \sum_{k=i+l}^M \sum_{l=i+1}^M \dots \sum_{M=i+1}^M (a_{ij}a_{jk}a_{kl}a_{li} + (a_{il}a_{lk}a_{kj}a_{ji})) A_m A_n A_o \dots A_1 A_M \end{aligned} \right) \\
& + \left( \begin{aligned} & \sum_{i=1}^{M-2} \sum_{j=i+1}^{M-1} \sum_{k=j+1}^M \sum_{l=1}^{M-1} \sum_{m=m+1}^M \dots \sum_{M=i+1}^M (a_{ij}a_{jk}a_{ki} + a_{ik}a_{kj}a_{ji})(a_{lm}a_{ml}) A_n A_o \dots A_1 A_M + \\ & \sum_{i=1}^{M-4} \sum_{j=i+1}^{M-1} \sum_{k=i+1}^M \sum_{l=i+1}^M \sum_{m=j+1}^M \dots \sum_{M=i+1}^M (a_{ij}a_{jk}a_{kl}a_{lm}a_{mi} + a_{im}a_{ml}a_{lk}a_{kj}a_{ji}) A_n A_o \dots A_1 A_M + \end{aligned} \right) \\
& + \left( \begin{aligned} & \sum_{i=1}^{M-3} \sum_{j=i+1}^{M-1} \sum_{k=i+1}^M \sum_{l=j+1}^M \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=m+1}^M \dots \sum_{M=i+1}^M (a_{ij}a_{jk}a_{kl}a_{li} + a_{ik}a_{lk}a_{kj}a_{ji})(a_{mn}a_{nm}) A_o \dots A_1 A_M + \\ & \sum_{i=1}^{M-5} \sum_{j=i+1}^{M-1} \sum_{k=i+1}^M \sum_{l=1}^{M-2} \sum_{m=l+1}^{M-1} \sum_{n=m+1}^M \dots \sum_{M=i+1}^M (a_{ij}a_{jk}a_{ki} + a_{ik}a_{kj}a_{ji}) (a_{lm}a_{mn}a_{nl} + a_{ln}a_{nm}a_{ml}) A_o \dots A_1 A_M + \\ & \sum_{i=1}^{M-5} \sum_{j=i+1}^M \sum_{k=i+1}^{M-3} \sum_{l=i+2}^M \sum_{m=k+1}^{M-1} \sum_{n=k+2}^M \dots \sum_{M=i+1}^M (a_{ij}a_{ji})(a_{kl}a_{lk})(a_{mn}a_{nm}) A_o \dots A_1 A_M + \\ & \sum_{i=1}^{M-5} \sum_{j=i+1}^{M-1} \sum_{k=i+1}^M \sum_{l=i+1}^M \sum_{m=i+1}^M \sum_{n=j+1}^M \dots \sum_{M=i+1}^M (a_{ij}a_{jk}a_{kl}a_{lm}a_{mn}a_{ni} + a_{in}a_{nm}a_{ml}a_{lk}a_{kj}a_{ji}) A_o \dots A_1 A_M + \end{aligned} \right) \\
& \tag{3}
\end{aligned}$$

Performans değerlendirme fonksiyonu, kriter değerlerini ve  $a_{ij}$  ikili karşılaştırma değerlerinin döngüsünü ( $a_{12}a_{21}, a_{12}a_{23}a_{31}$  gibi) temsil eden grupları içeren  $(M+1)$  gruba ayırılır. Birinci grupta tek bir terim vardır ve  $M$  adet kriter değerini içerir. İkinci grubun  $M-1$  kriter değerini ve ikili karşılaştırma değerinin tekli döngüsünü içermesi gerekirdi, ancak böyle bir döngü olmadığı için ikinci grup sıfır değerini alır. Üçüncü gruptaki terimler  $M-2$  adet kriter değerini ve ikili karşılaştırma değerlerinin ikili döngüsünü içerir. Dördüncü grupta her bir terim,  $M-3$  adet kriter değerini ve ikili karşılaştırma değerlerinin üçlü döngüsü sunar. Beşinci grup iki alt gruptan oluşur. İlk gruptaki terimler,  $M-4$  adet kriter değerinden ve iki adet ikili karşılaştırma değerlerinin ikili döngüsünden oluşur. İkinci gruptaki her bir terim ise,  $M-4$  adet kriter değerini ve ikili karşılaştırma değerlerinin dörtlü döngüsünü içerir. Altıncı grup iki alt gruptan oluşur. İlk alt grup,  $M-5$  adet kriter değerini, ikili karşılaştırma değerlerinin üçlü döngüsünü ve

ikili döngüsünü temsil eder. İkinci alt grubun her bir terimi ise, M-5 adet kriter değerini ve ikili karşılaştırma değerlerinin beşli döngüsünü içerir. Benzer olarak formülün diğer terimleri tanımlanır. Böylece, performans değerlendirme fonksiyonu ele alınan performans değerlendirme problemini ifade eder (Geetha, 2018). Eşitlik 3'te tüm terimler pozitif işaretli olduğundan veri kaybı yaşanmaz.

### 3.4. Performans İndeksi ve Alternatiflerin Performans Sıralaması

Performans değerlendirme fonksiyonunun sayısal değeri, performans indeksi olarak adlandırılır. Performans indeksi çoklu kriterlerin ve alternatiflerin olduğu karar verme durumlarında alternatiflerin amaçlara yaklaşma derecelerini veren değerdir.

Performans değerlendirme fonksiyonu sadece pozitif terimleri içerdiği için  $A_i$  değerlerindeki artışlar için fonksiyon değeri artarken  $A_i$  değerlerindeki azalma için fonksiyon değeri azalacaktır. Bu nedenle indeksin artması amaçlara yaklaşma durumunun arttığını, indeksin azalması amaçlara yaklaşma durumunun azaldığını ifade eder (Singh & Rao, 2011; Geetha & Sekar, 2016b). Alternatiflerin performans indeksleri büyükten küçüğe sıralanarak alternatiflerin amaçlara yaklaşma durumu sıralanmış olur ve bu şekilde alternatiflerin tercih edilebilirlik sıralaması elde edilir.

Performans değerlendirme fonksiyonu performans değerlendirme matrisindeki herhangi ikisi aynı satır ya da aynı sütunda bulunmayan elemanların mümkün olan bütün çarpımlarının toplanması olarak ifade edilmektedir. O halde 5 kriterli bir performans değerlendirme problemi için performans değerlendirme fonksiyonu herhangi ikisi aynı satır ya da aynı sütunda bulunmayan 5 adet elemanın mümkün olan bütün çarpımları olan  $5! = 120$  adet terimin toplamı, 6 kriterli bir performans değerlendirme problemi için performans değerlendirme fonksiyonu herhangi ikisi aynı satır ya da aynı sütunda bulunmayan 6 adet elemanın mümkün olan bütün çarpımları olan  $6! = 720$  adet terimin toplamı, 7 kriterli bir performans değerlendirme problemi için performans değerlendirme fonksiyonu herhangi ikisi aynı satır ya da aynı sütunda bulunmayan 7 adet elemanın mümkün olan bütün çarpımları olan  $7! = 5040$  adet terimin toplamı şeklinde ifade edilecektir. Görüldüğü gibi kriter sayısı artıkça indeks hesaplamalarının elle ya da Excel programı ile yapılması neredeyse imkânsız olacaktır. Bu hesaplama zorluğunun önüne geçmek için C programlama dilinde program yazılmıştır. Program için yazılan kod aşağıdaki gibidir:



```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

    double fonk(double **in, int n, int perm)
{   if (n == 1) return in[0][0];
    double sum = 0, *m[--n];
    for (int i = 0; i < n; i++)
        m[i] = in[i + 1] + 1;
    for (int i = 0, sgn = 1; i <= n; i++)
    {   sum += sgn * (in[i][0] * fonk(m, n, perm));
        if (i == n) break;
        m[i] = in[i] + 1;
        if (!perm) sgn = -sgn;
    } return sum;
} double det(double *in, int n, int perm)
{ double *m[n];
  for (int i = 0; i < n; i++)
      m[i] = in + (n * i);
  return fonk(m, n, perm);
} int main(void)
{   int sayi;
    int yazdir=0;
    int deger=0;
    printf("Kriter Sayisini Giriniz: ");
    scanf("%d", &sayi);
    double x[sayi*sayi];
    for(int i = 0; i < sayi; i++)
        { printf("\n");
          for(int j=0;j<sayi;j++)
          {   printf("(%d.satir, %d.sutun)=",i+1,j+1);
              scanf("%lf", &x[deger]);
              deger++;
          }   printf("\n");
        }
        for(int i = 0; i < sayi; i++)
        {

```

```

        printf("[");
        for(int j=0;j<sayi;j++)
    {
        printf("%3f ",x[yazdir]);
        yazdir++;
    }
        printf("]");
        printf("\n");
    }printf("\nIslem Sonucu: %14.12g\n", det(x, sayi, 1));
    return 0; }

```

Bahsedilen program çalıştırıldığında “Kriter Sayısını Giriniz:” komutuna uygulamada kullanılacak olan kriter sayısı girilir ve M kriter için MxM boyutlarında matris arka planda oluşturulmuş olur. Daha sonra performans değerlendirme matrislerindeki veriler programa girilir. Yapılan girdi işlemleri ile işlem sonucu ekrana yazdırılır.

Örnek olarak aşağıda 3x3'lük matris için performans indeksi hesaplanmıştır. Aynı matris için matristeki veriler programa girildiğinde de aynı sonuç elde edilmiştir.

$$D = \begin{pmatrix} 0,1 & 0,2 & 0,3 \\ 0,8 & 0,5 & 0,6 \\ 0,7 & 0,4 & 0,9 \end{pmatrix}$$

$$Per(D) = 0,1 \times 0,5 \times 0,9 + 0,1 \times 0,6 \times 0,4 + 0,5 \times 0,3 \times 0,7 + 0,9 \times 0,2 \times 0,8 + 0,3 \times 0,8 \times 0,4 + 0,2 \times 0,6 \times 0,7 = 0,498$$

```

Kriter Sayisini Giriniz: 3
(1.satir, 1.sutun)=0.1
(1.satir, 2.sutun)=0.2
(1.satir, 3.sutun)=0.3

(2.satir, 1.sutun)=0.8
(2.satir, 2.sutun)=0.5
(2.satir, 3.sutun)=0.6

(3.satir, 1.sutun)=0.7
(3.satir, 2.sutun)=0.4
(3.satir, 3.sutun)=0.9

[0.100000 0.200000 0.300000 ]
[0.800000 0.500000 0.600000 ]
[0.700000 0.400000 0.900000 ]

Islem Sonucu:          0.498
Press any key to continue . . .

```

Şekil 3. 6. Örnek program çıktısı

Alternatifler arasında performans değerlendirilmesi yapılması ve tercih edilebilirlik sıralaması elde edilmesi sürecinde birçok farklı kriterin bir arada değerlendirilebilmesi için kriter değerlerinin aynı ölçüm birimine sahip olması gerekmektedir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinde kriter değerleri farklı ölçüm birimine sahip ise aynı ölçüm birimine sahip olmasını sağlamak için normalizasyon yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Bu normalizasyon yöntemleri mevcut bulunan değerleri birlikte inceleyebilmek için birimi olmayan değerlere dönüştürmektedir (Özdağoğlu, 2013).

n alternatifli m kriterli bir problem durumu için alternatiflerin normalize edilmiş kriter değerleri; kriter fayda niteliğinde yani en iyi durum maksimizasyon ise denklem 4, kriter maliyet niteliğinde yani en iyi durum minimizasyon ise denklem 5 kullanılarak hesaplanabilir (Ghosh vd., 2019):

$$A_i^* = \frac{A_{ji}}{\max\{A_{1i}, A_{2i}, \dots, A_{ni}\}} \quad i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; \quad (4) \text{ (kriter için en iyi durum maksimizasyon ise).}$$

$$A_i^* = \frac{\min\{A_{1i}, A_{2i}, \dots, A_{ni}\}}{A_{ji}} \quad i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; \quad (5) \text{ (kriter için en iyi durum minimizasyon ise).}$$

### 3.5. Benzerlik/Farklılık Katsayısı

Performans değerlendirme fonksiyonu alternatiflerin sıralanabilmesi için kullanışlıdır. M sayıda performans değerlendirme kriteri bulunan belirli bir uygulama için alternatiflerin performans değerlendirme fonksiyonunun her gruplandırmasındaki terim sayısı aynı olacaktır. Ancak değerleri farklı olacaktır. Eşitlik 6'da performans değerlendirme fonksiyonunun gruplarından oluşan tanımlama kümesi gösterilmiştir.

$$T = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 = T_{51} + T_{52}, T_6 = T_{61} + T_{62}, \dots, T_{M+1}\} \quad (6)$$

Eşitlik 6 da  $T_{ij}$ , performans değerlendirme fonksiyonunun i. gruplandırmasının j. alt gruplandırmasının terimlerinin toplam değerini temsil etmektedir. Elde edilen alt grupların değerleri toplanarak tanımlama kümesindeki  $T_j$  değeri elde edilir. i. grubun alt grubu yoksa  $T_{ij}=T_i$  olarak alınır ve  $T_i$  i. gruplamanın terimlerinin toplam değerini temsil eder (Rao & Gandhi, 2002).

İki alternatifin karşılaştırması, performans değerlendirme fonksiyonunun terimlerinin gruplandırma/alt gruplandırmadaki sayısal değerleri kullanılarak elde

edilen benzerlik ve farklılık katsayılarının değerlendirilmesiyle de gerçekleştirilir. Benzerlik/farklılık katsayısı 0-1 aralığında değerler alır. İki alternatif benzer performansa sahipse, benzerlik katsayısı 1 ve farklılık katsayısı 0'dır. Aynı şekilde, iki alternatif farklı performansa sahipse, farklılık katsayısı 1 ve benzerlik katsayısı 0'dır. Eşitlik 7'de performans farklılığına dayalı olarak, iki alternatif için farklılık katsayısı önerilmiştir.

$$C_d^p = \left(\frac{1}{Q}\right) \sum_{ij} W_{ij} \quad (7)$$

Eşitlik 7'de  $Q = \max[\sum_{ij}|T_{ij}| \text{ ve } \sum_{ij}|T_{ij}'|]$  ve  $W_{ij} = |T_{ij} - T_{ij}'|$ 'nü vermektedir. Benzerlik katsayısı denklem (8) ile ifade edilir.

$$C_s^p = 1 - C_d^p \quad (8)$$

Eşitlik 7 ve 8, belirli bir uygulama için performanslara dayalı olarak iki alternatifi karşılaştırmak için kullanışlıdır (Rao, 2007).

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ DEPO RAF SİSTEMİ DEĞERLENDİRME UYGULAMASI

Seramik sağlık gereçleri sektöründe de diğer sektörlerde olduğu gibi rekabette öne geçebilmek için etkin bir depo raf sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bölümde seramik sağlık gereçleri üreten bir firmaya ait sınırlı depolama alanı bulunan bir depo için depo raf sistemi alternatifleri değerlendirilmiştir. 200 bin m<sup>2</sup>'lik bir alana kurulmuş olan üretim tesisinde bulunan deponun depolama için ayrılan alanı 87.7 metre uzunluğunda, 40 metre genişliğinde, 10 metre yüksekliğindedir. Çalışma yapılan firmada depolama maliyetlerini azaltmak, müşterilerin isteklerine daha kısa zamanda cevap verebilmek, ürün erişilebilirliğini ve izlenebilirliği takip edilebilmek amacıyla depo raf sistemi kullanımı ihtiyacı doğmuştur. Bu nedenle depo raf sistemlerinin performanslarını değerlendirmek için kriterler belirlenmiş ve raf sistemi alternatiflerinin kriterleri karşılama durumu GTMY ile sıralanmış ve tercih edilebilirlik sırası elde edilmiştir. Karar vericiler çalışma yapılan firmanın 4 lojistik yetkilisidir. Karar vericilere ait bilgiler aşağıda verilmiştir:

- Lojistik müdürü: Endüstri mühendisliği lisans mezunudur ve 20 yıllık sektör tecrübesine sahiptir.
- Lojistik yöneticisi: Endüstri mühendisliği lisans mezunudur ve 17 yıllık sektör tecrübesine sahiptir.
- Lojistik uzmanı: İşletme lisans mezunudur ve 5 yıllık sektör tecrübesine sahiptir.
- Lojistik uzmanı: Endüstri mühendisliği lisans mezunudur ve 4 senelik sektör tecrübesine sahiptir.

Depoda kullanılacak raf sistemi alternatiflerini değerlendirmek için kullanılan kriterler, literatürde yer alan çalışmalar ve firmanın lojistik yetkililerinin görüşleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu değerlendirme ile minimum maliyetli, maksimum kapasiteli, depolama alanı hacmini maksimum kullanan, ürünlere ulaşımı en kolay olan, ürünlerin en hızlı şekilde raflara yerleştirilmesine ve raflardan alınmasına imkân tanıyan raf sistemini belirlemek amaçlanmaktadır. Aşağıda alternatif sistemlerin performansını yani belirlenen amaçlara yaklaşma derecesini belirlemek için kullanılan

performans değerlendirme kriterleri ve bu kriterlerin kullanıldığı çalışmalar listelenmiştir:

- K1: Birim maliyet: Anbiyaa vd. (2019), Zaerpour vd. (2019), zbek ve Erol (2016)
- K2: Kapasite: Anbiyaa vd. (2019), Zaerpour vd. (2019), zbek ve Erol (2016)
- K3: rn eşitliliği: Indap (2018), Salcan (2012)
- K4: Günlük işlem hacmi: Zaerpour vd. (2019), Karakış (2014)
- K5: Hacim verimi: Indap (2018), Salcan (2012)

Kriter açıklamaları aşağıda yer almaktadır:

**Kapasite:** TDK'ye göre kapasite bir Őeyi içine alma, sığdırma sınırı anlamına gelmektedir. Depo raf sisteminin kapasitesi istifleyebileği en fazla ürün birimi ile ifade edilebilir. Seramik sağlık gereçleri için depolama birimi palet olduğundan bu çalışmada kullanılan raf sistemi ile kaç adet seramik sağlık gereci taşıyan ürün paleti istiflenebileği belirlenerek raf sistemlerinin kapasitesi hesaplanmaktadır. İşletmeler kapasitenin maksimum olduğu raf sistemini seçmeyi hedeflemektedir.

Çalışılan firma, depoda kullanılacak raf sistemi ile minimum 4500 paletin istiflenmesi beklemektedir. Çalışılan depo için palet depolamaya uygun raf sistemleri ile n çalışma yapılması ve minimum kapasiteyi karşılamayan raf sistemlerinin alternatif olarak değerlendirilmeye alınmaması kararı verilmiştir.

**Birim maliyet:** Depo raf sisteminin birim maliyeti, işletmenin bir ürünün tek bir biriminin raf sisteminde istiflenmesi sonucunda işletmeye çıkardığı giderdir. Bu gideri bulmak için raf sistemi toplam maliyeti raf sisteminin kapasitesine bölünmektedir. İşletmeler her birim için maliyet minimizasyonu sağlamayı hedefler. Hesaplamanın temelini, rafların kurulum maliyeti, kullanılan istifleme aracı maliyeti gibi sabit maliyetler oluşturmaktadır. Sabit giderlerin yanı sıra personele ödenecek maaş gibi faktörleri de dikkate almak önemlidir.

Seramik sağlık gereçleri için depolama birimi palet olduğundan çalışmamızda raf sisteminin birim maliyeti, raf sistemine bir paletin istiflenmesi için firmanın katlandığı maliyettir. Raf sisteminin birim maliyeti; raf sisteminin işletmeye toplam maliyetinin, raf sisteminin kapasitesine bölünmesiyle bulunmaktadır. Böylelikle bir

paletin istiflenme maliyeti hesaplanmaktadır. Bu çalışmada birim maliyet hesabı iki farklı şekilde yapılmıştır. 1. uygulamada sadece yatırım maliyetleri hesaba katılmış ve raf sistemi toplam maliyeti, raf kurulum maliyeti ve istifleme aracı maliyeti toplanarak hesaplanmıştır. Daha sonra raf sistemlerinin toplam maliyetleri, raf sistemlerinin palet istifleme kapasitesine bölünerek birim maliyet hesabı yapılmıştır. 2. uygulamada ise raf sisteminin 10 yıllık kullanım durumu incelenmiştir. Raf sistemi toplam maliyeti; kurulum maliyeti, istifleme aracı maliyeti, 10 yıllık personel ve enerji tüketim maliyeti toplanarak hesaplanmıştır. Birim maliyet hesabı için bu toplam, raf sistemlerinin palet istifleme kapasitesine bölünmüştür.

**Ürün çeşitliliği:** İşletmeler pazar erişimlerini ve müşteri tabanlarını genişletmek için ürün çeşitlendirmesi yapmakta ve farklı ürünler üretmektedir. Böylelikle yeni pazarlara ve alanlara açılarak kar için fırsatlarını artırmaktadırlar. Çalışmanın yapıldığı firmada da bu amaçla farklı tiplerde ve fonksiyonlarda ürün üretilmektedir. Firmanın 602 mal grubu altında toplam 2977 çeşit ürünü bulunmaktadır. Bu nedenle firmanın deposunda kullanılacak raf sisteminin ürün çeşitliliğine uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Kullanılan raf sistemi ürünlerin birbirlerinden ayrıştırılması, birbirinden farklı olarak istiflenmesi ve hareket etmesine uygun olmalıdır. Bir raf sisteminde direkt ulaşılabilen her ürün farklı ürün olacak şekilde istiflenebilir. Farklı bir ifadeyle istiflenebilecek maksimum ürün çeşidi sayısı direkt ulaşılabilen ürün sayısı kadardır. Bu çalışmada alternatiflerin ürün çeşitliliği sayısı direkt ulaşılabilen palet sayısı belirlenerek hesaplanmaktadır. Firmanın ürün çeşitliliğinin daha da artabileceği düşünülerek seçilecek raf sisteminin en çok ürün çeşidini istiflemeye uygun olması hedeflenmektedir.

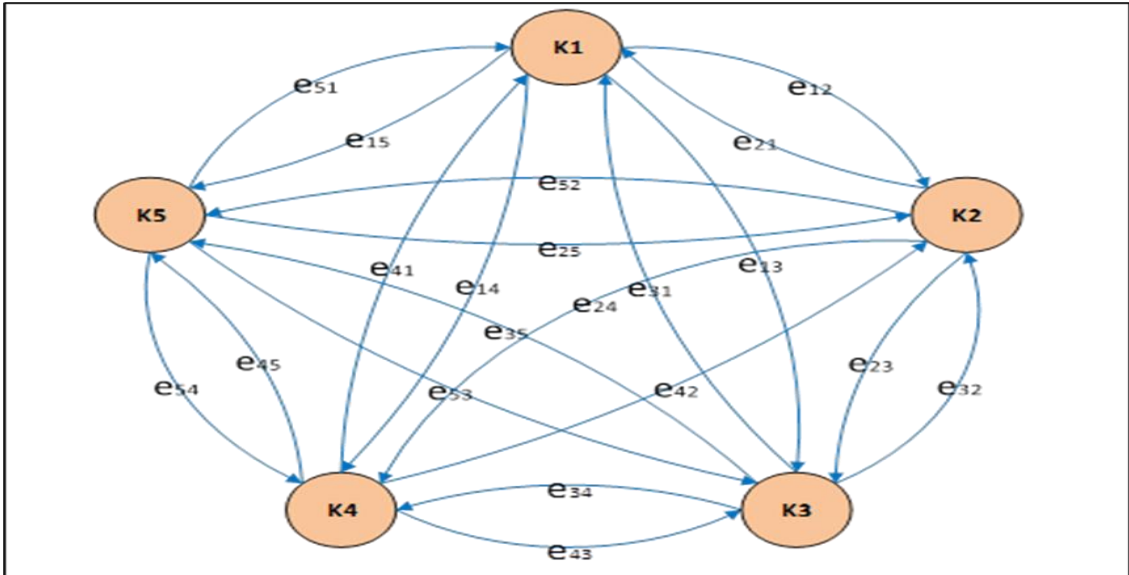
Çalışılan depo için palet depolamaya uygun raf sistemleri ile ön çalışma yapılması ve 2977 çeşit ürün istiflemeye uygun olmayan sistemlerin alternatif olarak değerlendirilmeye alınmaması kararlaştırılmıştır.

**Günlük işlem hacmi:** Raf sistemi için günlük işlem hacmi, günlük olarak raflara giren ve raflardan çıkan palet hareketliliğinin 24 saatlik dilimde gerçekleşen hareket sayılarını ifade etmektedir. Firmanın günlük işlem hacmi 250 palet girişi ve çıkışı olarak belirtilmiştir. Belirlenecek olan raf sistemi günlük işlem hacmini karşılamalı ve stratejik planlarına istinaden esneklik sağlamalıdır. Bu çalışmada alternatiflerin günlük işlem hacmi sayısı; alternatiflerin kullanımına göre raflara günlük giriş çıkış yapılabilecek maksimum palet sayısı bulunarak hesaplanmıştır.

Çalışılan depo için palet depolamaya uygun raf sistemleri ile ön çalışma yapılmış ve günlük palet hareketliliği 500'den az olan sistemlerin alternatif olarak değerlendirilmeye alınmaması kararlaştırılmıştır.

**Hacim verimi:** Depo raf sistemi için ayrılan sabit bölgenin hacminin, ne ölçüde etkili kullanıldığına göstergesidir. İşletmeler raf sistemlerini seçerken hacim kullanımında yüksek verimliliğe dikkat etmektedir. Depolarda, düşük koridor aralıklarında çalışılabilmesine ve depo yüksekliğinin kullanılabilmesine imkân veren raf sistemi ve buna uygun olan istifleme aracı kullanımı ile hacim verimi artmaktadır. Bu çalışmada alternatif raf sistemlerinin hacim verimi, sistemlerin depolama alanı hacminin yüzde kaçını istifleme için kullanabildiği hesaplanarak bulunmaktadır.

Performans değerlendirme kriterleri belirlendikten sonra kriter yönlü grafiği oluşturulmuştur. Firmanın lojistik yetkililerinin ortak tercihleri doğrultusunda kriterlerin önem sıralaması  $K_1 = K_2 > K_3 > K_4 > K_5$  şeklindedir. Şekil 4.1 düğümleri performans değerlendirme kriterlerini ve ayrıtları performans değerlendirme kriterlerinin ikili karşılaştırmalarını temsil eden kriter yönlü grafiğidir. Kriterler önem sırasına göre saat yönünde sıralanmıştır.



Şekil 4. 1. Kriter yönlü grafiği

Şekil 4.1'deki kriter yönlü grafiğinin matris formu asal köşegeni 0 olan C kriter karşılaştırma matrisi olarak ifade edilebilir. C matrisi, kriterlerin ikili karşılaştırma değerlerinden oluşmaktadır. C matrisindeki  $a_{ij}$  değerleri,  $e_{ij}$  ayrıtlını temsil etmektedir ve i kriteri ile j kriterinin ikili karşılaştırma değerini vermektedir. Bu değerler Tablo 3.1'de



yer alan karşılaştırma ölçeğinden elde edilmektedir. Kriterlerin ikili karşılaştırma değerlerine firmanın lojistik yetkilileri karar vermiştir.

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.8 \\ 0.5 & 0 & 0.6 & 0.7 & 0.8 \\ 0.4 & 0.4 & 0 & 0.8 & 0.8 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0 & 0.6 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0 \end{bmatrix}$$

Çalışma yapılan firmada seramik sağlık gereçlerini zarar görmeden taşıyabilmek ve ürünlerin yerlerini değiştirebilmek için ahşap palet kullanılmaktadır. Firmada kullanılan paletlerin ölçüleri 100x120, 70x120 ve 80x120'dir. Verilen ölçüler cm cinsindedir. Ürün yüklü paletlerin yükseklikleri maksimum 160 cm uzunluğunda ve ürün yüklü bir palet maksimum 900 kg ağırlığındadır.

Firmadan alınan bilgiler doğrultusunda depo raf sistemi kullanımı ile karşılanması istenen ihtiyaçlar aşağıda listelenmiştir:

- Depoda yaklaşık olarak %50'si 100x120, geri kalan %50'si ise 70x120 ve 80x120 ölçülerindeki üç çeşit palet depolanabilmelidir.
- Depo minimum 4500 palet kapasiteli olmalıdır.
- Depoda günlük minimum 250 palet yükleme ve boşaltma yapılabilmelidir.
- Depoda 602 mal grubu altında en az 2977 malzeme çeşidi istiflenebilmelidir.

Seramik sağlık gereçleri depolama birimi palet olduğundan palet yükleri için uygun raf sistemi alternatifleri;

- Sırt sırta raf sistemi
- Çift derinlikli raf sistemi
- Tek paletli raf sistemi
- İçine girilebilir raf sistemi ve içinden geçilebilir raf sistemi
- Giydirme raf sistemi
- Paletli kayar raf sistemi
- Hareketli raf sistemi
- Otomatik raf sistemi
- Dar koridor raf sistemi

olarak sayılabilir. Depodaki ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak yapılan ön değerlendirme sonucu sayılan sistemler arasından değerlendirilmeye alınacak alternatifler sırt sırta, dar koridor ve çift derinlikli raf sistemi olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada paletli ürünleri depolamaya uygun olduğu halde depo raf sistemi alternatifi olarak değerlendirilmeyen sistemlerin, değerlendirilmeme nedenleri aşağıda açıklanmıştır:

- İçine girilebilir raf sisteminde ve içinden geçilebilir raf sisteminde aynı ebatlardaki paletler aralarında boşluk bırakılmaksızın üst üste ve arkaya doğru yerleştirilmektedir. Bu durum dar alanda daha çok palet depolanmasını sağlarken paletlere direkt ulaşılmasını engellediğinden üst üste ve arkaya doğru bir bloktaki paletlerin tamamen aynı ürüne ait olması gerekmektedir. Örneğin; çalışma yapılan depo 40 metre genişliğinde ve kullanılan tüm paletler 120 cm genişliğinde olduğundan hiç güvenlik boşluğu bırakılmasa bile yaklaşık 33 sıra palet alacaktır. Bu durumda bu raf sistemleri kullanımı ile 33 sıra raf ile 33 farklı ürün depolanabilecektir. Raf sisteminin güvenli kullanımı için bırakılması gereken boşluklarda düşünüldüğünde gerçekte 33'ten daha az ürün çeşidi depolanabilecektir. Kullanılan raf sistemi ile en az 2977 malzeme çeşidinin depolanabilmesi beklendiği için bu sistemler depo raf sistemi alternatifi olarak değerlendirilmeye alınmamıştır.

- Paletli kayar raf sisteminde makara sistemi sayesinde alınan bir paletin arkasından gelen diğer palet kayarak alınan paletin yerine geçtiği için arkaya doğru bir bloktaki ürünlerin aynı ürün olması gerekmektedir. Bu sistemde ürün çeşitliliği az olan firmalar tarafından tercih edilmektedir. Kullanılan raf sistemi ile en az 2977 malzeme çeşidinin depolanabilmesi beklendiği için bu sistem depo raf sistemi alternatifi olarak değerlendirilmeye alınmamıştır.

- Giydirme raf sistemi betonarme yapı olmadığı durumlarda kullanıldığından alternatif olarak değerlendirmeye alınmamıştır.

- Tek paletli raf sistemi, büyük, ağır birim yüklerin depolanması için en yaygın kullanılan raf sistemidir. Sistem ile iki ayak arasında her raf bölmesinde tek palet taşımaktadır. Her raf bölmesinde tek palet taşınması ve her bir rafın yanında koridor bulunması nedeniyle depolama yapılamayan alanları artırarak depolama verimliliğini ve depo kapasitesini düşürmektedir. Yapılan ön çalışma ile beklenen kapasiteyi

karşılamağı görölmüş ve bu nedenle bu sistem depo raf sistemi alternatifi olarak değerlendirilmeye alınmamıştır.

- Hareketli raf sisteminde sadece tek koridor aralığı bulunmaktadır. Rafların hareket hızı dakikada 4,8 metredir. Örneğin 24 metre ilerdeki bir raftan ürün almak isteniyorsa o rafın koridorunun açılması için 5 dakika beklenmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu sistem ürün çeşitliliği fazla olan depolar için ürün sirkülasyonu düşük olduğu zaman tercih edilmektedir. Kullanılan raf sistemi ile en az 2977 malzeme çeşidinin depolanabilmesi ve günlük raflara 250 palet giriş ve çıkışı olması beklendiğinden bu sistem depo raf sistemi alternatifi olarak değerlendirilmeye alınmamıştır.

- Otomatik raf sistemi depo yüksekliğinin en verimli kullanıldığı sistemdir ve bu sistem ile depo yüksekliği 40 metreye kadar kullanabilmektedir. Bu raf sistemi diğer depo raf sistemlerine göre çok yüksek yatırım maliyetleri gerektirmekte ve büyük projelerde tercih edilmektedir. Uygulama yapılan depo yüksekliği 10 metre olduğundan bu sistem çok yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle depo raf sistemi alternatifi olarak değerlendirilmeye alınmamıştır.

#### **4.1. Deponun Raf Sistemi Alternatifleri ile Modellenmesi**

Çalışma yapılan deponun depolama için ayrılan alanı 87.7 metre uzunluğunda, 40 metre genişliğinde, 10 metre yüksekliğindedir. Depolama alanı; sırt sırta, dar koridor ve çift derinlikli raf sistemi ile maksimum alabileceği palet sayısına göre tasarlanmış ve Solidworks programıyla modellenmiştir. Sırt sırta raf sistemi iki farklı koridor genişliğine göre değerlendirilmeye alınarak iki farklı şekilde tasarlanmış ve normal koridor raf sistemi ve geniş koridor raf sistemi olarak adlandırılmıştır. Depo raf sistemi alternatiflerinde kullanılan istifleme araçları aşağıda listelenmiştir:

- Normal koridor raf sistemi alternatifinde istifleme aracı olarak yüksek irtifa istifleme aracı kullanılmıştır.
- Geniş koridor raf sistemi alternatifinde istifleme aracı olarak çatallı istifleme aracı kullanılmıştır.
- Dar koridor raf sistemi alternatifinde istifleme aracı olarak kule istifleme aracı kullanılmıştır.
- Çift derinlikli raf sistemi alternatifinde istifleme aracı olarak teleskopik çatallı yüksek irtifa istifleme aracı kullanılmıştır.

Çalışılan firmanın ihtiyacına yönelik, depolama alanında yaklaşık olarak %50'si 100x120, geri kalan %50'si ise 70x120 ve 80x120 ölçülerinde üç çeşit palet istiflenmesi ve ürün yüklü bir paletin yüksekliğinin maksimum 160 cm uzunluğunda ve maksimum 900 kg ağırlığında olması durumu dikkate alınarak modelleme yapılmıştır. Çalışmada yüklü paletlerin tümünün maksimum yükseklik ve ağırlıkta olduğu kabul edilmiştir. Kullanılan paletlerin ölçüleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 2. Kullanılan palet ölçüleri

Modellerde rafların kaç kat, kaç bölme ve kaç sıra olacağı, koridor genişlikleri, yol genişlikleri Tablo 4.1'de yer alan istifleme araçlarının teknik özellikleri dikkate alınarak ve Şekil 4.3'te gösterilen ölçüler hesaplanarak belirlenmiştir. Tasarlanan modeller Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

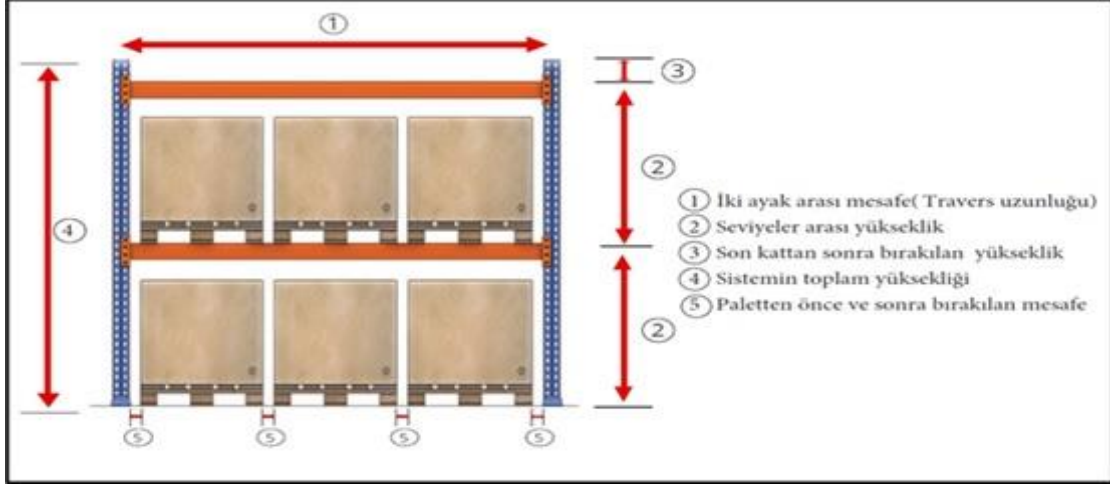
Tablo 4. 1. İstifleme araçlarının teknik özellikleri

	Kule istifleme aracı		Yüksek irtifa istifleme aracı		Yüksek irtifa istifleme aracı (Teleskopik çatal ile)		Çatallı istifleme aracı	
	Yüklü	Yüksüz	Yüklü	Yüksüz	Yüklü	Yüksüz	Yüklü	Yüksüz
<b>Sürüş hızı (m/sn)</b>	2.92	2.92	3.89	3.89	3.89	3.89	4.44	4.44
<b>Kaldırma hızı (m/sn)</b>	0.45	0.46	0.48	0.70	0.48	0.70	0.44	0.55
<b>İndirme hızı (m/sn)</b>	0.48	0.48	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
<b>İtiş hızı (m/sn)</b>	0.30	0.30	0.24	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25
<b>Dönüş yarıçapı(mm)</b>	2460		1670		1670		1548	
<b>Minimum çalışma yolu genişliği(mm)</b>	4920		2753		2753		3339	
<b>Azami kaldırma yüksekliği(mm)</b>	13000		10700		10700		7000	

<b>Minimum çalışma koridoru genişliği(mm)</b>	1600	2753	2753	3339
<b>Azami taşıma kapasitesi(kg)</b>	1500	1600	1600	1800
<b>Enerji tüketimi (kWh/h)</b>	4	3.6	3.6	4.7

Kaynak: (Jungheinrich, 2021)

Şekil 4.3'te raf bölmesinin yandan görünümü verilmiştir. Çalışma yapılan firmadan alınan bilgi doğrultusunda her bir yüklü paletin yüksekliği 160 cm'dir. 2 numara ile gösterilen seviyeler arası yükseklik; yüklü paletin yüksekliği, üstten bırakılan pay ve travers yüksekliği toplamı ile 180 cm ve 3 numara ile gösterilen son kattan sonra bırakılması gereken yükseklik 10 cm'dir (Mecalux, 2021). Bu durumda depo yüksekliği 1000 cm olduğundan depolama en fazla 5 katlı raflarda yapılabilmektedir. 5. kata ürün yerleştirme yapabilmek için kullanılan istifleme aracının en az dördüncü katın bittiği beşinci katın başladığı 720 cm yüksekliğe ürün çıkarabilmesi gerekmektedir. Bu bilgi ışığında Tablo 4.1'de yer alan raf sistemlerinde kullanılacak olan istifleme araçlarının çıkabileceği azami yüksekliklere bakıldığında normal koridor raf sistemi, dar koridor raf sistemi ve çift derinlikli raf sistemi alternatiflerinde kullanılan araçların 5. kata ürün çıkarabileceği görülmektedir. Bu sistemlerin kullanıldığı raflar 5 katlı tasarlanmıştır. Geniş koridor raf sistemi alternatifinde kullanılan araç ise azami 700 cm yüksekliğe ürün çıkarabildiğinden bu istifleme aracı ile beşinci kata ürün yerleştirme yapılamaz. Bu istifleme aracı üçüncü katın bittiği dördüncü katın başladığı 540 cm yüksekliğe ürün yerleştirme yapabilir. Bu nedenle geniş koridor raf sisteminin kullanıldığı raf 4 katlı olarak tasarlanmıştır. Verilen bilgiler yardımıyla normal koridor raf sistemi, dar koridor raf sistemi ve çift derinlikli raf sistemi alternatifleri beş katlı tasarlandıkları için 4 numara ile gösterilen toplam yükseklik 910 cm, geniş koridor raf sistemi alternatifi dört katlı tasarlandığı için 4 numara ile gösterilen toplam yükseklik 730 cm'dir.



Şekil 4. 3. Raf bölmesi yandan görünümü

Her bir raf bölümü 3 ton taşıma kapasitelidir (Ataraf, 2021). Çalışma yapılan firmadan alınan bilgi doğrultusunda ürün yüklü paletler 900 kg ağırlığındadır. Bu nedenle her raf bölümü 3 adet ürün paleti taşıyabilmektedir.

Paletin güvenli bir şekilde alınması için Şekil 4.3'te 5 numara ile gösterilen paletten önce ve sonra bırakılması gereken mesafe 7.5 cm'dir ve 1 numara ile gösterilen iki ayak arası mesafe paletin uzunluğuna göre değişmektedir (Mecalux, 2021). İki ayak arası mesafe ölçüsü aynı zamanda kullanılan traversin uzunluk ölçüsünü de vermektedir. Belirlenen depoda kullanılan paletlerin ölçüleri 70x120, 80x120 ve 100x120'dir. Bu ölçüler kullanılan paletlerin uzunluklarının sırasıyla 70, 80 ve 100 cm olduğunu ve üç paletin genişliğinin de 120 cm olduğunu ifade etmektedir. O halde 3 farklı palet uzunluğu için olması gereken iki ayak arası mesafelerin ölçüleri aşağıdaki gibidir:

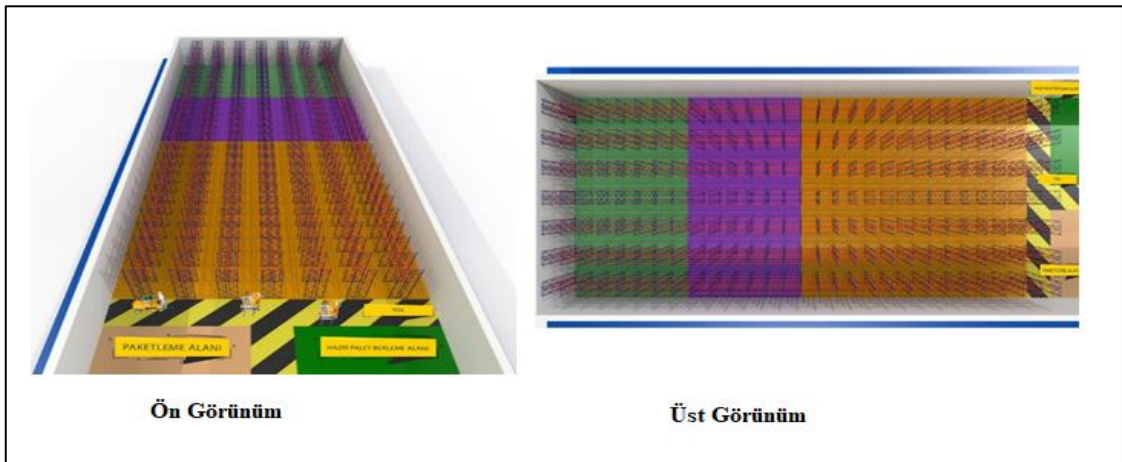
- 70x120 ölçülerinde paletin uzunluğu 70 cm'dir. Bu ölçülerde palet konulan bölmede 3 palet için 210 cm ve 4 boşluk için 30 cm uzunluk gerekli olduğundan 1 numaralı ölçü 240 cm'dir.
- 80x120 ölçülerinde paletin uzunluğu 80 cm'dir. Bu ölçülerde palet konulan bölmede 3 palet için 240 cm ve 4 boşluk için 30 cm uzunluk gerekli olduğundan 1 numaralı ölçü 270 cm'dir.
- 100x120 ölçülerinde paletin uzunluğu 100 cm'dir. Bu ölçülerde palet konulan bölmede 3 palet için 300 cm ve 4 boşluk için 30 cm uzunluk gerekli olduğundan 1 numaralı ölçü 330 cm'dir.

Depolama alanı 87.7 metre uzunluğunda olan depo, raf sistemi alternatiflerinin kullanımına göre tasarlanırken, raf bölme sayısının ve depo yol genişliğinin ne olacağına kararı hesaplanan 1 numaralı ölçüler ve Tablo 4.1’de yer alan istifleme araçlarının çalışabileceği minimum yol genişlikleri dikkate alınarak verilmiştir. Depolama alanı yaklaşık olarak %50’si 100x120, geri kalan %50’si ise 70x120 ve 80x120 ölçülerinde üç çeşit palet istiflenmesi durumuna göre tasarlanmıştır. Tablo 4.2’de raf sistemi alternatiflerinin raf bölme sayıları ve depo yol genişliği verilmiştir.

Tablo 4. 2. Raf sistemi alternatiflerinin raf bölme sayıları ve depo yol genişliği

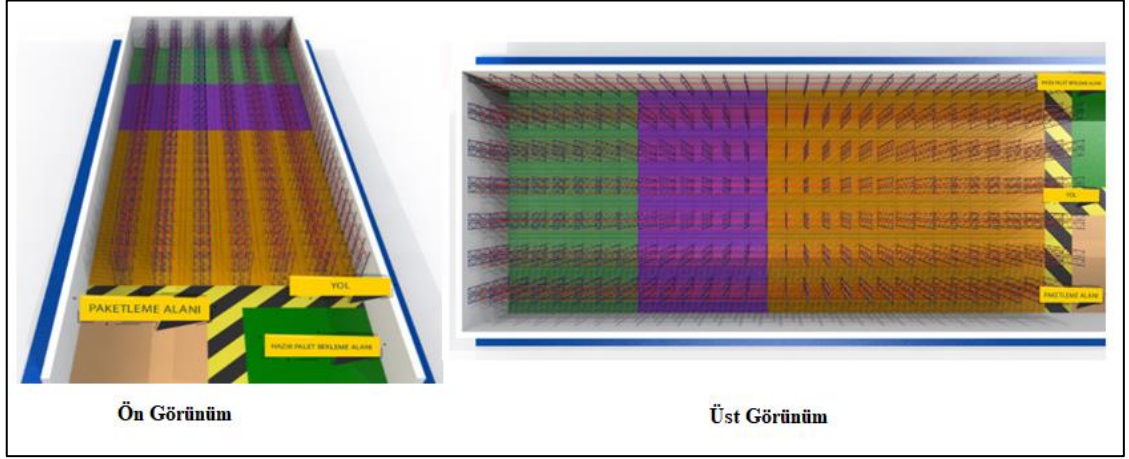
Alternatifler	70x120 ölçülerinde palet bulunan raf bölmesi sayısı	80x120 ölçülerinde palet bulunan raf bölmesi sayısı	100x120 ölçülerinde palet bulunan raf bölmesi sayısı	Toplam raf bölmesi sayısı	Depo yol genişliği(m)
Normal koridor raf sistemi	8	7	14	29	3.4
Geniş koridor raf sistemi	8	7	14	29	3.4
Dar koridor raf sistemi	7	7	14	28	5.8
Çift derinlikli raf sistemi	8	7	14	29	3.4

Belirlenen depo 40 metre genişliğindedir. Normal koridor raf sistemi alternatifinde istifleme aracı olarak kullanılan yüksek irtifa istifleme aracının teknik verileri dikkate alınarak depolama alanı en çok raf sırası alacak şekilde ölçülendirilmiş ve koridor genişlikleri 2.9 olarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda normal koridor raf sistemi kullanımına göre depodaki raflar 29 bölmeli, 14 sıralı ve 5 katlı olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan model Şekil 4.4’te gösterilmiştir.



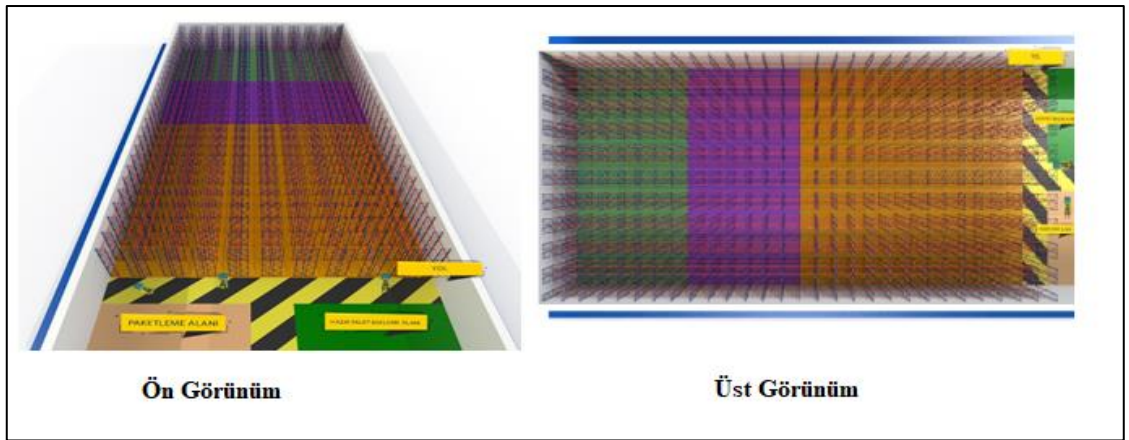
Şekil 4. 4. Normal koridor raf sistemi görünümler

Geniş koridor raf sistemi alternatifinde istifleme aracı olarak kullanılan çatallı istifleme aracının teknik verileri dikkate alınarak depolama alanı en çok raf sırası alacak şekilde ölçülandırılmış ve depolama alanının koridor genişliği 3.4 olarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda geniş koridor raf sistemi kullanımına göre depodaki raflar 29 bölmeli, 13 sıralı ve 4 katlı olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan model Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. 5. Geniş koridor raf sistemi görünümler

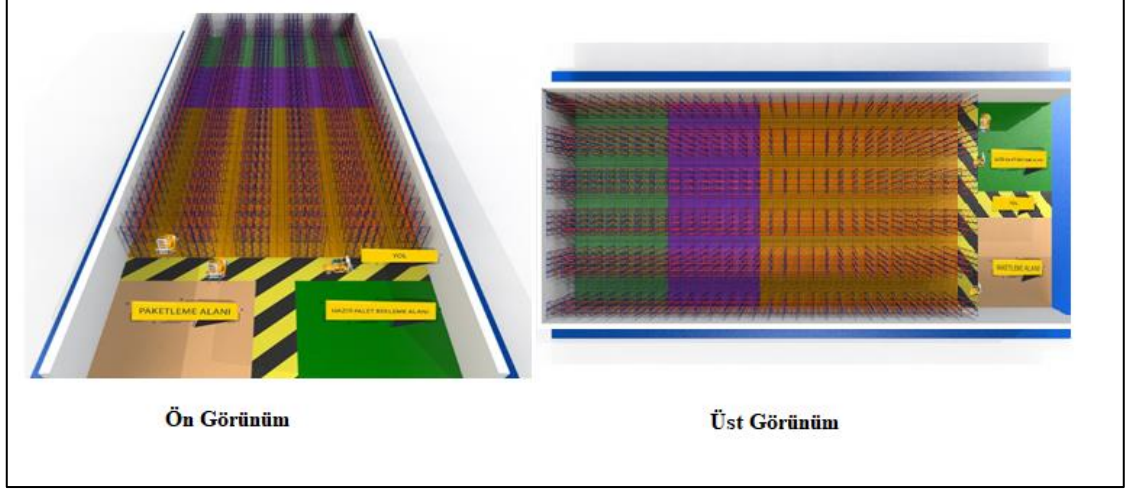
Dar koridor raf sistemi alternatifinde istifleme aracı olarak kullanılan kule istifleme aracının teknik verileri dikkate alınarak depolama alanı en çok raf sırası alacak şekilde ölçülandırılmış ve depolama alanının koridor genişliği 1.6 olarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda dar koridor raf sistemi kullanımına göre depodaki raflar 28 bölmeli, 20 sıralı ve 5 katlı olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan model Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4. 6. Dar koridor raf sistemi görünümler



Çift derinlikli raf sistemi alternatifinde istifleme aracı olarak kullanılan teleskopik çatallı yüksek irtifa istifleme aracının teknik verileri dikkate alınarak depolama alanı en çok raf sırası alacak şekilde ölçülendirilmiş ve depolama alanının koridor genişliği 2.9 olarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda çift derinlikli raf sistemi kullanımına göre depodaki raflar 29 bölmeli, 20 sıralı ve 5 katlı olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan model Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 7. Çift derinlikli raf sistemi görünümler

Bu modellerden yararlanılarak sistemlerin birim maliyet, kapasite, ürün çeşitliliği, günlük işlem hacmi ve hacim verimi kriter değerleri hesaplanmıştır. Birim maliyet kriter değeri hesaplamasına iki farklı bakış açısıyla yaklaşılarak iki uygulama yapılmıştır. Uygulamalarda GTMY'nin adımları uygulanarak alternatif sistemlerin kriterleri karşılama sıralaması, başka bir ifadeyle tercih edilebilirlik sıralaması elde edilmiştir.

#### 4.2. Uygulama 1: Yatırım Maliyetlerine Göre Uygulama

Bu bölümde minimum maliyetli, maksimum kapasiteli, depolama alanı hacmini maksimum kullanan, ürünlere ulaşımı en kolay olan, ürünlerin en hızlı şekilde raflara yerleştirilmesine ve raflardan alınmasına imkân tanıyan raf sistemini belirlemek amaçlı GTMY ile uygulama yapılmıştır. Çalışma yapılan depo için raf sistemi alternatifleri; normal koridor raf sistemi, geniş koridor raf sistemi, dar koridor raf sistemi ve çift derinlikli raf sistemidir. Raf sistemi alternatiflerinin performansları, amaçlara yaklaşma derecesine göre değerlendirilmiştir. Performans değerlendirmesi için kullanılan kriterler aşağıda listelenmiştir:

- Kapasite
- Günlük işlem hacmi
- Birim maliyet
- Hacim verimi
- Ürün çeşitliliği

Alternatif sistemleri performans olarak karşılaştırmak için;

- Raf sistemi alternatiflerinin kriter değerleri hesaplanmıştır. Birim maliyet hesaplanırken raf sistemi alternatiflerinin yatırım maliyetleri dikkate alınmıştır.
- Raf sistemi alternatiflerinin performans değerlendirme matrisleri oluşturulmuştur.
- Performans değerlendirme fonksiyonu yardımıyla raf sistemi alternatiflerinin performans indeksleri ve farklılık/benzerlik katsayıları bulunmuştur.

#### **4.2.1. Depo Raf Sistemleri Kriter Değerleri**

Alternatiflerin tercih edilebilirlik sıralamasını elde edebilmek için bu bölümde alternatiflere ait kriter değerleri hesaplanmaktadır.

##### **Kapasite**

Şekil 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7’de gösterilen modellerden yararlanılarak alternatif raf sistemi kullanımına göre depoda istiflenebilecek maksimum palet sayısı hesaplanmış ve alternatif sistemlerin kapasite kriter değeri bulunmuştur ve Tablo 4.3’te gösterilmiştir.

Çalışma yapılan depo,

- Normal koridor raf sistemi kullanımına göre depodaki raflar 29 bölmeli, 14 sıralı ve 5 katlı
- Geniş koridor raf sistemi kullanımına göre depodaki raflar 29 bölmeli, 13 sıralı ve 4 katlı
- Dar koridor raf sistemi kullanımına göre depodaki raflar 28 bölmeli, 20 sıralı ve 5 katlı
- Çift derinlikli raf sistemi kullanımına göre depodaki raflar 29 bölmeli, 20 sıralı ve 5 katlı

olarak tasarlanmıştır. Her bir raf bölümü 3 ton taşıma kapasitelidir. Ürün yüklü paletler 900 kg ağırlığında olduğu için her raf bölümü 3 adet ürün paleti taşımaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda raf sistemleri ile istiflenebilecek maksimum palet sayıları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda Eşitlik 9 kullanılmıştır.

$$X = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 \quad (9)$$

$X_1$ : Raf bölümü sayısı

$X_2$ : Raf sıra sayısı

$X_3$ : Bir raf bölümüne konulan palet sayısı

$X_4$ : Raf kat sayısı

Tablo 4. 3. Raf sistemi alternatiflerinin kullanımına göre depo kapasitesi

Alternatifler	Raf bölümü sayısı	Raf sıra sayısı	Raf kat sayısı	Bir raf bölümüne konulan palet sayısı	Kapasite (palet)
Normal koridor raf sistemi	29	14	5	3	29x14x3x5= 6090
Geniş koridor raf sistemi	29	13	4	3	29x13x3x4 = 4524
Dar koridor raf sistemi	28	20	5	3	28x20x3x5= 8400
Çift derinlikli raf sistemi	29	20	5	3	29x20x3x5= 8700

### Günlük İşlem Hacmi (Palet)

Depo raf sistemi için günlük işlem hacmi, günlük olarak raflara giren ve raflardan çıkan palet hareketliliğinin 24 saatlik dilimde gerçekleşen hareket sayılarını ifade etmektedir. Raflara günlük giriş çıkış yapılabilen maksimum palet sayısı günlük işlem hacmi kriter değerini oluşturmaktadır. Bu çalışmada,

- Normal koridor raf sistemi için yüksek irtifa istifleme aracı
- Geniş koridor raf sistemi için çatallı istifleme aracı
- Dar koridor raf sistemi için kule istifleme aracı
- Çift derinlikli raf sistemi için teleskopik çatallı yüksek irtifa istifleme aracı kullanılmıştır.

Raf sisteminin günlük işlem hacmini hesaplamak için ilk olarak bir paletin istifleme aracı ile yoldan alınıp rafa yerleştirilmesi ve raftan alınıp yola bırakılması için geçen süre ortalama olarak hesaplanmıştır. Bu işlem için ilk noktası depolama alanı genişliğinin ortasında rafların başladığı noktada bulunan bir palet, istifleme aracı ile ilk

noktadan alınıp her raf sırasının orta katında olan her raf bölümünün ortasına yerleştirilmiş, alınmış ve ilk noktaya geri gelinip palet bırakılmıştır. Yapılan hareketlerin ortalamaları alınmış ve Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. 4. Ortalama hareketler

	Araç hareketi	İstifleme Araçları			
		Kule istifleme aracı	Yüksek irtifa istifleme aracı	Yüksek irtifa istifleme aracı (Teleskopik çatal ile)	Çatalı istifleme aracı
<b>Gidiş</b>	Paleti alma (m)	2.40	2.40	2.40	2.40
	Yolda gitme (m)	10.00	10.60	9.24	10.03
	Raf arasında gitme (m)	43.84	45.19	45.19	45.19
	Kaldırma (m)	3.60	3.60	3.60	2.70
	Paleti rafa yerleştirme (m)	2.40	2.40	3.60	2.40
	Dönüş hareketi (m)	7.73	5.24	5.24	4.86
<b>Dönüş</b>	Paleti raftan alma (m)	2.40	2.40	3.60	2.40
	Yolda gitme (m)	10.00	10.60	9.24	10.03
	Raf arasında gitme (m)	43.84	45.19	45.19	45.19
	İndirme (m)	3.60	3.60	3.60	2.70
	Paleti bırakma (m)	2.40	2.40	2.40	2.40
	Dönüş hareketi (m)	7.73	5.24	5.24	4.86

Çalışma yapılan depo için bir paletin yoldan alınıp rafa yerleştirilmesi ve raftan alınıp yola bırakılması için ortalama ne kadar süre gerektiğini bulmak amaçlı dar koridor raf sistemi ve kule istifleme aracı kullanılan bir depoda zaman etüdü çalışması yapılmıştır. Zaman etüdü, belirlenen şartlar altında ve tempoda vasıflı bir işçinin belirli bir işi yapması için ne kadar süre gerektiğini bulmak amaçlı kullanılmaktadır. Zaman etüdü çalışmalarında kaç adet gözlem yapılacağına karar vermek için öncelikle bir miktar gözlem yapılmaktadır. Yapılan bu gözlemler ile elde edilen sonuçlar incelenerek yapılan gözlemin yeterli olup olmadığına ve eğer yeterli değilse kaç adet daha gözlem yapılması gerektiğine karar verilir. Gerekli gözlem sayısının hesaplanması için Eşitlik 10 kullanılır. Eşitlik 10'da çıkan sayının tam sayı olmaması durumunda çıkan sonuç kendinden büyük en yakın tam sayıya yuvarlanarak N sayısı elde edilir.  $n \geq N$  ise gözlem sayısı yeterlidir. Aksi durumda N sayısına ulaşılan kadar gözlem yapılmaya devam edilmelidir (Doğruer, 2016).

$$N = \left( \frac{40\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}}{\sum x_i} \right)^2 \quad (10)$$

n: Ön etütle yapılan gözlem sayısı

N: Gerekli gözlem sayısı

$x_i$  : Gözlenen (ölçülen) süre

Zaman etüdü çalışmasında Tablo 4.4'te kule istifleme aracı için yer alan mesafeler için çalışılmıştır. Yol üzerinde raf koridor girişine 10 metre uzaklıkta bir noktada bulunan palet; kule istifleme aracı ile alınmış, 10 metre ilerlenip dönülerek rafların arasına girilmiş, raf arasında 43.84 metre gidilerek 3.60 metre yüksekliğe palet yerleştirilmiş, alınmış ve ilk noktaya geri gelinip bırakılmıştır. Elde edilen süreler Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4. 5. Dar koridor raf sistemi için zaman etüdü çalışması

Sıra No	Paleti alma (sn)	Yolda gitme (sn)	Raf arasında gitme (sn)	Kaldırma (sn)	Paleti rafa yerleştirme (sn)	Raftan paleti alma (sn)	Raf arasında gelme (sn)	Yoldan geri gelme (sn)	İndirme (sn)	Paleti bırakma (sn)	$X_i$ =Toplam Gözlenen Süre (sn)
1	14.1	19.7	47.0	13.4	22.4	12.6	47.5	21.0	10.0	13.6	221.3
2	16.7	16.5	46.7	14.2	20.8	13.2	44.4	16.5	8.2	15.1	212.3
3	12.5	16.2	45.8	15.3	21.8	9.6	44.3	15.3	10.6	11.1	202.5
4	13.3	20.5	44.7	14.1	23.1	12.6	43.3	19.5	8.8	15.7	215.6
5	14.6	20.5	45.7	11.9	21.0	10.8	42.9	18.0	9.2	15.4	210.0
6	14.4	19.1	49.1	9.5	22.2	10.0	47.1	18.9	11.0	11.5	212.8
7	15.0	17.9	49.0	13.9	18.5	10.5	44.3	17.7	10.0	13.2	210.0
8	19.0	16.6	45.2	14.5	20.1	12.5	44.9	21.0	9.8	14.4	218.0
9	11.7	15.8	47.4	10.5	19.1	11.7	45.2	20.2	10.7	10.5	202.8
10	14.8	19.5	48.9	14.7	18.9	11.9	45.9	14.6	8.1	11.1	208.4
11	15.1	19.2	46.7	7.3	22.2	12.0	45.6	19.0	9.0	15.5	211.6
12	13.9	19.4	47.4	10.3	19.4	14.0	45.8	18.2	8.6	12.6	209.6
13	14.4	14.3	44.9	11.9	22.9	13.1	43.2	14.7	10.2	15.4	205.0
14	13.7	14.1	49.3	13.5	23.6	13.1	43.4	17.4	11.7	14.7	214.5
15	13.9	18.4	47.1	12.6	23.5	9.9	45.8	20.2	10.2	14.0	215.6
16	14.1	19.9	47.0	10.8	19.0	9.5	43.9	18.7	11.7	13.1	207.7
17	15.2	17.9	45.1	12.1	21.2	12.2	43.2	16.4	9.1	10.5	202.9
18	15.3	18.8	46.1	13.9	18.4	10.7	42.7	19.9	11.1	13.5	210.4
19	14.4	20.4	47.3	10.7	23.1	11.8	43.1	17.0	8.3	14.7	210.8
20	15.3	13.9	45.1	12.0	23.0	10.4	44.9	21.7	8.5	14.4	209.2
21	12.7	18.6	49.4	11.5	23.7	12.3	43.9	14.4	9.2	13.4	209.1
22	12.4	20.4	47.5	14.7	18.4	10.7	44.0	20.1	11.5	10.6	210.3
23	15.4	17.7	47.4	14.4	18.6	13.5	44.0	21.2	11.7	15.1	219.0

24	15.1	15.2	46.2	10.2	18.0	9.5	45.1	20.7	9.0	12.4	201.4
25	14.2	17.5	46.5	9.6	21.1	12.5	43.9	14.5	9.9	12.1	201.8
26	15.4	18.7	48.8	7.9	20.2	13.8	45.6	19.0	8.0	13.8	211.2
27	13.4	20.0	49.2	9.3	22.4	11.7	45.0	15.0	10.0	12.0	208.0
28	14.4	20.0	48.4	11.4	20.3	12.7	44.8	19.7	9.4	14.5	215.6
29	15.4	18.2	46.9	7.9	19.9	11.0	47.4	15.4	8.5	14.2	204.8
30	13.9	18.6	49.2	8.5	23.2	13.9	46.3	14.6	9.6	12.6	210.4
31	13.6	16.2	46.8	8.4	18.9	13.7	43.5	15.6	8.7	10.1	195.5
32	15.0	16.3	49.6	13.3	20.5	10.4	43.4	21.3	11.2	10.5	211.5
33	13.9	14.7	46.4	11.3	21.1	10.7	44.5	18.6	11.2	10.5	202.9
<b>Ort.</b>	<b>14.4</b>	<b>17.9</b>	<b>47.2</b>	<b>11.7</b>	<b>20.9</b>	<b>11.8</b>	<b>44.6</b>	<b>18.1</b>	<b>9.8</b>	<b>13.1</b>	<b>209.5</b>

33 gözlem yapıldıktan sonra Tablo 4.5'teki gözlem değerleri ve Eşitlik 10 kullanılarak hesaplamalar yapılmış, yapılan gözlem sayısının yeterli olup olmadığına bakılmıştır.

$$N = \left( \frac{40\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}}{\sum x_i} \right)^2$$

Ön etütle yapılan gözlem sayısı  $n = 33$  olup Tablo 4.5' te  $x_i$  gözlenen süreleri yer almaktadır.

Gözlenen süreler toplamı:  $\sum x_i = 6.912,5$

Gözlenen süreler kareleri toplamı:  $\sum x_i^2 = 1.448.983,3$

$$N = \left( \frac{40\sqrt{33 \cdot 1.448.983,3 - (6.912,5)^2}}{6.912,5} \right)^2 = 1,13 \cong 2 \text{ gözlem} \quad 33 \geq 2 \text{ olduğundan gözlem sayısı}$$

33 yeterlidir.

Dar koridor raf sistemi için paletin yoldan alınıp rafa yerleştirilmesi ve raftan alınıp yola geri bırakılması için gerçekleşen ortalama süre 209.5 sn olmuştur. Sadece kule istifleme aracına fiziki olarak ulaşılabilmesi nedeniyle, bu araç ile zaman etüdü çalışması yapılabilmektedir. Diğer araçlar için ortalama süre hesabı zaman etüdü çalışması ile yapılamadığından Tablo 4.1'te yer alan istifleme araçlarının teknik özellikleri, Tablo 4.4'te yer alan mesafeler ve Eşitlik 11 kullanılarak istifleme araçlarının kullanım durumuna göre ortalama süre hesabı yapılmıştır. Bu süre teorik süre olarak adlandırılmıştır. Bu hesap yapılırken araçların hep maksimum verimle çalıştığı varsayılmıştır. Kule istifleme aracı kullanımı ile yapılan işlemin gerçekleşen süresi ve teorik süresi arasında bu varsayımdan kaynaklı fark olduğu görülmüştür. Kule istifleme aracının teknik verileri ile elde edilen teorik süreler, zaman etüdü çalışması sonucu elde edilen gerçekleşen sürelerle hareket bazında oranlanmış ve yüzde olarak oran

verebilmek için 100 ile çarpılmıştır. Bu oran çalışma verimi olarak adlandırılmış ve Eşitlik 12’de gösterilmiştir. Diğer istifleme araçları için de aynı durum söz konusu olacağından bu oranların diğer istifleme araçları kullanımı durumunda da aynı olacağı kabul edilmiştir. Elde edilen çalışma verimleri kullanılarak Eşitlik 13 yardımıyla diğer istifleme araçları ile paletin yoldan alınıp rafa yerleştirilmesi ve raftan alınıp yola bırakılması için geçecek süre tahmin edilmiştir. Çalışmada bu süre beklenen süre olarak adlandırılmıştır. Tablo 4.6’da bir paletin yoldan alınıp rafa yerleştirilmesi ve raftan alınıp yola bırakılması için geçen teorik ve beklenen süreler verilmiştir.

$$t = X/V \quad (x = yol(m), v = hız(m/sn), t = zaman(sn)) \quad (11)$$

$$\text{Çalışma Verimi} = \frac{\text{Teorik Süre}}{\text{Gerçekleşen Süre}} * 100 \quad (12)$$

$$(\text{Teorik süre}(sn), \text{Gerçekleşen süre}(sn), \text{Çalışma Verimi}(\%))$$

$$\text{Beklenen Süre} = \frac{\text{Teorik Süre}}{\text{Çalışma Verimi}} * 100 \quad (13)$$

$$(\text{Teorik süre}(sn), \text{Gerçekleşen süre}(sn), \text{Çalışma Verimi}(\%))$$

Tablo 4. 6. Teorik ve beklenen süreler

Süreler (sn)	Kule istifleme aracı			Yüksek İrtifa istifleme aracı (Sırt sırta)		Yüksek irtifa istifleme aracı (Çift derinlikli)		Çatalı istif aracı	
	Gerçekleşen süre	Teorik süre	Çalışma verimi	Beklenen süre	Teorik süre	Beklenen süre	Teorik süre	Beklenen süre	Teorik süre
<b>Paleti alma</b>	14.43	8.00	55.44	18.04	10.00	18.04	10.00	17.32	9.60
<b>Rafa gitme</b>	65.11	19.78	30.38	51.66	15.69	50.50	15.35	44.49	13.52
<b>Kaldırma</b>	11.68	8.00	68.49	10.95	7.50	10.95	7.50	8.96	6.14
<b>Rafa paleti yerleştirme</b>	20.92	8.00	38.24	26.15	10.00	39.22	15.00	25.10	9.60
<b>Raftan paleti alma</b>	11.77	8.00	67.97	14.72	10.00	14.72	10.00	14.13	9.60
<b>Yolda gidip gelme</b>	62.69	19.78	31.55	49.74	15.69	48.63	15.35	42.84	13.52
<b>İndirme</b>	9.78	7.50	76.69	8.54	6.55	8.54	6.55	6.40	4.91
<b>Paleti bırakma</b>	13.08	8.00	61.16	16.35	10.00	24.53	15.00	15.70	9.60
<b>Toplam</b>	<b>209.47</b>	<b>87.07</b>		<b>196.14</b>	<b>85.43</b>	<b>215.13</b>	<b>94.74</b>	<b>174.94</b>	<b>76.48</b>

Çalışma yapılan firmada istifleme aracı operatörleri tek vardiya çalışmaktadır. İş Kanunu’nun 63. Maddesi, çalışma süresinin haftalık en çok 45 saat olduğunu aksi bir

karar alınmadıysa bu sürenin çalışma günlerine eşit olarak bölünmesi gerektiğini hükme bağlamaktadır. Buna göre haftanın altı günü tek vardiya çalışılan bir işyerinde günlük çalışma süresi 7.5 saat (27000 sn) olacaktır. Bu durumda Eşitlik 14 ile raf sistemlerinin günlük işlem hacmi hesaplanabilir.

$$\text{Günlük İşlem Hacmi} = \left[ \frac{27.000}{\text{Bir paleti yoldan alıp rafa yerleştirme süresi} + \text{Bir paleti raftan alıp yola bırakma süresi (sn)}} * 2 \right] \quad (14)$$

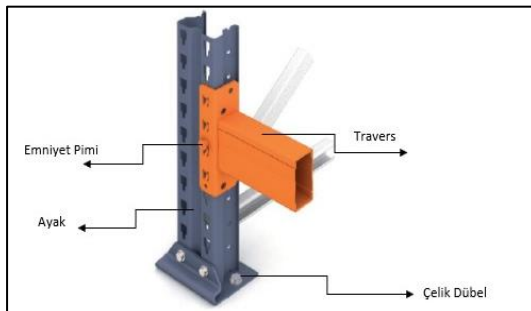
Eşitlik 14'te günlük işlem hacmi palet adedi sayısını verdiği için tam değer fonksiyonu ile ifade edilmiştir. Eşitlik 14 ve Tablo 4.6'daki süreler yardımıyla raf sistemlerinin günlük işlem hacmi hesaplanmış ve Tablo 4.7 de gösterilmiştir.

Tablo 4. 7. Raf sistemi alternatiflerinin günlük işlem hacmi

Alternatifler	Bir paleti yoldan alıp rafa yerleştirme, raftan alıp yola bırakma süresi toplamı (sn)	Günlük işlem hacmi (palet)
Normal koridor raf sistemi	196.14	$\lceil [27000 / 196.14] * 2 \rceil = 275$
Geniş koridor raf sistemi	174.94	$\lceil [27000 / 174.94] * 2 \rceil = 308$
Dar koridor raf sistemi	209.47	$\lceil [27000 / 209.47] * 2 \rceil = 257$
Çift derinlikli raf sistemi	215.13	$\lceil [27000 / 215.13] * 2 \rceil = 251$

**Birim Maliyet:** Seramik sağlık gereçlerinin depolama sürecinde kullanılacak depo raf sisteminin belirlenmesinde en temel kriterlerden birisi birim maliyettir. Raf sisteminin birim maliyet değeri; raf sisteminin toplam maliyetinin, raf sisteminin palet istifleme kapasitesine bölünmesiyle bulunmaktadır. Birim maliyet hesaplanırken raf sistemi alternatiflerinin toplam maliyeti olarak yatırım maliyetleri dikkate alınmıştır. Raf sistemi toplam maliyetleri, yatırım maliyeti olan raf kurulum maliyeti ve istifleme aracı maliyeti toplanarak bulunmuştur. Toplam maliyet hesabı, raf sistemi ve istifleme aracı satışı yapan firmalardan fiyat bilgisi alınarak yapılmıştır.

#### Raf Kurulum Maliyeti:



Şekil 4. 8. Raf sistemi temel elemanlar

Şekil 4.8'de raf sisteminin temel elemanları gösterilmiştir. Rafların 29 bölmeli, 14 sıralı ve 5 katlı olarak tasarlandığı normal koridor raf sistemi alternatifinde raf kurulumu için gerekli raf elemanlarının sayıları hesaplanmış ve aşağıda listelenmiştir:



- 29 raf b6lmesi bulunan her sırada 30 raf ayağı bulunmaktadır. 14 sıra için toplam  $30 \times 14 = 420$  raf ayağı bulunmaktadır.
- Her raf ayağı 2 adet elik d6bel ile yere sabitlenmektedir. 420 raf ayağı için  $420 \times 2 = 840$  elik d6bel bulunmaktadır.
- Çalışılan depoda kullanılan paletlerin 6l6leri 70x120, 80x120 ve 100x120'dir. Sırasıyla bu 6l6lerde palet istiflenen raf b6lmesi sayıları 8, 7 ve 14't6r. 70x120 6l6lerinde palet bulunan her raf b6lmesi için 5x10x240 6l6lerinde iki travers kullanılmaktadır. Bu 6l6lerde kullanılan toplam travers sayısı  $8 \times 14 \times 5 \times 2 = 1120$ 'dir. 80x120 6l6lerinde palet bulunan her raf b6lmesi için 5x10x270 6l6lerinde iki travers kullanılmaktadır. Bu 6l6lerde kullanılan toplam travers sayısı  $7 \times 14 \times 5 \times 2 = 980$ 'dir. 100x120 6l6lerinde palet bulunan her raf b6lmesi için 5x10x270 6l6lerinde iki travers kullanılmaktadır. Bu 6l6lerde kullanılan toplam travers sayısı  $14 \times 14 \times 5 \times 2 = 1960$ 'tir.
- Her traversi ayaklara bağlayan 2 emniyet pimi bulunmaktadır. Toplam travers sayısı  $1120 + 980 + 1960 = 4060$  olup toplam emniyet pimi sayısı  $4060 \times 2 = 8120$ 'dir.

Raf sistemi firmasından alınan raf sistemi elemanlarının birim fiyatları ile raf kurulum maliyeti hesabı yapılmıştır. Tablo 4.8'de normal koridor raf sistemi alternatifini için raf kurulum maliyeti hesabı ayrıntılı bir şekilde g6sterilmiştir.

Tablo 4. 8. Normal koridor raf sistemi raf kurulum maliyeti

No	6r6n adı	Ebat (cm)	Renk kodu	Adet	Birim fiyat (\$)	Toplam fiyat (\$)
1.	Raf ayağı	9.5x105x1000	RAL 5002	420	170.00	71.400,00
2.	Travers	5x10x240	RAL 2004	1120	18.00	20.160,00
3.	Travers	5x10x270	RAL 2004	980	20.00	19.600,00
4.	Travers	5x10x330	RAL 2004	1960	24.00	47.040,00
5.	Emniyet pimi		Galvaniz	8120	0.40	3.248,00
6.	elik d6bel		Galvaniz	840	0.40	336,00
					<b>Toplam</b>	<b>161.784,00</b>
					<b>Ara Toplam</b>	<b>161.784,00</b>
					<b>KDV %18</b>	<b>29.121,12</b>
					<b>Genel Toplam</b>	<b>190.905,12</b>

Rafların 29 b6lmeli, 13 sıralı ve 4 katlı olarak tasarlandığı geniş koridor raf sistemi alternatifinde raf kurulumu için gerekli raf elemanlarının sayıları hesaplanmış ve aşağıda listelenmiştir:

- 29 raf bölmesi bulunan her sırada 30 raf ayağı bulunmaktadır. 14 sıra için toplam  $30 \times 13 = 390$  raf ayağı bulunmaktadır.
- Her raf ayağı 2 adet çelik dübel ile yere sabitlenmektedir. 390 raf ayağı için  $390 \times 2 = 780$  çelik dübel bulunmaktadır.
- Çalışılan depoda kullanılan paletlerin ölçüleri 70x120, 80x120 ve 100x120'dir. Sırasıyla bu ölçülerde palet istiflenen raf bölmesi sayıları 8, 7 ve 14'tür. 70x120 ölçülerinde palet bulunan her raf bölmesi için 5x10x240 ölçülerinde iki travers kullanılmaktadır. Bu ölçülerde kullanılan toplam travers sayısı  $8 \times 13 \times 4 \times 2 = 832$ 'dir. 80x120 ölçülerinde palet bulunan her raf bölmesi için 5x10x270 ölçülerinde iki travers kullanılmaktadır. Bu ölçülerde kullanılan toplam travers sayısı  $7 \times 13 \times 4 \times 2 = 728$ 'dir. 100x120 ölçülerinde palet bulunan her raf bölmesi için 5x10x270 ölçülerinde iki travers kullanılmaktadır. Bu ölçülerde kullanılan toplam travers sayısı  $14 \times 13 \times 4 \times 2 = 1456$ 'dir.
- Her traversi ayaklara bağlayan 2 adet emniyet pimi bulunmaktadır. Toplam travers sayısı  $832 + 728 + 1456 = 3016$  olup toplam emniyet pimi sayısı  $3016 \times 2 = 6032$ 'dir.

Raf sistemi elemanlarının birim fiyatları ile raf kurulum maliyeti hesabı yapılmıştır. Tablo 4.9'da geniş koridor raf sistemi alternatifi için raf kurulum maliyeti hesabı ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

Tablo 4. 9. Geniş koridor raf sistemi raf kurulum maliyeti

No	Ürün adı	Ebat (cm)	Renk kodu	Adet	Birim fiyat(\$)	Toplam fiyat (\$)
1.	Raf ayağı	9.5x105x1000	RAL 5002	390	170,00	66.300,00
2.	Travers	5x10x240	RAL 2004	832	18,00	14.976,00
3.	Travers	5x10x270	RAL 2004	728	20,00	14.560,00
4.	Travers	5x10x330	RAL 2004	1456	24,00	34.944,00
5.	Emniyet pimi		Galvaniz	6032	0,40	2.412,80
6.	Çelik dübel		Galvaniz	780	0,40	312,00
					<b>Toplam</b>	<b>133.504,80</b>
					<b>Ara Toplam</b>	<b>133.504,80</b>
					<b>KDV %18</b>	<b>24.030,86</b>
					<b>Genel Toplam</b>	<b>157.535,66</b>

Rafların 28 bölmeli, 20 sıralı ve 5 katlı olarak tasarlandığı dar koridor raf sistemi alternatifinde raf kurulumu için gerekli raf elemanlarının sayıları hesaplanmış ve aşağıda listelenmiştir:

- 28 raf bölmesi bulunan her sırada 29 raf ayağı bulunmaktadır. 20 sıra için toplam  $29 \times 20 = 580$  raf ayağı bulunmaktadır.
- Her raf ayağı 2 adet çelik dübel ile yere sabitlenmektedir. 580 raf ayağı için  $580 \times 2 = 1160$  çelik dübel bulunmaktadır.
- Çalışılan depoda kullanılan paletlerin ölçüleri 70x120, 80x120 ve 100x120'dir. Sırasıyla bu ölçülerde palet istiflenen raf bölmesi sayıları 7, 7 ve 14'tür. 70x120 ölçülerinde palet bulunan her raf bölmesi için 5x10x240 ölçülerinde iki travers kullanılmaktadır. Bu ölçülerde kullanılan toplam travers sayısı  $7 \times 20 \times 5 \times 2 = 1400$ 'dür. 80x120 ölçülerinde palet bulunan her raf bölmesi için 5x10x270 ölçülerinde iki travers kullanılmaktadır. Bu ölçülerde kullanılan toplam travers sayısı  $7 \times 20 \times 5 \times 2 = 1400$ 'dür. 100x120 ölçülerinde palet bulunan her raf bölmesi için 5x10x270 ölçülerinde iki travers kullanılmaktadır. Bu ölçülerde kullanılan toplam travers sayısı  $14 \times 20 \times 5 \times 2 = 2800$ 'dür.
- Her traversi ayaklara bağlayan 2 adet emniyet pimi bulunmaktadır. Toplam travers sayısı  $1400 + 1400 + 2800 = 5600$  olup toplam emniyet pimi sayısı  $5600 \times 2 = 11200$ 'dir.

Raf sistemi elemanlarının birim fiyatları ile raf kurulum maliyeti hesabı yapılmıştır. Tablo 4.10'da dar koridor raf sistemi alternatifi için raf kurulum maliyeti hesabı ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

Tablo 4. 10. Dar koridor raf sistemi raf kurulum maliyeti

No	Ürün adı	Ebat (cm)	Renk kodu	Adet	Birim fiyat (\$)	Toplam fiyat (\$)
1.	Raf ayağı	9.5x105x1000	RAL 5002	580	170,00	98.600,00
2.	Travers	5x10x240	RAL 2004	1400	18,00	25.200,00
3.	Travers	5x10x270	RAL 2004	1400	20,00	28.000,00
4.	Travers	5x10x330	RAL 2004	2800	24,00	67.200,00
5.	Emniyet pimi		Galvaniz	11200	0,40	4.480,00
6.	Çelik dübel		Galvaniz	1160	0,40	464,00
					<b>Toplam</b>	<b>223.944,00</b>
					<b>Ara Toplam</b>	<b>223.944,00</b>
					<b>KDV %18</b>	<b>40.309,92</b>
					<b>Genel Toplam</b>	<b>264.253,92</b>

Rafların 29 bölmeli, 20 sıralı ve 5 katlı olarak tasarlandığı çift derinlikli raf sistemi alternatifinde raf kurulumu için gerekli raf elemanlarının sayıları hesaplanmış ve aşağıda listelenmiştir:

- 29 raf b6lmesi bulunan her sırada 30 raf ayağı bulunmaktadır. 20 sıra için toplam  $30 \times 20 = 600$  raf ayağı bulunmaktadır.
- Her raf ayağı 2 adet elik d6bel ile yere sabitlenmektedir. 600 raf ayağı için  $600 \times 2 = 1200$  elik d6bel bulunmaktadır.
- Çalışılan depoda kullanılan paletlerin 6l6leri 70x120, 80x120 ve 100x120'dir. Sırasıyla bu 6l6lerde palet istiflenen raf b6lmesi sayıları 8, 7 ve 14't6r. 70x120 6l6lerinde palet bulunan her raf b6lmesi için 5x10x240 6l6lerinde iki travers kullanılmaktadır. Bu 6l6lerde kullanılan toplam travers sayısı  $8 \times 20 \times 5 \times 2 = 1600$ 'd6r. 80x120 6l6lerinde palet bulunan her raf b6lmesi için 5x10x270 6l6lerinde iki travers kullanılmaktadır. Bu 6l6lerde kullanılan toplam travers sayısı  $7 \times 20 \times 5 \times 2 = 1400$ 'd6r. 100x120 6l6lerinde palet bulunan her raf b6lmesi için 5x10x270 6l6lerinde iki travers kullanılmaktadır. Bu 6l6lerde kullanılan toplam travers sayısı  $14 \times 20 \times 5 \times 2 = 2800$ 'd6r.
- Her traversi ayaklara bağlayan 2 adet emniyet pimi bulunmaktadır. Toplam travers sayısı  $1600 + 1400 + 2800 = 5800$  olup toplam emniyet pimi sayısı  $5800 \times 2 = 11600$ 'dir.

Raf sistemi elemanlarının birim fiyatları ile raf kurulum maliyeti hesabı yapılmıştır. Tablo 4.11'de çift derinlikli raf sistemi alternatifi için raf kurulum maliyeti hesabı ayrıntılı bir şekilde g6sterilmiştir.

Tablo 4. 11. Çift derinlikli raf sistemi raf kurulum maliyeti

No	6r6n adı	Ebat (cm)	Renk kodu	Adet	Birim fiyat (\$)	Toplam fiyat (\$)
1.	Raf ayağı	9.5x105x1000	RAL 5002	600	170,00	102.000,00
2.	Travers	5x10x240	RAL 2004	1600	18,00	28.800,00
3.	Travers	5x10x270	RAL 2004	1400	20,00	28.000,00
4.	Travers	5x10x330	RAL 2004	2800	24,00	67.200,00
5.	Emniyet pimi		Galvaniz	11600	0,40	4.640,00
6.	elik d6bel		Galvaniz	1200	0,40	480,00
					<b>Toplam</b>	<b>231.120,00</b>
					<b>Ara Toplam</b>	<b>231.120,00</b>
					<b>KDV %18</b>	<b>41.601,60</b>
					<b>Genel Toplam</b>	<b>272.721,60</b>

#### İstifleme Aracı Maliyeti:

Raf sistemi alternatiflerinin g6nl6k işlem hacminin minimum 500 olması beklendiğinden Tablo 4.7'de g6sterilen bir istifleme aracı ile yapılabilecek raf sistemlerinin g6nl6k işlem hacmine bakılarak raf sistemleri için gerekli istifleme aracı

sayısı iki olarak belirlenmiştir. Aşağıda raf sistemi alternatiflerinin istifleme aracı maliyetleri için açıklama verilmiştir:

- Yüksek irtifa istifleme aracının fiyatı 44.000\$ olduğundan normal koridor raf sistemi alternatifi için istifleme aracı maliyeti  $44.000 \times 2 = 88.000$ \$'dır.
- Çatallı istifleme aracının fiyatı 30.000\$ olduğundan geniş koridor raf sistemi alternatifi için istifleme aracı maliyeti  $30.000 \times 2 = 60.000$ \$'dır.
- Kule istifleme aracının fiyatı 84.000\$ olduğundan dar koridor raf sistemi alternatifi için istifleme aracı maliyeti  $84.000 \times 2 = 168.000$ \$'dır.
- Yüksek irtifa istifleme aracının fiyatı 44.000\$ ve teleskopik çatalın fiyatı 8800\$ olduğundan çift derinlikli raf sistemi alternatifi için istifleme aracı maliyeti  $(44.000 + 8800) \times 2 = 105.600$ \$'dır.

Raf sistemi alternatiflerinin raf kurulum maliyetleri, istifleme aracı maliyetleri, toplam maliyetleri ve birim maliyetleri Tablo 4.12'de gösterilmiştir.

Tablo 4. 12. Raf sistemi alternatiflerinin birim maliyeti

Alternatifler	Raf kurulum maliyeti (\$)	İstifleme aracı maliyeti (\$)	Toplam maliyet (\$)	Kapasite (palet)	Birim maliyet (palet) (\$)
Normal koridor raf sistemi	190.905,12	$44.000 \times 2 = 88.000$	278.905,12	6090	45,80
Geniş koridor raf sistemi	157.535,66	$30.000 \times 2 = 60.000$	217.535,66	4524	48,08
Dar koridor raf sistemi	264.253,92	$84.000 \times 2 = 168.000$	432.253,92	8400	51,46
Çift derinlikli raf sistemi	272.721,60	$(44.000 + 8800) \times 2 = 105.600$	378.321,60	8700	43,49

### Hacim Verimi

Hacim verimi depo hacminden faydalanma oranıdır. Yüklü paletlerin kapladığı hacmin, depolama alanı için ayrılan toplam hacme bölünmesiyle elde edilen oran hacim verimini vermektedir. Hacim verimi yüzde olarak ifade edilebilmek için yüzle çarpılmaktadır. Hacim verimi matematiksel olarak Eşitlik 15 şeklinde ifade edilebilir.

$$Hacim Verimi = \left( \frac{Toplam\ yüklü\ palet\ hacmi}{Depolama\ Alanı\ Hacmi} \right) \times 100 \quad (15)$$

Yüklü paletlerin maksimum yüksekliği 160 cm'dir. Tüm paletlerin maksimum yükseklikte olduğu varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Aşağıda verilen bilgiler yardımıyla raf sistemi alternatiflerinin toplam yüklü palet hacimleri hesaplanmış ve Tablo 4.13'te gösterilmiştir.

- 70x120 ölçülerinde yüklü bir paletin hacmi =  $70 \times 120 \times 160 = 1344000 \text{ cm}^3 = 1,344 \text{ m}^3$ 'tür.
- 80x120 ölçülerinde yüklü bir paletin hacmi =  $80 \times 120 \times 160 = 1536000 \text{ cm}^3 = 1,536 \text{ m}^3$ 'tür.
- 100x120 ölçülerinde yüklü bir paletin hacmi =  $100 \times 120 \times 160 = 1920000 \text{ cm}^3 = 1,920 \text{ m}^3$ 'tür.
- Normal koridor raf sistemi alternatifinde 70x120 ölçülerinde bulunan palet sayısı 1680, 80x120 ölçülerinde bulunan palet sayısı 1470, 100x120 ölçülerinde bulunan palet sayısı 2940'tır.
- Geniş koridor raf sistemi alternatifinde 70x120 ölçülerinde bulunan palet sayısı 1248, 80x120 ölçülerinde bulunan palet sayısı 1092, 100x120 ölçülerinde bulunan palet sayısı 2184'tür.
- Dar koridor raf sistemi alternatifinde 70x120 ölçülerinde bulunan palet sayısı 2100, 80x120 ölçülerinde bulunan palet sayısı 2100, 100x120 ölçülerinde bulunan palet sayısı 4200'dür.
- Çift derinlikli raf sistemi alternatifinde 70x120 ölçülerinde bulunan palet sayısı 2400, 80x120 ölçülerinde bulunan palet sayısı 2100, 100x120 ölçülerinde bulunan palet sayısı 4200'dür.

Tablo 4. 13. Toplam yüklü palet hacmi

Alternatifler	70x120 ölçülerinde paletlerin toplam hacmi (m <sup>3</sup> )	80x120 ölçülerinde paletlerin toplam hacmi (m <sup>3</sup> )	100x120 ölçülerinde paletlerin toplam hacmi (m <sup>3</sup> )	Toplam yüklü palet hacmi (m <sup>3</sup> )
Normal koridor raf sistemi	1680x1.344	1470x1.536	2940x1.920	10.160,64
Geniş koridor raf sistemi	1248x1.344	1092x1.536	2184x1.920	7.547,90
Dar koridor raf sistemi	2100x1.344	2100x1.536	4200x1.920	14.112,00
Çift derinlikli raf sistemi	2400x1.344	2100x 1.536	4200x1.920	14.515,20

Çalışılan deponun depolama için ayrılan alanı 87.7 metre uzunluğunda, 40 metre genişliğinde, 10 metre yüksekliğinde olup toplam hacmi  $87.7 \times 40 \times 10 = 35.080$ 'dir. Eşitlik 15 yardımıyla depolama için ayrılan alanının hacminin yüzde kaçının istifleme için kullanıldığı hesaplanarak hacim verimi kriter değeri bulunmuş ve Tablo 4.14'te gösterilmiştir.

Tablo 4. 14. Raf sistemi alternatiflerinin hacim verimi

Alternatifler	Depolama alanı hacmi (m <sup>3</sup> )	Toplam yüklü palet hacmi (m <sup>3</sup> )	Hacim verimi (%)
Normal koridor raf sistemi	35.080	10.160,64	$(10.160,64 / 35.080) \times 100 = 28.96$
Geniş koridor raf sistemi	35.080	7.547,90	$(7.547,90 / 35.080) \times 100 = 21.52$
Dar koridor raf sistemi	35.080	14.112,00	$(14.112 / 35.080) \times 100 = 40.23$
Çift derinlikli raf sistemi	35.080	14.515,20	$(14.515,2 / 35.080) \times 100 = 41.38$

### Ürün Çeşitliliği

Sırt sırta ve dar koridor raf sisteminde her ürün paletine direkt ulaşılacağından istiflenen her ürün paleti farklı çeşitte olabilmektedir. Bu nedenle sırt sırta ve dar koridor raf sistemi kullanılan bir depoda istiflenebilecek maksimum ürün çeşidi sayısı kapasite sayısı ile aynıdır.

Çift derinlikli raf sisteminde ise arka arkaya konulan ürünlerin aynı ürünler olması gerekmektedir. Aksi durumda arkadaki ürün paletini alabilmek için öndeki paletin her seferinde yerinden oynatılmasına ihtiyaç duyulacaktır. Bu nedenle çift derinlikli raf sistemi kullanılan bir depoda istiflenebilecek maksimum ürün çeşidi sayısı kapasite sayısının yarısı kadardır. Bu bağlamda;

- Normal koridor raf sistemi alternatifinin kapasite sayısı 6090 palet olup bu sistem ile istiflenebilecek maksimum ürün çeşidi sayısı 6090'dır.
- Geniş koridor raf sistemi alternatifinin kapasite sayısı 4524 palet olup bu sistem ile istiflenebilecek maksimum ürün çeşidi sayısı 4524'tür.
- Dar koridor raf sistemi alternatifinin kapasite sayısı 8400 palet olup bu sistem ile istiflenebilecek maksimum ürün çeşidi sayısı 8400'dür.
- Çift derinlikli raf sistemi alternatifinin kapasite sayısı 8700 palet olup bu sistem ile istiflenebilecek maksimum ürün çeşidi sayısı  $8700/2 = 4350$ 'dir.

#### 4.2.2. Performans Değerlendirme Matrisi

Tablo 4.15'te performans değerlendirme kriterlerinin depo raf sistemi alternatiflerine karşılık gelen değerleri verilmiştir. Bu değerler Bölüm 4.2.1'de elde edilmiştir.

Tablo 4. 15. Raf sistemi alternatiflerinin kriter değerleri

Alternatifler	Kriterler				
	Birim maliyet (palet) (\$)	Kapasite (palet)	Ürün çeşitliliği (palet)	Günlük işlem hacmi (palet)	Hacim verimi (%)
Normal koridor raf sistemi	45,80	6090	6090	550	28.96
Geniş koridor raf sistemi	48,08	4524	4524	616	21.52
Dar koridor raf sistemi	51,46	8400	8400	514	40.23
Çift derinlikli raf sistemi	43,49	8700	4350	502	41.38

Raf sistemi alternatiflerine ait kriter değerleri Eşitlik 4 ve 5 yardımıyla normalize edilmiş ve Tablo 4.16'da gösterilmiştir.

Tablo 4. 16. Raf sistemi alternatiflerinin normalize edilmiş kriter değerleri

Alternatifler	Kriterler				
	Birim maliyet	Kapasite	Ürün çeşitliliği	Günlük işlem hacmi	Hacim verimi
Normal koridor raf sistemi	0.95	0.70	0.73	0.89	0.70
Geniş koridor raf sistemi	0.90	0.52	0.54	1.00	0.52
Dar koridor raf sistemi	0.85	0.97	1.00	0.83	0.97
Çift derinlikli raf sistemi	1.00	1.00	0.52	0.81	1.00

Her alternatifin normalize edilmiş kriter değerleri ve kriter karşılaştırma matrisi kullanılarak dört alternatif için dört performans değerlendirme matrisi elde edilmiştir. Bu matrislerin değerleri Tablo 4.17, Tablo 4.18, Tablo 4.19 ve Tablo 4.20'de gösterilmiştir.

Tablo 4. 17. Normal koridor raf sistemi performans değerlendirme matrisi

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
K <sub>1</sub>	0.95	0.50	0.60	0.70	0.80
K <sub>2</sub>	0.50	0.70	0.60	0.70	0.80
K <sub>3</sub>	0.40	0.40	0.73	0.80	0.80
K <sub>4</sub>	0.30	0.30	0.20	0.89	0.60
K <sub>5</sub>	0.20	0.20	0.20	0.40	0.70



Tablo 4. 18. Geniş koridor raf sistemi performans değerlendirme matrisi

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
K <sub>1</sub>	0.90	0.50	0.60	0.70	0.80
K <sub>2</sub>	0.50	0.52	0.60	0.70	0.80
K <sub>3</sub>	0.40	0.40	0.54	0.80	0.80
K <sub>4</sub>	0.30	0.30	0.20	1.00	0.60
K <sub>5</sub>	0.20	0.20	0.20	0.40	0.52

Tablo 4. 19. Dar koridor raf sistemi performans değerlendirme matrisi

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
K <sub>1</sub>	0.85	0.50	0.60	0.70	0.80
K <sub>2</sub>	0.50	0.97	0.60	0.70	0.80
K <sub>3</sub>	0.40	0.40	1.00	0.80	0.80
K <sub>4</sub>	0.30	0.30	0.20	0.83	0.60
K <sub>5</sub>	0.20	0.20	0.20	0.40	0.97

Tablo 4. 20. Çift derinlikli raf sistemi performans değerlendirme matrisi

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
K <sub>1</sub>	1.00	0.50	0.60	0.70	0.80
K <sub>2</sub>	0.50	1.00	0.60	0.70	0.80
K <sub>3</sub>	0.40	0.40	0.52	0.80	0.80
K <sub>4</sub>	0.30	0.30	0.20	0.81	0.60
K <sub>5</sub>	0.20	0.20	0.20	0.40	1.00

### 4.2.3. Performans İndeksi ve Raf Sistemi Alternatiflerinin Sıralanması

Performans değerlendirme fonksiyonunun sayısal değerleri her performans değerlendirme matrisi için hesaplanarak alternatiflerin performans indeksleri bulunmuştur. Beş kriter için Eşitlik 2’de verilen performans değerlendirme fonksiyonunun açılımı aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\begin{aligned}
 \text{per} = & A_1A_2A_3A_4A_5 + (a_{45}a_{54})A_1A_2A_3 + (a_{35}a_{53})A_1A_2A_4 + (a_{34}a_{43})A_1A_2A_5 \\
 & + (a_{25}a_{52})A_1A_3A_4 + (a_{24}a_{42})A_1A_3A_5 + (a_{23}a_{32})A_1A_4A_5 + (a_{15}a_{51})A_2A_3A_4 \\
 & + (a_{14}a_{41})A_2A_3A_5 + (a_{13}a_{31})A_2A_4A_5 + (a_{12}a_{21})A_3A_4A_5 + (a_{34}a_{45}a_{53} + a_{35}a_{54}a_{43})A_1A_2 \\
 & + (a_{24}a_{45}a_{52} + a_{25}a_{54}a_{42})A_1A_3 + (a_{23}a_{35}a_{52} + a_{25}a_{53}a_{32})A_1A_4 + (a_{23}a_{34}a_{42} + a_{24}a_{43}a_{32})A_1A_5 \\
 & + (a_{14}a_{45}a_{51} + a_{15}a_{54}a_{41})A_2A_3 + (a_{13}a_{35}a_{51} + a_{15}a_{53}a_{31})A_2A_4 + (a_{13}a_{34}a_{41} + a_{14}a_{43}a_{31})A_2A_5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + (a_{12}a_{25}a_{51} + a_{15}a_{52}a_{21})A_3A_4 + (a_{12}a_{24}a_{41} + a_{14}a_{42}a_{21})A_3A_5 + (a_{12}a_{23}a_{31} + a_{13}a_{32}a_{21})A_4A_5 \\
& + \left( \begin{array}{c} a_{25}a_{52}a_{34}a_{43} + a_{24}a_{42}a_{35}a_{53} + a_{23}a_{32}a_{45}a_{54} + a_{23}a_{34}a_{45}a_{52} + \\ a_{23}a_{35}a_{54}a_{42} + a_{24}a_{45}a_{53}a_{32} \\ + a_{24}a_{43}a_{35}a_{52} + a_{25}a_{54}a_{43}a_{32} + a_{25}a_{53}a_{34}a_{42} \end{array} \right) A_1 \\
& + \left( \begin{array}{c} a_{15}a_{51}a_{34}a_{43} + a_{14}a_{41}a_{35}a_{53} + a_{13}a_{31}a_{45}a_{54} + a_{13}a_{34}a_{45}a_{51} + \\ a_{13}a_{35}a_{54}a_{41} + a_{14}a_{45}a_{53}a_{31} \\ + a_{14}a_{43}a_{35}a_{51} + a_{15}a_{54}a_{43}a_{31} + a_{15}a_{53}a_{34}a_{41} \end{array} \right) A_2 \\
& + \left( \begin{array}{c} a_{25}a_{52}a_{14}a_{41} + a_{24}a_{42}a_{15}a_{51} + a_{21}a_{12}a_{45}a_{54} + a_{21}a_{14}a_{45}a_{52} + \\ a_{21}a_{15}a_{54}a_{42} + a_{24}a_{45}a_{51}a_{12} \\ + a_{24}a_{41}a_{15}a_{52} + a_{25}a_{54}a_{41}a_{12} + a_{25}a_{51}a_{14}a_{42} \end{array} \right) A_3 \\
& + \left( \begin{array}{c} a_{25}a_{52}a_{13}a_{31} + a_{23}a_{32}a_{15}a_{51} + a_{21}a_{12}a_{35}a_{53} + a_{21}a_{13}a_{35}a_{52} + \\ a_{21}a_{15}a_{53}a_{32} + a_{23}a_{35}a_{51}a_{12} \\ + a_{23}a_{31}a_{15}a_{52} + a_{25}a_{53}a_{31}a_{12} + a_{25}a_{51}a_{13}a_{32} \end{array} \right) A_4 \\
& + \left( \begin{array}{c} a_{24}a_{42}a_{13}a_{31} + a_{23}a_{32}a_{14}a_{41} + a_{21}a_{12}a_{34}a_{43} + a_{21}a_{13}a_{34}a_{42} + \\ a_{21}a_{14}a_{43}a_{32} + a_{23}a_{34}a_{41}a_{12} \\ + a_{23}a_{31}a_{14}a_{42} + a_{24}a_{43}a_{31}a_{12} + a_{24}a_{41}a_{13}a_{32} \end{array} \right) A_5 \\
& + a_{12}a_{21}(a_{34}a_{45}a_{53} + a_{35}a_{54}a_{43}) + a_{13}a_{31}(a_{24}a_{45}a_{52} + a_{25}a_{54}a_{42}) + a_{14}a_{41}(a_{23}a_{35}a_{52} + a_{25}a_{53}a_{32}) \\
& + a_{15}a_{51}(a_{23}a_{34}a_{42} + a_{24}a_{43}a_{32}) + (a_{14}a_{45}a_{51} + a_{15}a_{54}a_{41})a_{23}a_{32} + (a_{13}a_{35}a_{51} + a_{15}a_{53}a_{31})a_{24}a_{42} \\
& + (a_{13}a_{34}a_{41} + a_{14}a_{43}a_{31})a_{25}a_{52} + (a_{12}a_{25}a_{51} + a_{15}a_{52}a_{21})a_{34}a_{43} + (a_{12}a_{24}a_{41} + a_{14}a_{42}a_{21})a_{35}a_{53} \\
& + (a_{12}a_{23}a_{31} + a_{13}a_{32}a_{21})a_{45}a_{54} + a_{12}a_{23}a_{34}a_{45}a_{51} + a_{12}a_{23}a_{35}a_{54}a_{41} + a_{12}a_{24}a_{43}a_{35}a_{51} \\
& + a_{12}a_{24}a_{45}a_{53}a_{31} + a_{12}a_{25}a_{53}a_{34}a_{41} + a_{12}a_{25}a_{54}a_{43}a_{31} + a_{13}a_{32}a_{24}a_{45}a_{51} + a_{13}a_{32}a_{25}a_{54}a_{41} \\
& + a_{13}a_{34}a_{42}a_{25}a_{51} + a_{13}a_{34}a_{45}a_{52}a_{21} + a_{13}a_{35}a_{52}a_{24}a_{41} + a_{13}a_{35}a_{54}a_{42}a_{21} + a_{14}a_{42}a_{23}a_{35}a_{51} \\
& + a_{14}a_{42}a_{25}a_{53}a_{31} + a_{14}a_{43}a_{32}a_{25}a_{51} + a_{14}a_{43}a_{35}a_{52}a_{21} + a_{14}a_{45}a_{52}a_{23}a_{31} + a_{14}a_{45}a_{53}a_{32}a_{31} \\
& + a_{15}a_{52}a_{23}a_{34}a_{41} + a_{15}a_{52}a_{24}a_{43}a_{31} + a_{15}a_{53}a_{32}a_{24}a_{41} + a_{15}a_{53}a_{34}a_{42}a_{21} + a_{15}a_{54}a_{42}a_{23}a_{31} \\
& + a_{15}a_{54}a_{43}a_{32}a_{21}
\end{aligned}$$

Burada  $A_i$  değeri raf sistemi alternatiflerinin  $i$ . kriter değerini,  $a_{ij}$  değeri,  $i$  kriteri ile  $j$  kriterinin ikili karşılaştırma değerini vermektedir.

Eşitlik 2'deki işlemlerin yapılması amacıyla, C programlama dilinde yazılan programa matrislerdeki veriler girilerek indeksler hesaplanmıştır. Son olarak alternatiflerin performans indeksleri büyükten küçüğe sıralanarak performans sıralaması elde edilmiştir.

Tablo 4. 21. Raf sistemi alternatiflerinin performans sıralaması

Alternatifler	Performans indeksleri	Performans sıralaması
Dar koridor raf sistemi	6.41	1
Çift derinlikli raf sistemi	5.51	2
Normal koridor raf sistemi	4.75	3
Geniş koridor raf sistemi	3.73	4

Eşitlik 2’de ifade edilen performans değerlendirme fonksiyonu 5 adet performans değerlendirme kriteri olduğu için kriter değerlerini ve kriterlerin ikili karşılaştırma değerlerinin döngüsünü temsil eden grupları içeren 6 gruba ayrılır ve bu fonksiyon toplamda  $5! = 120$  terim içerir. Birinci grupta bir terim vardır ve 5 adet kriter değerini içerir. İkinci grubun 4 adet kriter değerini ve ikili karşılaştırma değerlerinin tekli döngüsünü içermesi gerekirdi ancak böyle bir döngü olmadığı için ikinci grup sıfır değerini alır. Üçüncü grupta 10 terim vardır ve gruptaki terimler, 3 adet kriter değerini ve ikili karşılaştırma değerlerinin ikili döngüsünü içerir. Dördüncü grupta 20 terim vardır ve her bir terim, 2 adet kriter değerini ve ikili karşılaştırma değerlerinin üçlü döngüsü sunar. Beşinci grup iki alt gruptan oluşur. İlk grupta 15 terim vardır ve bu terimler, 1 adet kriter değerinden ve iki adet ikili karşılaştırma değerlerinin ikili döngüsünden oluşur. İkinci grupta 30 terim vardır ve her bir terim, 1 adet kriter değerini ve ikili karşılaştırma değerlerinin dörtlü döngüsünü içerir. Altıncı grup iki alt gruptan oluşur. İlk alt grup 20 terim içerir ve terimler ikili karşılaştırma değerlerinin üçlü döngüsünü ve ikili döngüsünü temsil eder. İkinci alt grup 24 terim içerir ve grubun her bir terimi ikili karşılaştırma değerlerinin beşli döngüsünü içerir. Bu bağlamda performans değerlendirme fonksiyonun gruplarından oluşan tanımlama kümesi  $T = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 = T_{51} + T_{52}, T_6 = T_{61} + T_{62}\}$  şeklinde olacaktır.

Tablo 4. 22. Raf sistemi alternatiflerine ait grup/alt grup değerleri

Alternatifler	Gruplar								Grup toplamı (Performans indeksi)
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>51</sub>	T <sub>52</sub>	T <sub>61</sub>	T <sub>62</sub>	
Normal koridor raf sistemi	0.302	0.000	0.995	1.150	0.488	0.990	0.374	0.453	4.752
Geniş koridor raf sistemi	0.131	0.000	0.628	0.858	0.425	0.861	0.374	0.453	3.730
Dar koridor raf sistemi	0.664	0.000	1.601	1.584	0.573	1.164	0.374	0.453	6.413
Çift derinlikli raf sistemi	0.421	0.000	1.262	1.377	0.535	1.092	0.374	0.453	5.514

İki alternatif sistemi karşılaştırmak için farklılık ve benzerlik katsayıları Eşitlik 7 ve 8 yardımıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.23'te raf sistemi alternatiflerinin performans benzerlik katsayıları verilmiştir.

Aşağıda normal koridor raf sistemi ve geniş koridor raf sistemi alternatifleri için eşitlik 7 ve 8 ile iki alternatif sistemin farklılık ve benzerlik katsayıları örnek olarak hesaplanmıştır:

- Farklılık katsayısı =  $C_d^p = \left(\frac{1}{Q}\right) \sum_{ij} W_{ij}$

$$Q = \max[\sum_{ij}|T_{ij}| \text{ ve } \sum_{ij}|T_{ij}'|] \text{ ve } W_{ij} = |T_{ij} - T_{ij}'| \text{ 'nü vermektedir.}$$

$$C_d^p =$$

$$\frac{|0,302-0,131|+|0-0|+|0,995-0,628|+|1,150-0,858|+|0,488-0,425|+|0,990-0,861|+|0,374-0,374|+|0,453-0,453|}{\max\{4,752, 3,730\}} =$$

$$\frac{0,171+0+0,367+0,292+0,063+0,129+0+0}{4,752} = 0,215 \dots \cong 0,22$$

- Benzerlik katsayısı =  $C_s^p = 1 - C_d^p = 1 - 0,22 \cong 0,78$

Tablo 4. 23. Raf sistemi alternatiflerinin performans benzerlik katsayıları

	Normal koridor raf sistemi	Geniş koridor raf sistemi	Dar koridor raf sistemi	Çift derinlikli raf sistemi
Normal koridor raf sistemi		0.78	0.74	0.86
Geniş koridor raf sistemi			0.58	0.68
Dar koridor raf sistemi				0.86
Çift derinlikli raf sistemi				

Raf sistemi alternatiflerinin, Tablo 4.21'deki indekslerine göre performans değerlendirme kriterlerini sağlamada en ideal seçenekten en aza doğru sıralaması;

1. Dar koridor raf sistemi
2. Çift derinlikli raf sistemi
3. Normal koridor raf sistemi
4. Geniş koridor raf sistemi

olarak bulunmuştur. Çalışma yapılan seramik sağlık gereçleri deposu için tercih edilebilir ilk alternatifin dar koridor raf sistemi olduğu görülmektedir. Dar koridor raf

sistemi ile %86 performans benzerliğiyle çift derinlikli raf sistemi ikinci, %74 performans benzerliğiyle normal koridor raf sistemi üçüncü ve %58 performans benzerliğiyle geniş koridor raf sistemi dördüncü tercih edilebilir sistem olmuştur. Performans benzerlik katsayıları ve performans indeksleri birbirini destekler sonuçlar vermektedir. Ek olarak çift derinlikli raf sisteminin normal koridor raf sistemi ile performans benzerliğinin %86 ve geniş koridor raf sistemi ile performans benzerliğinin %68 olduğu, normal koridor raf sistemi ile geniş koridor raf sisteminin performans benzerliğinin %78 olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

### **4.3. Uygulama 2: Yatırım ve On Yıllık Kullanım Maliyetlerine Göre Uygulama**

Uygulama 2’de çalışma yapılan depo için raf sistemi alternatifleri Uygulama 1’de olduğu gibi normal koridor raf sistemi, geniş koridor raf sistemi, dar koridor raf sistemi ve çift derinlikli raf sistemidir ve iki uygulamada da alternatiflerin performanslarını değerlendirmek için aynı kriterler kullanılmıştır. İki uygulama arasındaki fark raf sistemi birim maliyet değerini bulmak için hesaplanan toplam maliyet değerinden kaynaklanmaktadır. Uygulama 1’de raf sistemi toplam maliyeti hesaplanırken yatırım maliyetleri dikkate alınmıştır. Uygulama 2’de alternatif sistemlerin on yıllık kullanım durumu düşünülerek, yatırım maliyetine on yıllık personel ve enerji tüketim maliyeti eklenmiş ve toplam maliyet tekrar hesaplanmıştır.

Raf sistemi alternatiflerinin performans değerlendirilmesinde kullanılan diğer performans değerlendirme kriterlerinin değerleri Uygulama 1’de elde edilen değerler ile aynıdır. Diğer kriterler aşağıdaki gibidir:

- Kapasite
- Ürün çeşitliliği
- Günlük işlem hacmi
- Hacim verimi

#### **4.3.1. Depo Raf Sistemleri Kriter Değerleri**

Uygulama 2’de Uygulama 1’den farklı olarak sadece raf sistemi birim maliyet değeri için farklı bir hesaplama yapılmış, diğer performans değerlendirme kriterlerinin

değerleri Uygulama 1’de elde edilen değerler ile aynı kalmıştır. Bu nedenle bu bölümde raf sistemi alternatiflerinin sadece birim maliyet değeri hesaplanmıştır.

Raf sistemleri için toplam maliyet, raf kurulum maliyeti, istifleme aracı maliyeti, on yıllık personel ve enerji tüketim maliyeti toplanarak bulunmuştur. Raf kurulum ve istifleme aracı maliyeti toplamı Uygulama 1’de hesaplanmıştır.

### **10 yıllık personel maliyeti**

Her raf sistemi için 2 adet istifleme aracı olduğu için 2 adet istifleme aracı operatörü gerekmektedir. İstifleme aracı operatörlerinin aylık çalışma ücretleri olarak asgari ücret baz alınmıştır. 2021 yılı için asgari ücretli bir personelin maaşı brüt 3577,50 lira, net 2825,90 lira olarak belirlenirken asgari ücretlinin işverene maliyeti 4203,56 lira olmuştur. 01.10.2021 tarihli Merkez Bankası döviz kuruna göre Türk lirasından ABD dolarına çevrildiğinde asgari ücretlinin işverene maliyeti 474,30 \$ olarak bulunmuştur. Bu bilgilerden yararlanılarak 2 adet istifleme aracı operatörünün işverene 10 yıllık (120 aylık) maliyeti  $474,30 \times 2 \times 120 = 113.830,21$  \$ olarak hesaplanmıştır.

### **10 yıllık enerji tüketim maliyeti**

Raflara ürün taşıma ve istifleme amaçlı harcanılan 10 yıllık enerji tüketim maliyetini bulmak için istifleme araçlarının teknik özelliklerinin yer aldığı Tablo 4.1’deki 1 saatlik enerji tüketim verilerinden yararlanılmıştır. TÜİK’in 30.09.2021 tarihinde yayınlanan verilerine göre sanayide 2021 yılı I. Dönem elektrik fiyatları 1 kWh elektrik için ortalama 65,0 kuruştur. İlk olarak alternatif sistemlerin 1 saatlik enerji tüketimleri 65,0 ile çarpılarak 1 saatlik enerji tüketim maliyetleri bulunmuştur. Çalışma yapılan firmada operatörler tek vardiya çalışmaktadır ve operatörlerin haftalık çalışma süresi 45 saattir. Hesaplamalarda 1 yıl 52 hafta kabul edilmiş ve on yıllık enerji tüketim maliyeti hesaplanarak 01.10.2021 tarihli Merkez Bankası döviz kuruna göre Türk lirasından ABD dolarına çevrilmiştir. Tablo 4.24’te raf sistemi alternatiflerinin enerji tüketim maliyetleri gösterilmiştir.

Tablo 4. 24. 10 yıllık enerji tüketim maliyeti

Alternatifler	1 saatlik enerji tüketimi (kWh/h)	1 saatlik enerji tüketim maliyeti (₺)	10 yıllık enerji tüketimi maliyet (₺)	10 yıllık enerji tüketim maliyeti (\$)
Normal koridor raf sistemi	3.6	234	4.475.600	617.818,30
Geniş koridor raf sistemi	4.7	305,5	7.148.700	806.596,11
Dar koridor raf sistemi	4	260	6.084.000	686.464,77
Çift derinlikli raf sistemi	3.6	234	5.475.600	617.818,30

Alternatif sistemlerin elde edilen toplam maliyet değerleri, kapasitelerine bölünerek birim maliyet kriter değerleri hesaplanmıştır. Alternatif sistemlerin kapasiteleri;

- Normal koridor raf sistemi kapasite sayısı 6090 palet
- Geniş koridor raf sistemi kapasite sayısı 4524 palet
- Dar koridor raf sistemi kapasite sayısı 8400 palet
- Çift derinlikli raf sistemi kapasite sayısı 8700 palet

olup alternatiflerin birim maliyeti Tablo 4.25'te gösterilmiştir.

Tablo 4. 25. Raf sistemi alternatiflerinin birim maliyeti

Alternatifler	Raf kurulum + İstifleme aracı maliyeti (\$)	Personel kişi başı aylık maliyet (\$)	10 yıllık personel maliyeti (\$)	10 yıllık enerji tüketim maliyeti (\$)	Toplam maliyet (\$)	Birim maliyet (\$)
Normal koridor raf sistemi	278.905,12	474,30	113.830,21	617.818,30	1.010.553,63	165,94
Geniş koridor raf sistemi	217.535,66	474,30	113.830,21	806.596,11	1.137.961,98	251,54
Dar koridor raf sistemi	432.253,92	474,30	113.830,21	686.464,77	1.232.548,91	146,73
Çift derinlikli raf sistemi	378.321,60	474,30	113.830,21	617.818,30	1.109.970,11	127,58

#### 4.3.2. Performans Değerlendirme Matrisi

Bölüm 4.3.1'de birim maliyet kriter değeri elde edilmiştir. Diğer kriter değerleri Uygulama 1 ile aynıdır. Alternatiflerin kriter değerleri Tablo 4.26'da gösterilmiştir.

Tablo 4. 26. Raf sistemi alternatiflerinin kriter değerleri

Alternatifler	Kriterler				
	Birim maliyet (\$)	Kapasite (palet)	Ürün çeşitliliği (palet)	Günlük işlem hacmi (palet)	Hacim verimi (%)
Normal koridor raf sistemi	165,94	6090	6090	550	28.96
Geniş koridor raf sistemi	251,54	4524	4524	616	21.52
Dar koridor raf sistemi	146,73	8400	8400	514	40.23
Çift derinlikli raf sistemi	127,58	8700	4350	502	41.38

Raf sistemi alternatiflerine ait kriter değerleri Eşitlik 4 ve 5 yardımıyla normalize edilmiş ve Tablo 4.27’de gösterilmiştir.

Tablo 4. 27. Raf sistemi alternatiflerinin normalize edilmiş kriter değerleri

Alternatifler	Kriterler				
	Birim maliyet	Kapasite	Ürün çeşitliliği	Günlük işlem hacmi	Hacim verimi
Normal koridor raf sistemi	0.77	0.70	0.73	0.89	0.70
Geniş koridor raf sistemi	0.51	0.52	0.54	1.00	0.52
Dar koridor raf sistemi	0.87	0.97	1.00	0.83	0.97
Çift derinlikli raf sistemi	1.00	1.00	0.52	0.81	1.00

Her alternatifin normalize edilmiş kriter değerleri ve kriter karşılaştırma matrisi kullanılarak dört alternatif için dört performans değerlendirme matrisi elde edilmiştir. Bu matrislerin değerleri Tablo 4.28, Tablo 4.29, Tablo 4.30 ve Tablo 4.31’de gösterilmiştir.

Tablo 4. 28. Normal koridor raf sistemi performans değerlendirme matrisi

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
K <sub>1</sub>	0.77	0.50	0.60	0.70	0.80
K <sub>2</sub>	0.50	0.70	0.60	0.70	0.80
K <sub>3</sub>	0.40	0.40	0.73	0.80	0.80
K <sub>4</sub>	0.30	0.30	0.20	0.89	0.60
K <sub>5</sub>	0.20	0.20	0.20	0.40	0.70



Tablo 4. 29. Geniş koridor raf sistemi performans değerlendirme matrisi

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
K <sub>1</sub>	0.51	0.50	0.60	0.70	0.80
K <sub>2</sub>	0.50	0.52	0.60	0.70	0.80
K <sub>3</sub>	0.40	0.40	0.54	0.80	0.80
K <sub>4</sub>	0.30	0.30	0.20	1.00	0.60
K <sub>5</sub>	0.20	0.20	0.20	0.40	0.52

Tablo 4. 30. Dar koridor raf sistemi performans değerlendirme matrisi

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
K <sub>1</sub>	0.87	0.50	0.60	0.70	0.80
K <sub>2</sub>	0.50	0.97	0.60	0.70	0.80
K <sub>3</sub>	0.40	0.40	1.00	0.80	0.80
K <sub>4</sub>	0.30	0.30	0.20	0.83	0.60
K <sub>5</sub>	0.20	0.20	0.20	0.40	0.97

Tablo 4. 31. Çift derinlikli raf sistemi performans değerlendirme matrisi

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
K <sub>1</sub>	1.00	0.50	0.60	0.70	0.80
K <sub>2</sub>	0.50	1.00	0.60	0.70	0.80
K <sub>3</sub>	0.40	0.40	0.52	0.80	0.80
K <sub>4</sub>	0.30	0.30	0.20	0.81	0.60
K <sub>5</sub>	0.20	0.20	0.20	0.40	1.00

#### 4.3.3. Performans İndeksi ve Raf Sistemi Alternatiflerinin Sıralanması

Depo raf sistemi alternatiflerinin performans indeksleri Eşitlik 2 yardımıyla hesaplanmıştır. Eşitlik 2'deki işlemlerin yapılması amacıyla, C programlama dilinde yazılan programa performans değerlendirme matrislerindeki veriler girilerek indeksler bulunmuştur.

Son olarak alternatiflerin performans indeksleri büyükten küçüğe sıralanarak performans sıralaması elde edilmiştir.

Tablo 4. 32. Raf sistemi alternatiflerinin performans sıralaması

Alternatifler	Performans indeksleri	Performans sıralaması
Dar koridor raf sistemi	6.47	1
Çift derinlikli raf sistemi	5.51	2
Normal koridor raf sistemi	4.42	3
Geniş koridor raf sistemi	3.18	4

5 adet performans değerlendirme kriteri olduğu için performans değerlendirme fonksiyonu kriter değerlerini ve kriterlerin ikili karşılaştırma değerlerinin döngüsünü temsil eden grupları içeren 6 gruba ayrılır. Performans değerlendirme fonksiyonun gruplarından oluşan tanımlama kümesi  $T = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 = T_{51} + T_{52}, T_6 = T_{61} + T_{62}\}$  şeklinde olacaktır. Bu kümenin elemanlarına karşılık gelen değerler Tablo 4.33'te gösterilmiştir.

Tablo 4. 33. Raf sistemi alternatiflerine ait grup/alt grup değerleri

Alternatifler	Gruplar								Grup toplamı (Performans indeksi)
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>51</sub>	T <sub>52</sub>	T <sub>61</sub>	T <sub>62</sub>	
Normal koridor raf sistemi	0.245	0.000	0.876	1.055	0.467	0.948	0.374	0.453	4.418
Geniş koridor raf sistemi	0.074	0.000	0.447	0.685	0.379	0.769	0.374	0.453	3.182
Dar koridor raf sistemi	0.679	0.000	1.622	1.597	0.576	1.168	0.374	0.453	6.469
Çift derinlikli raf sistemi	0.421	0.000	1.262	1.377	0.535	1.092	0.374	0.453	5.514

İki alternatif sistemi karşılaştırmak için farklılık ve benzerlik katsayıları Eşitlik 7 ve 8 yardımıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.34'te raf sistemi alternatiflerinin performans benzerlik katsayıları verilmiştir.

Tablo 4. 34. Raf sistemi alternatiflerinin performans benzerlik katsayıları

	Normal koridor raf sistemi	Geniş koridor raf sistemi	Dar koridor raf sistemi	Çift derinlikli raf sistemi
Normal koridor raf sistemi		0.72	0.68	0.80
Geniş koridor raf sistemi			0.49	0.58
Dar koridor raf sistemi				0.85
Çift derinlikli raf sistemi				

Raf sistemi alternatiflerinin, Tablo 4.32’de gösterilen indekslerine göre performans değerlendirme kriterlerini sağlamada en ideal seçenekten en aza doğru sıralaması;

1. Dar koridor raf sistemi
2. Çift derinlikli raf sistemi
3. Normal koridor raf sistemi
4. Geniş koridor raf sistemi

olarak bulunmuştur. Çalışma yapılan seramik sağlık gereçleri deposu için tercih edilebilir ilk alternatifin dar koridor raf sistemi olduğu görülmektedir. Dar koridor raf sistemi ile %85 performans benzerliğiyle çift derinlikli raf sistemi ikinci, %68 performans benzerliğiyle normal koridor raf sistemi üçüncü ve %49 performans benzerliğiyle geniş koridor raf sistemi dördüncü tercih edilebilir sistem olmuştur. Performans benzerlik katsayıları ve performans indeksleri birbirini destekler sonuçlar vermektedir. Ek olarak çift derinlikli raf sisteminin normal koridor raf sistemi ile performans benzerliğinin %80 ve geniş koridor raf sistemi ile performans benzerliğinin %58 olduğu, normal koridor raf sistemi ile geniş koridor raf sisteminin performans benzerliğinin %72 olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

## SONUÇ

Bu çalışmada depo raf sistemi alternatiflerini değerlendirmek için GTMY kullanılan iki uygulama yapılmıştır.

### **Uygulama 1'in Sonuçları:**

Yatırım maliyetlerine göre depo raf sistemi alternatiflerinin depo alanının verimli ve etkin kullanım amaçlarını gerçekleştirebilmede en iyiden en iyi olmayana sıralaması;

- 6.41 performans indeksi ile dar koridor raf sistemi
- 5.51 performans indeksi ile çift derinlikli raf sistemi
- 4.75 performans indeksi ile normal koridor raf sistemi
- 3.73 performans indeksi ile geniş koridor raf sistemi

şeklindedir.

### **Uygulama 2'nin Sonuçları:**

Yatırım maliyetleri ile birlikte on yıllık kullanım maliyetlerine göre depo raf sistemi alternatiflerinin depo alanının verimli ve etkin kullanım amaçlarını gerçekleştirebilmede en iyiden en iyi olmayana sıralaması;

- 6.47 performans indeksi ile dar koridor raf sistemi
- 5.51 performans indeksi ile çift derinlikli raf sistemi
- 4.42 performans indeksi ile normal koridor raf sistemi
- 3.18 performans indeksi ile geniş koridor raf sistemi

şeklindedir.

Depo raf sistemi alternatifleri arasında depolamadaki amaçların gerçekleştirilmesi konusunda yatırım maliyetlerine göre ve yatırım maliyetleri ile 10 yıllık kullanım maliyetlerine göre en iyi performansı sağlayan seçenek dar koridor raf sistemidir. Yatırım maliyetleri ile 10 yıllık kullanım maliyetlerine göre hesaplanan performans indeksinin yatırım maliyetlerine göre hesaplanan performans indeksinden daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu sonuç dar koridor raf sisteminin uzun sürede depolamadaki amacı daha üst düzeyde gerçekleştirdiğini göstermektedir.

Bu çalışmada ürünlerin depolanmasının büyük önem arz ettiği seramik sağlık gereçleri sektöründe depo raf sistemi alternatiflerinin depolama verimliliği ve etkinliği açısından değerlendirilmesi için GTMY kullanılarak alternatiflerin performans indeksleri hesaplanmış ve alternatiflerin amaçlar açısından sıralanması gerçekleştirilmiştir. Seramik sağlık gerelerindeki bu uygulama çalışmasının diğer sektörlerde de depolama süreçlerinde etkin ve verimli bir depolamanın sağlanabilmesi için depo raf sistemlerinin değerlendirilmesinde bir örnek oluşturacağı ifade edilebilir.

## KAYNAKÇA

- Acar, Z., & Çakmak, E. (2017). *Depolama ve depo yönetimi*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Ackerman, K. B. (2012). *Practical handbook of warehousing*. Springer Science & Business Media.
- AÇSHB (Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı). (2020). Asgari ücretin net hesabı ve işverene maliyeti (01.01.2020-31.12.2020). Erişim tarihi: Şubat, 15, 2021, [https://www.ailevecalisma.gov.tr/media/64962/2020\\_onikiyay.pdf](https://www.ailevecalisma.gov.tr/media/64962/2020_onikiyay.pdf)
- AÇSHBİSGGM (Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü). (2021). Güvenli istifleme rehberi. Erişim tarihi: Mayıs, 11, 2021, <https://www.ailevecalisma.gov.tr/media/6208/guvenliistiflemerehberi.pdf>
- Agrawal, S., Singh, R. K., & Murtaza, Q. (2016). Disposition decisions in reverse logistics: Graph theory and matrix approach. *Journal of Cleaner Production*, 137, 93-104.
- Ağseren, S. (2017). *Kaldırma araçlarının iş sağlığı ve güvenliği bakımından incelenmesi* (Doktora Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Anbiyaa, D., Setyawan, E. B., & Purba, H. H. (2019). Multiple knapsack problem for racking selection model. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 508(1), p. 012069.
- Aras N., Suvacı B., & Sayın H.C. (Ed.) (2018). *Depolama ve envanter yönetimi*. Anadolu Üniversitesi Yayını.
- Arlı, E. (2009). *Uluslararası fiziksel dağıtımda antrepo sahipliğinin ihracat yapan işletmelerin performansına etkileri* (Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Ataraf. (2021). Depo raf sistemleri. Erişim tarihi: Ekim, 7, 2021, <https://ataraf.com/depo-raf/>
- Bakar, S. A., Harish, N. A., Rahman, K. A., Nasir, M. A. S., Md, H., & Tahir, E. J. (2019). Application of graph theory and matrix approach as decision analysis tool for smartphone selection. *ASM Science Journal*, 12(6), 53-59.
- Baker, D., Bridges, D., Hunter, R., Johnson, G., Krupa, J., Murphy, J., & Sorenson, K. (2001). *Guidebook to decision-making methods* (Vol. 45). Aiken, SC, USA: Westinghouse Savannah River Company.

- Baker, P., & Canessa, M. (2009). Warehouse design: structured approach. *European Journal of Operational Research*, 193, 425-436.
- Baykasoğlu, A. (2013). İş süreçleri modelleme/benzetim yazılımı seçimi için “çizge teorisi” ve “matris yöntemi” temelli bir yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(3), 555-566.
- Bayraktar, D., Bolat, H. B., Faki, B. M., & Çelikkol, S. G. (2011). Depo süreçlerinde performans ölçümü ve değerlendirmesi için bir model önerisi. *XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 23-24 Haziran*, 382-392.
- Bektaş Batırcı, Y. (2018). *Perakende sektöründe dağıtım yönteminin tedarikçi ödeme ve vade türüne göre belirlenmesi: Perakende gıda firmasında bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Darvish, M., Yasaei, M., & Saeedi, A. (2009). Application of the graph theory and matrix methods to contractor ranking. *International Journal of Project Management*, 27, 610-630.
- Dede, B. (2020). *Lojistik hizmetlerde etkin depo yönetimi ve gıda sektöründe bir uygulama* (Doktora Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- De Koster, R. B., Johnson, A. L., & Roy, D. (2017). Warehouse design and management, *International Journal of Production Research*, 55(21), 6327-6330.
- Demircan, Ö. (2018). *Depo raf yerleşim problemi ve kümeleme temelli bir yaklaşım* (Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Demirdöğen, O., & Korucuk, S. (2017). Depolama ve satın alma kararlarının üretime etkisi: Tra1 bölgesi imalat işletmelerinde bir uygulama. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 54, 56-76.
- Dinçer, F. (2018). *Bir ilaç deposunun birliktelik analizi kullanılarak yerleştirilmesi ve sipariş toplama sürecinin iyileştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Doğruer, İ. M. (2016). *İş etüdü*. Açılım Kitap.
- Dossou, P. E., Torregrossa, P., & Martinez, T. (2022). Industry 4.0 concepts and lean manufacturing implementation for optimizing a company logistics flows. *Procedia Computer Science*, 200, 358-367.
- Ecer, F. (2020). *Çok kriterli karar verme*. Seçkin Yayıncılık.
- Ekren, B. Y., & Heragu, S. S. (2010). Simulation-based regression analysis for the rack configuration of an autonomous vehicle storage and retrieval system. *International Journal of Production Research* 48(21): 6257–6274.

- Erel F., & Ağaoğulları, M. S. (2017). Forkliftlerle güvenli çalışma uygulama rehberi. *T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü*.
- Ertek, G. (2012). Depolama sistemleri. *Uluslararası Lojistik, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Açıköğretim Fakültesi Yayını No: 1593*.
- Geetha, N. K., & Sekar, P. (2016a). Academic staff selection using Graph Theory Matrix Approach. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(1), 1-6.
- Geetha, N. K., & Sekar, P. (2016b). Graph theory matrix approach in selecting optimal combination of operating parameters. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*, 2(11), 170-175.
- Geetha, N. K. (2018). *Graph theory matrix approach in selecting optimal combination of operating parameter* (Doktora Tezi, Madras Üniversitesi, Matematik Bölümü).
- Geetha, N. K., & Sekar, P. (2017). Graph theory matrix approach – A qualitative decision making tool. *Materials Today: Proceedings*, 4(8), 7741-7749.
- Ghosh, A., Mal, P., & Majumdar, A. (2019). *Advanced optimization and decision-making techniques in textile manufacturing*. Crc Press.
- Gothwal, S., & Raj, T. (2016). Performance evaluation of flexible manufacturing system using digraph and matrix/GTA approach. *Int. J. Manufacturing Technology and Management*, 30(3/4), 253-276.
- Görçün, Ö. F. (2017). *Depo ve envanter yönetimi*. Beta Yayıncılık.
- Gözüm, H. B. (2007). *Depo seçimi için geliştirilmiş sistematik bir metodoloji ve bir uygulaması* (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European journal of operational research*, 177(1), 1-21.
- 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.
- Gümrük Kanunu. (1999). T.C. Resmî Gazete (Sayı: 23866, 4 Kasım 1999)
- Günbay, A.A. (2019). *Seramik sağlık gereçleri üretiminde pişirme sürelerinin kısaltılmasına bağlı enerji tasarrufu sağlayan kompozisyonların geliştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).



- Heragux, S. S., Du, L., Mantel, R. J., & Schuur, P. C. (2005). Mathematical model for warehouse design and product allocation. *International Journal of Production Research*, 43(2), 327-338.
- Hompel, M, T., & Schmidt, T. (2014). *Depo yönetimi depo sistemlerinin organizasyonu ve yönetimi*. (Çeviri-Uyarlama: Mehmet Tanyaş ve Murat Düzgün): Nobel Yayıncılık.
- Hopbaoğlu, F. (2009). *Tedârik zincirinde ve lojistik süreçlerde depo tasarımı ve depo yönetimi: Kozmetik sektöründe bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Indap, S. (2018). Application of the Analytic Hierarchy Process in the Selection of Storage Rack Systems For E-Commerce Clothing Industry. *Journal of Management Marketing and Logistics*, 5(4), 255-266.
- İmrak, E., Gerdemeli, İ., (2006), “Endüstriyel depolama teknikleri”, Transport Tekniği Ders Notları, Erişim Tarihi: Ocak, 2, 2021, <https://transport.itu.edu.tr>
- İş Kanunu. (2003). T.C. Resmî Gazete (Sayı: 25134, 10 Haziran 2003)
- JUÜ (Jaipur Ulusal Üniversitesi). (2013). Warehousing and supply chain management [PDF belgesi]. Erişim tarihi: Aralık, 1, 2021, <https://sjce.ac.in/wp-content/uploads/2021/10/jnu-Supply-Chain-Management.pdf>
- Jungheinrich. (2021). Teknik doküman [PDF belgesi]. Erişim tarihi: Aralık, 1, 2021, <https://www.jungheinrich.com.tr/ueruenler/yeni-ara%C3%A7lar>
- Kabadayı, N. Depo tasarımı ve yönetimi [PDF belgesi]. Erişim tarihi: Aralık, 19, 2020, [http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/sivilhava\\_ao/depotasarimiveyonetimi.pdf](http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/sivilhava_ao/depotasarimiveyonetimi.pdf)
- Kamalı, A. (2019). *Technology trends in materials management: A systematic review of the use of technology in materials management to achieve competitive advantages*. Xlibris.
- Kaya, N. (2020). *Stok Yönetimi*. İksad Yayınevi.
- Karakış, İ. (2004). *Dağıtım merkezi depolarına ilişkin hiyerarşik depo tasarım metodolojisi ve konvansiyonel/otomatik depo karar problemine ilişkin analitik bir model* (Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kocamustafaoğulları, E. (2007). Çok kriterli karar verme semineri. Çok Amaçlı Karar Verme, Tepav, 1-37.
- Konuralp, Ş. M. (1993). *Depo yönetimi* (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Küçük, O. (2018). *Stok yönetimi amprik bir yaklaşım* (5.baskı). Seçkin Yayıncılık.

- Küçüköğlü, İ., Yağmahan, B., Çağlıyan, M.S., Yıldız, & A. V Aktokluk D. (2018). İç lojistik sisteminde malzeme tedariki için geliştirilmiş matematiksel modelleme yaklaşımı: Bir uygulama. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(4), 159-173. <https://doi.org/10.17482/uumfd.455198>.
- Lee, Y. H., Lee, M. H., & Hur, S. (2005). Optimal design of rack structure with modular cell in AS/RS. *International Journal of Production Economics*, 98(2), 172-178.
- Luqman, A., Akram, M., & Alcantud, J. C. R. (2021). Digraph and matrix approach for risk evaluations under Pythagorean fuzzy information. *Expert Systems with Applications*, 170, 114518. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114518>
- MBDK (Merkez Bankası Döviz Kurları). (2020). *T.C. Resmi Gazete (Sayı: 31342, 22 Aralık 2020)*.
- MEB (Millî Eğitim Bakanlığı). (2011). Depo Tasarımı. Erişim tarihi: Şubat, 10, 2021, [http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Depo%20Tasar%C4%B1m%C4%B1.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Depo%20Tasar%C4%B1m%C4%B1.pdf)
- Mecalux. (2021). Paletli ürünler için sırt sırta raf sistemi [PDF belgesi]. Erişim tarihi: Ekim, 11, 2021, <https://www.mecalux.com.tr/kataloglar>
- Metalsistem. (2021). Hareketli raf sistemi. Erişim tarihi: Ekim, 11, 2021 <https://metalsistem.com.tr/hareketli-raf-sistemleri/>
- Mohaghar, A., Kashef, M. O. J. T. A. B. A., & Khanmohammadi, E. H. S. A. N. (2014). A novel technique to solve the supplier selection problems: Combination of decision making trial & evaluation laboratory, graph theory and matrix approach methods. *International Journal of Industrial Engineering*, 25(2), 103-113.
- Mowrey, C. H., & Parikh, P. J. (2014). Mixed-width aisle configurations for order picking in distribution centers. *European Journal of Operational Research*, 232(1), 87-97.
- Özbek, A., & Erol, E. (2016). COPRAS ve MOORA yöntemlerinin depo yeri seçim problemine uygulanması. *Ekonomi İşletme Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 2(1), 23-42.
- Özdağoğlu, A. (2013). Çok ölçütlü karar verme modellerinde normalizasyon tekniklerinin sonuçlara etkisi: COPRAS örneği. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 8(2), 229-255.
- Öztürkoğlu, Ö., Gue, K. R., & Meller, R. D. (2014). A constructive aisle design model for unit-load warehouses with multiple pickup and deposit points, *European Journal of Operational Research*, 236, 382–394.

- Rabbani, M., Yazdanparast, R., & Mobini, M. (2019). An algorithm for performance evaluation of resilience engineering culture based on graph theory and matrix approach. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 10(2), 228-241.
- Rakesh, V., & Adil, G. K. (2015). Layout optimization of a three dimensional order picking warehouse. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1155-1160.
- Rao, R. V., & Gandhi, O. P. (2002). Digraph and matrix methods for the machinability evaluation of work materials. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42(3), 321-330.
- Rao, R.V. (2007). *Decision making in the manufacturing environmen*. Springer.
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G. J., Mantel, R. J., & Zijm, W. H. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. *European journal of operational research*, 122(3), 515-533.
- Safari, H., Faghieh, A. and Fathi, M. R. (2013). Integration of graph theory and matrix approach with fuzzy AHP for equipment selection. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 6(2), 477-494.
- Salcan, C. (2012). Depolama ve envanter maliyetlerini düşürme teknikleri [PPT belgesi] Erişim tarihi: Ekim, 10, 2020, <https://www.slideshare.net/cafersalcan/depolama-ve-envanter-maliyetlerini-dusurme-teknikleri>
- Sayın, A. A., & Maden, M. Y. (2020). Otomotiv yedek parça firmasında depo tasarım faaliyetlerinin işletme verimliliğine etkisi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 91-109.
- Showell, Rg. D. (1997). Racking systems, C. Dellino, (Ed.), *Cold and chilled storage technology* (s. 264-294). Springer Science & Business Media.
- Singh, D., & Rao, R. V. (2011). A hybrid multiple attribute decision making method for solving problems of industrial environment. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 2, 631–644.
- Soyaslan, M., Közkurt, C., & Fenercioğlu, A. (2015). Otomatik depolama ve boşaltma sistemleri (ODBS): Depo kurulumu ve performans çalışmaları üzerine literatür incelemesi. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 3(3), 8-26.
- STB (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı). (2020). Seramik Sektörü Raporu (2020). Erişim tarihi: Ekim, 11, 2021, <https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/plan-program/SeramikSektorRaporu2020.pdf>

- Süer, Ü. (2012). *Çağdaş depo tasarımı kırtasiye sektöründe bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Şener, B. (2015). *Envanter sınıflandırma tabanlı depo içi yerleşim planlaması ve bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi, Hava Harp Okulu Komutanlığı, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü).
- Şenocak, M. (2014). *Kozmetik sektöründe bir depo tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Tanyaş, M. (2014). İstanbul lojistik sektör analizi raporu. Erişim Tarihi: Ocak, 8, 2021, <https://www.utikad.org.tr/images/BilgiBankasi/lojistiksektoranalizi2015-6951.pdf>.
- Tanyaş, M., & Baskak, M. (2012). Farklı açılardan depoların sınıflandırması, *Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi 10-12 Mayıs 2012*
- Taşcı, İ. E. (2018). *Ecza depolarında iş sağlığı ve güvenliği ve risk değerlendirmesi* (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., & Tanchoco, J.M.A. (2003). *Facilities planning*. John Wiley & Sons inc.
- Topaloğlu, F. (2016). *Design driven strategic renewal: Development of strategic design and design management capabilities in the Turkish ceramic sanitary ware industry* (Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Trade Map. (2021). Seramik sağlık gereçleri istatistikleri. Erişim tarihi: Ocak, 25, 2021, [https://www.trademap.org/Country\\_SelProduct.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7c6910%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c1](https://www.trademap.org/Country_SelProduct.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7c6910%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c1)
- Triantaphyllou, E. (2000). Multi-criteria decision making methods. In *Multi-criteria decision making methods: A comparative study* (pp. 5-21). Springer, Boston, MA.
- TSF (Türkiye Seramik Federasyonu). (2021). Türkiye seramik ve makine sektörlerinin iş birliği gelişimi durum tespit raporu Nisan 2021. Erişim tarihi: Mayıs, 6, 2021, <https://serfed.com/sunumlar>
- Turan, G. (2006). *Depo sistemleri ve depo tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Uysal, F., (2011). Türkiye'de yenilenebilir enerji alternatiflerinin seçimi için graf teori ve matris yaklaşım. *Ekonometri ve İstatistik Dergisi*, 13, 23-40.

- Uysal, F., & Gülmez, M. (2014). Türkiye’de Akdeniz Bölgesi’nde lojistik merkez yeri seçimi için bulanık serim teori ve matris yaklaşımı uygulaması. *Verimlilik Dergisi,1*, 89-104.
- Virmani, N., Salve, U. R., Kumar, A., & Luthra, S. (2021). Analyzing roadblocks of industry 4.0 adoption using graph theory and matrix approach. *IEEE Transactions on Engineering Management*. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.3048554>
- West, D.B., (1996). *Introduction to graph theory*. Prentice Hall.
- Yıldız, İ. (2019). *Palet raf sistemi kullanılarak inşaa edilen hangar tipi yapıların sismik performansı* (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yılmaz, O., (2011). *Otomatik depolama ve çekme sistemlerinin çok kriterli karar verme yöntemleriyle seçimi ve uygulaması* (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yılmaz, H. E., (2014). *Akülü forkliftlerde enerji performansının iyileştirilmesinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yumurtacı Aydoğmuş, H., Namlı, E., & Aydoğmuş U. (2018). Depo Raf Sistemleri ve Depolarda Kullanılan Araçlar, O. Küçük (Ed.), *Depolama Yönetimi* (s. 73-84) Seçkin Yayıncılık.
- Zaerpour, N., Volbeda, R., & Gharehgozli, A. (2019). Automated or manual storage systems: do throughput and storage capacity matter?. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 57(1), 99-120.

## TABLolar LİSTESİ

<b>Tablo 1. 1.</b> Seramik sağlık gereçleri üretim, iç pazar ve ihracat verileri .....	28
<b>Tablo 3. 1.</b> Karşılaştırma ölçeği .....	66
<b>Tablo 3. 2.</b> Nitel kriter değerleri.....	67
<b>Tablo 4. 1.</b> İstifleme araçlarının teknik özellikleri .....	82
<b>Tablo 4. 2.</b> Raf sistemi alternatiflerinin raf bölme sayıları ve depo yol genişliği.....	85
<b>Tablo 4. 3.</b> Raf sistemi alternatiflerinin kullanımına göre depo kapasitesi.....	89
<b>Tablo 4. 4.</b> Ortalama hareketler.....	90
<b>Tablo 4. 5.</b> Dar koridor raf sistemi için zaman etüdü çalışması.....	91
<b>Tablo 4. 6.</b> Teorik ve beklenen süreler.....	93
<b>Tablo 4. 7.</b> Raf sistemi alternatiflerinin günlük işlem hacmi .....	94
<b>Tablo 4. 8.</b> Normal koridor raf sistemi raf kurulum maliyeti.....	95
<b>Tablo 4. 9.</b> Geniş koridor raf sistemi raf kurulum maliyeti .....	96
<b>Tablo 4. 10.</b> Dar koridor raf sistemi raf kurulum maliyeti.....	97
<b>Tablo 4. 11.</b> Çift derinlikli raf sistemi raf kurulum maliyeti.....	98
<b>Tablo 4. 12.</b> Raf sistemi alternatiflerinin birim maliyeti.....	99
<b>Tablo 4. 13.</b> Toplam yüklü palet hacmi .....	100
<b>Tablo 4. 14.</b> Raf sistemi alternatiflerinin hacim verimi .....	101
<b>Tablo 4. 15.</b> Raf sistemi alternatiflerinin kriter değerleri.....	102
<b>Tablo 4. 16.</b> Raf sistemi alternatiflerinin normalize edilmiş kriter değerleri.....	102
<b>Tablo 4. 17.</b> Normal koridor raf sistemi performans değerlendirme matrisi .....	102
<b>Tablo 4. 18.</b> Geniş koridor raf sistemi performans değerlendirme matrisi .....	103
<b>Tablo 4. 19.</b> Dar koridor raf sistemi performans değerlendirme matrisi .....	103
<b>Tablo 4. 20.</b> Çift derinlikli raf sistemi performans değerlendirme matrisi .....	103
<b>Tablo 4. 21.</b> Raf sistemi alternatiflerinin performans sıralaması .....	105
<b>Tablo 4. 22.</b> Raf sistemi alternatiflerine ait grup/alt grup değerleri.....	105

<b>Tablo 4. 23.</b> Raf sistemi alternatiflerinin performans benzerlik katsayıları.....	106
<b>Tablo 4. 24.</b> 10 yıllık enerji tüketim maliyeti.....	109
<b>Tablo 4. 25.</b> Raf sistemi alternatiflerinin birim maliyeti.....	109
<b>Tablo 4. 26.</b> Raf sistemi alternatiflerinin kriter değerleri.....	110
<b>Tablo 4. 27.</b> Raf sistemi alternatiflerinin normalize edilmiş kriter değerleri.....	110
<b>Tablo 4. 28.</b> Normal koridor raf sistemi performans değerlendirme matrisi .....	110
<b>Tablo 4. 29.</b> Geniş koridor raf sistemi performans değerlendirme matrisi .....	111
<b>Tablo 4. 30.</b> Dar koridor raf sistemi performans değerlendirme matrisi .....	111
<b>Tablo 4. 31.</b> Çift derinlikli raf sistemi performans değerlendirme matrisi .....	111
<b>Tablo 4. 32.</b> Raf sistemi alternatiflerinin performans sıralaması .....	112
<b>Tablo 4. 33.</b> Raf sistemi alternatiflerine ait grup/alt grup değerleri.....	112
<b>Tablo 4. 34.</b> Raf sistemi alternatiflerinin performans benzerlik katsayıları.....	112

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1. Tipik depo iş akışı .....	25
Şekil 1. 2. Seramik sağlık gereçleri .....	27
Şekil 1. 3. Seramik sağlık gereçleri üretim tesislerinin ülke çapındaki dağılımı .....	27
Şekil 1. 4. Depo tasarımı .....	33
Şekil 2. 1. Ahşap ve plastik palet.....	36
Şekil 2. 2. Karton kutu ve plastik kap örnekleri .....	37
Şekil 2. 3. Sırt sırta raf sistemi.....	39
Şekil 2. 4. Çift derinlikli raf sistemi .....	40
Şekil 2. 5. Tek paletli raf sistemi .....	40
Şekil 2. 6. İçine girilebilir raf sistemi ve içinden geçilebilir raf sistemi.....	41
Şekil 2. 7. Giydirme raf sistemi .....	42
Şekil 2. 8. Paletli kayar raf sistemleri .....	42
Şekil 2. 9. Hareketli raf sistemleri .....	43
Şekil 2. 10. Otomatik raf sistemi .....	44
Şekil 2. 11. Dar koridor raf sistemleri .....	45
Şekil 2. 12. Askılı konveyör/raf sistemleri .....	46
Şekil 2. 13. Kutulu kayar raf sistemleri .....	46
Şekil 2. 14. Katlı raf sistemleri .....	47
Şekil 2. 15. Sipariş hazırlama raf sistemi .....	48
Şekil 2. 16. Konsol kollu raf sistemleri .....	49
Şekil 2. 17. Çatallı istifleme aracı.....	53
Şekil 2. 18. Yan yönlü toplama istifleme araçları .....	54
Şekil 2. 19. Dar koridor istifleme araçları .....	55
Şekil 2. 20. Yüksek irtifa istifleme araçları .....	55
Şekil 2. 21. Sipariş toplama istifleme araçları .....	56



Şekil 2. 22. Kule istifleme araçları .....	57
Şekil 2. 23. Palet taşıyıcı istifleme aracı.....	57
Şekil 2. 24. Otomatik palet istifleme aracı .....	58
Şekil 3. 1. Königsberg'in yedi köprüsü .....	62
Şekil 3. 2. Königsberg'in yedi köprüsü temsili .....	62
Şekil 3. 3. Königsberg'in yedi köprüsünün grafik yapısı .....	63
Şekil 3. 4. Yönlü grafik .....	64
Şekil 3. 5. Kriter yönlü grafiği.....	65
Şekil 3. 6. Örnek program çıktısı.....	72
Şekil 4. 1. Kriter yönlü grafiği.....	78
Şekil 4. 2. Kullanılan palet ölçüleri .....	82
Şekil 4. 3. Raf bölmesi yandan görünümü.....	84
Şekil 4. 4. Normal koridor raf sistemi görünümler.....	85
Şekil 4. 5. Geniş koridor raf sistemi görünümler .....	86
Şekil 4. 6. Dar koridor raf sistemi görünümler.....	86
Şekil 4. 7. Çift derinlikli raf sistemi görünümler.....	87
Şekil 4. 8. Raf sistemi temel elemanlar .....	94

## EKLER

### Ek 1. Uygulama 1 normal koridor raf sistemi program çıktısı

```
Kriter Sayisini Giriniz: 5

(1.satir, 1.sutun)=0.95
(1.satir, 2.sutun)=0.50
(1.satir, 3.sutun)=0.6
(1.satir, 4.sutun)=0.70
(1.satir, 5.sutun)=0.80

(2.satir, 1.sutun)=0.5
(2.satir, 2.sutun)=0.7
(2.satir, 3.sutun)=0.6
(2.satir, 4.sutun)=0.7
(2.satir, 5.sutun)=0.8

(3.satir, 1.sutun)=0.4
(3.satir, 2.sutun)=0.4
(3.satir, 3.sutun)=0.73
(3.satir, 4.sutun)=0.8
(3.satir, 5.sutun)=0.8

(4.satir, 1.sutun)=0.3
(4.satir, 2.sutun)=0.3
(4.satir, 3.sutun)=0.2
(4.satir, 4.sutun)=0.89
(4.satir, 5.sutun)=0.6

(5.satir, 1.sutun)=0.2
(5.satir, 2.sutun)=0.2
(5.satir, 3.sutun)=0.2
(5.satir, 4.sutun)=0.4
(5.satir, 5.sutun)=0.7

[0.950000 0.500000 0.600000 0.700000 0.800000 ]
[0.500000 0.700000 0.600000 0.700000 0.800000 ]
[0.400000 0.400000 0.730000 0.800000 0.800000 ]
[0.300000 0.300000 0.200000 0.890000 0.600000 ]
[0.200000 0.200000 0.200000 0.400000 0.700000 ]

Islem Sonucu:      4.75219515

-----
Process exited after 117.7 seconds with return value 0
Press any key to continue . . .
```

## Ek 2. Uygulama 1 geniş koridor raf sistemi program çıktısı

```
Kriter Sayisini Giriniz: 5

(1.satir, 1.sutun)=0.90
(1.satir, 2.sutun)=0.5
(1.satir, 3.sutun)=0.6
(1.satir, 4.sutun)=0.7
(1.satir, 5.sutun)=0.8

(2.satir, 1.sutun)=0.5
(2.satir, 2.sutun)=0.52
(2.satir, 3.sutun)=0.6
(2.satir, 4.sutun)=0.7
(2.satir, 5.sutun)=0.8

(3.satir, 1.sutun)=0.4
(3.satir, 2.sutun)=0.4
(3.satir, 3.sutun)=0.54
(3.satir, 4.sutun)=0.8
(3.satir, 5.sutun)=0.8

(4.satir, 1.sutun)=0.3
(4.satir, 2.sutun)=0.3
(4.satir, 3.sutun)=0.2
(4.satir, 4.sutun)=1
(4.satir, 5.sutun)=0.6

(5.satir, 1.sutun)=0.2
(5.satir, 2.sutun)=0.2
(5.satir, 3.sutun)=0.2
(5.satir, 4.sutun)=0.4
(5.satir, 5.sutun)=0.52

[0.900000 0.500000 0.600000 0.700000 0.800000 ]
[0.500000 0.520000 0.600000 0.700000 0.800000 ]
[0.400000 0.400000 0.540000 0.800000 0.800000 ]
[0.300000 0.300000 0.200000 1.000000 0.600000 ]
[0.200000 0.200000 0.200000 0.400000 0.520000 ]

Islem Sonucu:      3.73012336

-----
Process exited after 74.81 seconds with return value 0
Press any key to continue . . .
```

### Ek 3. Uygulama 1 dar koridor raf sistemi program çıktısı

```
Kriter Sayisini Giriniz: 5

(1.satir, 1.sutun)=0.85
(1.satir, 2.sutun)=0.5
(1.satir, 3.sutun)=0.6
(1.satir, 4.sutun)=0.7
(1.satir, 5.sutun)=0.8

(2.satir, 1.sutun)=0.5
(2.satir, 2.sutun)=0.97
(2.satir, 3.sutun)=0.6
(2.satir, 4.sutun)=0.7
(2.satir, 5.sutun)=0.8

(3.satir, 1.sutun)=0.4
(3.satir, 2.sutun)=0.4
(3.satir, 3.sutun)=1
(3.satir, 4.sutun)=0.8
(3.satir, 5.sutun)=0.8

(4.satir, 1.sutun)=0.3
(4.satir, 2.sutun)=0.3
(4.satir, 3.sutun)=0.2
(4.satir, 4.sutun)=0.83
(4.satir, 5.sutun)=0.6

(5.satir, 1.sutun)=0.2
(5.satir, 2.sutun)=0.2
(5.satir, 3.sutun)=0.2
(5.satir, 4.sutun)=0.4
(5.satir, 5.sutun)=0.97

[0.850000 0.500000 0.600000 0.700000 0.800000 ]
[0.500000 0.970000 0.600000 0.700000 0.800000 ]
[0.400000 0.400000 1.000000 0.800000 0.800000 ]
[0.300000 0.300000 0.200000 0.830000 0.600000 ]
[0.200000 0.200000 0.200000 0.400000 0.970000 ]

Islem Sonucu:      6.41261363

-----
Process exited after 53.56 seconds with return value 0
Press any key to continue . . .
```

#### Ek 4. Uygulama 1 çift derinlikli raf sistemi program çıktısı

```
Kriter Sayisini Giriniz: 5
(1.satir, 1.sutun)=1
(1.satir, 2.sutun)=0.5
(1.satir, 3.sutun)=0.6
(1.satir, 4.sutun)=0.7
(1.satir, 5.sutun)=0.8

(2.satir, 1.sutun)=0.5
(2.satir, 2.sutun)=1
(2.satir, 3.sutun)=0.6
(2.satir, 4.sutun)=0.7
(2.satir, 5.sutun)=0.8

(3.satir, 1.sutun)=0.4
(3.satir, 2.sutun)=0.4
(3.satir, 3.sutun)=0.52
(3.satir, 4.sutun)=0.8
(3.satir, 5.sutun)=0.8

(4.satir, 1.sutun)=0.3
(4.satir, 2.sutun)=0.3
(4.satir, 3.sutun)=0.2
(4.satir, 4.sutun)=0.81
(4.satir, 5.sutun)=0.6

(5.satir, 1.sutun)=0.2
(5.satir, 2.sutun)=0.2
(5.satir, 3.sutun)=0.2
(5.satir, 4.sutun)=0.4
(5.satir, 5.sutun)=1

[1.000000 0.500000 0.600000 0.700000 0.800000 ]
[0.500000 1.000000 0.600000 0.700000 0.800000 ]
[0.400000 0.400000 0.520000 0.800000 0.800000 ]
[0.300000 0.300000 0.200000 0.810000 0.600000 ]
[0.200000 0.200000 0.200000 0.400000 1.000000 ]

Islem Sonucu:          5.51418

-----
Process exited after 50.17 seconds with return value 0
Press any key to continue . . .
```

## Ek 5. Uygulama 2 normal koridor raf sistemi program çıktısı

```
Kriter Sayisini Giriniz: 5

(1.satir, 1.sutun)=0.77
(1.satir, 2.sutun)=0.5
(1.satir, 3.sutun)=0.6
(1.satir, 4.sutun)=0.7
(1.satir, 5.sutun)=0.8

(2.satir, 1.sutun)=0.5
(2.satir, 2.sutun)=0.7
(2.satir, 3.sutun)=0.6
(2.satir, 4.sutun)=0.7
(2.satir, 5.sutun)=0.8

(3.satir, 1.sutun)=0.4
(3.satir, 2.sutun)=0.4
(3.satir, 3.sutun)=0.73
(3.satir, 4.sutun)=0.8
(3.satir, 5.sutun)=0.8

(4.satir, 1.sutun)=0.3
(4.satir, 2.sutun)=0.3
(4.satir, 3.sutun)=0.2
(4.satir, 4.sutun)=0.89
(4.satir, 5.sutun)=0.6

(5.satir, 1.sutun)=0.2
(5.satir, 2.sutun)=0.2
(5.satir, 3.sutun)=0.2
(5.satir, 4.sutun)=0.4
(5.satir, 5.sutun)=0.7

[0.770000 0.500000 0.600000 0.700000 0.800000 ]
[0.500000 0.700000 0.600000 0.700000 0.800000 ]
[0.400000 0.400000 0.730000 0.800000 0.800000 ]
[0.300000 0.300000 0.200000 0.890000 0.600000 ]
[0.200000 0.200000 0.200000 0.400000 0.700000 ]

Islem Sonucu:      4.41781725

-----
Process exited after 46.79 seconds with return value 0
Press any key to continue . . .
```

## Ek 6. Uygulama 2 geniş koridor raf sistemi program çıktısı

```
Kriter Sayisini Giriniz: 5

(1.satir, 1.sutun)=0.51
(1.satir, 2.sutun)=0.5
(1.satir, 3.sutun)=0.6
(1.satir, 4.sutun)=0.7
(1.satir, 5.sutun)=0.8

(2.satir, 1.sutun)=0.5
(2.satir, 2.sutun)=0.52
(2.satir, 3.sutun)=0.6
(2.satir, 4.sutun)=0.7
(2.satir, 5.sutun)=0.8

(3.satir, 1.sutun)=0.4
(3.satir, 2.sutun)=0.4
(3.satir, 3.sutun)=0.54
(3.satir, 4.sutun)=0.8
(3.satir, 5.sutun)=0.8

(4.satir, 1.sutun)=0.3
(4.satir, 2.sutun)=0.3
(4.satir, 3.sutun)=0.2
(4.satir, 4.sutun)=1
(4.satir, 5.sutun)=0.6

(5.satir, 1.sutun)=0.2
(5.satir, 2.sutun)=0.2
(5.satir, 3.sutun)=0.2
(5.satir, 4.sutun)=0.4
(5.satir, 5.sutun)=0.52

[0.510000 0.500000 0.600000 0.700000 0.800000 ]
[0.500000 0.520000 0.600000 0.700000 0.800000 ]
[0.400000 0.400000 0.540000 0.800000 0.800000 ]
[0.300000 0.300000 0.200000 1.000000 0.600000 ]
[0.200000 0.200000 0.200000 0.400000 0.520000 ]

Islem Sonucu:      3.18161176

-----
Process exited after 45.95 seconds with return value 0
Press any key to continue . . .
```

## Ek 7. Uygulama 2 dar koridor raf sistemi program çıktısı

```
Kriter Sayisini Giriniz: 5

(1.satir, 1.sutun)=0.87
(1.satir, 2.sutun)=0.5
(1.satir, 3.sutun)=0.6
(1.satir, 4.sutun)=0.7
(1.satir, 5.sutun)=0.8

(2.satir, 1.sutun)=0.5
(2.satir, 2.sutun)=0.97
(2.satir, 3.sutun)=0.6
(2.satir, 4.sutun)=0.7
(2.satir, 5.sutun)=0.8

(3.satir, 1.sutun)=0.4
(3.satir, 2.sutun)=0.4
(3.satir, 3.sutun)=1
(3.satir, 4.sutun)=0.8
(3.satir, 5.sutun)=0.8

(4.satir, 1.sutun)=0.3
(4.satir, 2.sutun)=0.3
(4.satir, 3.sutun)=0.2
(4.satir, 4.sutun)=0.83
(4.satir, 5.sutun)=0.6

(5.satir, 1.sutun)=0.2
(5.satir, 2.sutun)=0.2
(5.satir, 3.sutun)=0.2
(5.satir, 4.sutun)=0.4
(5.satir, 5.sutun)=0.97

[0.870000 0.500000 0.600000 0.700000 0.800000 ]
[0.500000 0.970000 0.600000 0.700000 0.800000 ]
[0.400000 0.400000 1.000000 0.800000 0.800000 ]
[0.300000 0.300000 0.200000 0.830000 0.600000 ]
[0.200000 0.200000 0.200000 0.400000 0.970000 ]

Islem Sonucu:      6.46935025

-----
Process exited after 43.17 seconds with return value 0
Press any key to continue . . .
```



## Ek 8. Uygulama 2 çift derinlikli raf sistemi program çıktısı

```
Kriter Sayisini Giriniz: 5
(1.satir, 1.sutun)=1
(1.satir, 2.sutun)=0.5
(1.satir, 3.sutun)=0.6
(1.satir, 4.sutun)=0.7
(1.satir, 5.sutun)=0.8

(2.satir, 1.sutun)=0.5
(2.satir, 2.sutun)=1
(2.satir, 3.sutun)=0.60
(2.satir, 4.sutun)=0.7
(2.satir, 5.sutun)=0.8

(3.satir, 1.sutun)=0.4
(3.satir, 2.sutun)=0.4
(3.satir, 3.sutun)=0.52
(3.satir, 4.sutun)=0.8
(3.satir, 5.sutun)=0.8

(4.satir, 1.sutun)=0.3
(4.satir, 2.sutun)=0.3
(4.satir, 3.sutun)=0.2
(4.satir, 4.sutun)=0.81
(4.satir, 5.sutun)=0.6

(5.satir, 1.sutun)=0.2
(5.satir, 2.sutun)=0.2
(5.satir, 3.sutun)=0.2
(5.satir, 4.sutun)=0.4
(5.satir, 5.sutun)=1

[1.000000 0.500000 0.600000 0.700000 0.800000 ]
[0.500000 1.000000 0.600000 0.700000 0.800000 ]
[0.400000 0.400000 0.520000 0.800000 0.800000 ]
[0.300000 0.300000 0.200000 0.810000 0.600000 ]
[0.200000 0.200000 0.200000 0.400000 1.000000 ]

Islem Sonucu:          5.51418

-----
Process exited after 47.47 seconds with return value 0
Press any key to continue . . .
```

## ÖZGEÇMİŞ

Sema KOŞAR SÜRÜL; ilk öğrenimini Zonguldak'ta ve orta öğrenimini Bartın'da tamamladı. 2005 yılında Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Ortaöğretim Matematik Öğretmenliği Bölümü'nde eğitime başlayıp 2010 yılında mezun oldu. 2016 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik Bölümü'nde yüksek lisansını tamamladı. 2011 yılından beri MEB'de matematik öğretmeni olarak çalışıyor. Evli ve iki çocuk annesidir.