



Integrated management system for vending machines

Gizem Göçen^{ID}, Aslı Aksoy*^{ID}

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Bursa Uludağ University, 16059, Görükle, Bursa, Türkiye

Highlights:

- Management tool for vending machines is presented
- Inventory management strategies are offered
- Significant travelling distance savings are observed with proposed model

Keywords:

- Vending machines
- Inventory management
- Distribution planning

Article Info:

Research Article
Received: 06.07.2022
Accepted: 08.10.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1140636

Correspondence:

Author: Aslı Aksoy
e-mail:
asliaksoy@uludag.edu.tr
phone: +90 224 294 2078

Graphical/Tabular Abstract

In this study, management system is presented to minimize operational costs for vending machines. Figure A summarizes the developed system for the working scenario. In this study, an inventory management model and distribution planning model for vending machines network are developed. In inventory management model, warehouse inventory is classified by evaluating multiple criteria and different scenarios are suggested to vending system manager. A heuristic algorithm is developed in distribution planning model and significant travelling distance savings are observed when compared to current situation.

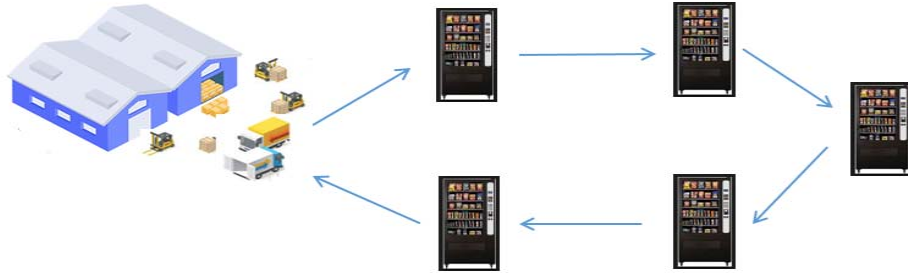


Figure A. Vending machines management system

Purpose:

The aim of this study is to present an analytical management tool for vending machines network and to reduce operational costs of the vending system.

Theory and Methods:

The proposed vending machines management system includes two different models. In inventory management model, warehouse inventory is classified by evaluating multiple criteria using three different clustering algorithms. In distribution management model linear programming model and nearest neighbor based heuristic algorithms are developed. A distribution management tool is also presented in this study.

Results:

Presented models are applied a vending company with 100 vending machines in 30 different locations in Marmara Region. According to inventory management model results, the warehouse inventory is classified in three clusters and EOQ and SS quantities are suggested for the vending system. For the distribution planning model, a linear programming model is developed but due to computational complexity, the proposed linear programming model couldn't generate optimal solutions for the network larger than 26 locations. According to nearest neighbor based heuristic algorithm results, the proposed heuristic algorithm reduces the total travelling distance for the vending system and significant cost savings may be observed.

Conclusion:

This study presents a real life application of different analytical methods for vending machines management systems, and important cost savings may be observed by using proposed models. The proposed inventory management model classifies warehouse inventory in three clusters and different inventory models are applied to clusters. The proposed heuristic algorithms for distribution planning model assigns priority to the vending machines which have signals and eliminates unnecessary visits to the vending machines. This study may increase the awareness of institutions and people about the application of proposed models working in this field.



Otomatik satış makineleri için bütünleşik yönetim sistemi

Gizem Göçen^{ID}, Aslı Aksoy*^{ID}

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Bursa, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Otomatik satış makineleri için envanter ve dağıtım modeli
- Farklı kümeleme yöntemleri ile envanter sınıflandırma
- Dağıtım planlama için matematiksel ve sezgisel model karşılaştırması

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 06.07.2022

Kabul: 08.10.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1140636

Anahtar Kelimeler:

Otomatik satış makineleri,
envanter sınıflandırma,
dağıtım planlama

ÖZ

Otomatik satış makineleri, klasik satış noktası için gereken kira, enerji, personel maliyetlerini minimize etmesi, 7/24 hizmet vermesi, kolay ulaşılabilir olması sebebiyle birçok ülkede sıklıkla kullanılan bir alışveriş aracı olmuştur. Artan ürün, personel ve enerji maliyetleri, otomatik satış makineleri yöneticilerini zorlamakta, karlılığı düşürmektedir. Bu çalışmanın amacı otomatik satış makineleri için envanter ve dağıtım yönetim sistemi geliştirmektir. Çalışma kapsamında geliştirilen envanter yönetim modelinde otomatik satış makineleri ağında makinelere ürün dağıtımı yapılan depoda bulunan ürünler dört farklı kritere göre sınıflandırılarak ekonomik sipariş miktarı (ESM) ve emniyet stok (ES) seviyesi belirlenmiş, dağıtım yönetim modelinde dağıtım maliyetlerini azaltan model önerilmiştir. Dağıtım yönetim modeli için, makinelerdeki para miktarı, ürün miktarı, arıza bilgisi ve sağlıklı ürün sinyalleri tanımlanarak, dağıtım rotası makinelerden gelen sinyallere göre hem optimal çözüm veren matematiksel model ile hem de en yakın komşu algoritmasına dayalı sezgisel model ile oluşturulmuştur. Önerilen dağıtım planlama modeli ile gereksiz makine ziyaretleri ortadan kaldırılacak ve dağıtım aracının gittiği mesafe azaltılarak kazanım sağlanacak, sinyal bilgisi gelmesi durumunda dağıtım personeli sinyal bilgisi gelen makineyi öncelikli ziyaret edeceğinden makine arızası, ürün yokluğu nedeniyle kayıp satışlar azaltılmış olacaktır. Böylece otomatik satış makineleri sektörü, ürün fiyatlarını değiştirmeden operasyonel verimliliğini ve karını arttırmış olacak, karar verme sürecinin çalışan bilgi ve deneyimine bağımlılığı azaltılmış olacaktır.

Integrated management system for vending machines

HIGHLIGHTS

- An inventory management and distribution model for vending machines
- Inventory classification with different clustering methods
- Comparison of mathematical and heuristic models for distribution planning

Article Info

Research Article

Received: 06.07.2022

Accepted: 08.10.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1140636

Keywords:

Vending machines,
inventory classification,
distribution planning

ABSTRACT

Vending machines have become a frequently used shopping tool in many countries, as they minimize personnel, energy and facility costs, ability to provide 24/7 service and are easily accessible. In competitive marketing environment, increased costs cause difficulties for vending system managers and reduce profitability of enterprises. The aim of this study is to develop a management system for vending machines to manage warehouse inventory and plan distribution system. The warehouse inventory is classified by using different clustering algorithms, evaluating multiple criteria, and economic order quantity (EOQ) and safety stock levels (SS) are suggested. For the distribution management model, various signals such as the amount of money in vending machines, the number of products, the failure code, and healthy food data are determined. According to the signals from the vending machines, the distribution routes of the vehicles are computed using a linear programming model that provides the optimal solution and a heuristic model based on the nearest neighbor algorithm. With the use of proposed vending machine management system unnecessary vending machine visits will be eliminated and cost savings will be achieved by reducing the travelling distance of service vehicle. Since the service vehicle will visit the vending machines which have signal information earlier, the lost sales due to vending machine failures and/or lack of product availability will also be reduced. As a result, the vending machine industry's operational efficiency and profits will increase without changing product prices, and the decision-making process's reliance on employee knowledge and experience will be reduced.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : gizemmgcn@gmail.com, *asliaksoy@uludag.edu.tr / Tel: +90 224 294 2078

1.Giriş (Introduction)

Otomatik satış makineleri yiyecek, içecek, gazete, bilet sağlamak amacıyla halka açık yerlerde bulunan, 7/24 hizmet sunabilen satış birimleri olduğundan ürünlere hızlı ve kolay ulaşım imkânı sağlamaktadır. Son yıllarda otomatik satış makinelerine olan ihtiyaç artmıştır. Türkiye’de 40.000’den fazla otomatik satış makinesinin hizmet verdiği, öngörülmedeki 10 yıl içinde bu sayının 700.000’e çıkması öngörüldüğü belirtilmiştir [1]. Ancak artan ürün, çalışan ve enerji maliyetleri, otomatik satış makineleri sistem yöneticilerini zorlamakta, bu alanda faaliyet gösteren firmaların karlılığını olumsuz etkilemektedir. Otomatik satış makinesi endüstrisinin ekonomiye katkıları tartışmasız olsa da otomatik satış makinelerinin lojistik operasyonlarının yönetim verimliliği söz konusu olduğunda bazı zorluklar yaşanmaktadır. Bir otomatik satış makinesinde ürünleri yeniden doldurma noktası, ürünlerin eşik değeri ve envanter yenileme için araç rotalarının belirlenmesi otomatik satış makineleri yönetim ve işletimindeki temel zorluklardır [2].

Otomatik satış makineleri sayesinde tüketiciler ihtiyaçlarına uzun mesafe kat etmeden ulaşabildiğinden doğa dostu alışveriş araçları olduğu düşünülmektedir [3]. Otomatik satış makineleri, doğası gereği rasyonel veya başka bir şekilde karar veremezler, geleneksel olarak bilgi aktaramazlar. Ancak yeni teknolojiler ile bilginin paylaşılmasına olanak sağlamaktadırlar [4].

Bu çalışma kapsamında otomatik satış makinelerinin yönetim süreçlerinin iyileştirilmesi ve operasyonel maliyetlerin düşürülmesi amaçlanmıştır. Otomatik satış makinesi yöneticileri farklı lokasyonlarda yer alan en az 100-200 otomatik satış makinesi ağını ortak bir (veya birkaç) depodan yönetmekle sorumludurlar. Bir otomatik satış makinesi ağında öncelikle farklı lokasyonlara (fabrikalar, okullar, iş ofisleri, duraklar, tüketicinin yoğun olduğu bölgeler...) makineler yerleştirilir. Otomatik satış makinesi yöneticileri bu ağıda yer alan makinelere ürün dağıtımı ve biriken nakit paranın toplamasını organize etmekle sorumludurlar. Ortak bir depodan makinelere ürün dağıtımı yapacak araçlara ürünler yüklenmekte, günlük ya da periyodik makine ziyaretleriyle otomatik satış makinelerine ürün beslemesi gerçekleştirilmektedir. Makinelere ürün beslemesi yapıldıktan sonra bir sonraki ürün besleme zamanına kadar makineler ziyaret edilmemektedir (herhangi bir acil durum, ya da arıza durumu olmaması durumunda). Makinede biriken paraların toplanması için sektörde iki farklı uygulama yer almaktadır: bazı yöneticiler (otomatik satış makinesi ağındaki makine sayısı ≤ 100 adet) nakit para toplama işlemini kendileri gerçekleştirmektedir. Bunun nedenini dağıtım işlemini gerçekleştiren personele duyulan düşük güvenle açıklamaktadırlar. İkinci grup yönetici ise ağıda yer alan otomatik satış makinesi sayısının çok olması nedeniyle nakit toplama işlemini dağıtım gerçekleştiren personele bırakmaktadır. Bu durumda herhangi bir otomatik satış makinesine giden dağıtım

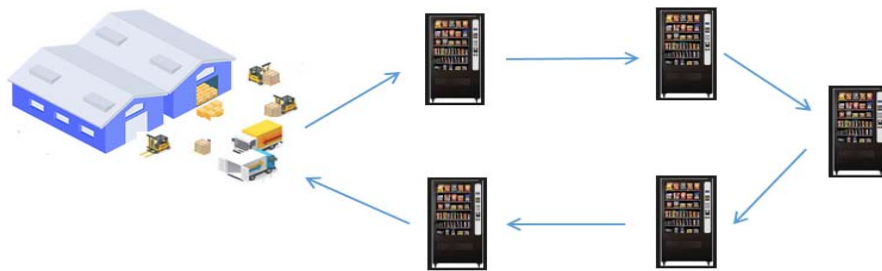
personeli hem eksilen ve/veya biten ürünlerin makineye yerleştirilmesi hem de nakit paranın toplanmasından sorumlu olmaktadır. Sistemin temel işleyişi Şekil 1’de gösterilmektedir.

Böyle bir otomatik satış makinesi ağında sistem yöneticisinin temelde iki görev ve sorumluluğu bulunmaktadır.

1. Otomatik satış makinesi yönetimi: Yönetici makinelerde yer alan ürün çeşitliliği ve miktarlarını belirlemeli, hangi makinede hangi tip ürünün satılacağı deneyimine sahip olmalı, makinelere ziyaret sıklığını belirlemeli, makinelerden nakit para toplama sürecini organize etmeli, makinelerde herhangi bir arıza oluşması durumunda teknik ekibi en kısa süre içinde yönlendirmesini yapmalı, makinelerin bakım onarım faaliyetlerini organize etmelidir.
2. Depo ve dağıtım yönetimi: Sistem yöneticisi makinelerin satış rakamlarından elde ettiği verilere dayanarak, ürünlerin stok planını yapmalı, stok yenileme sistemini planlamalı, dağıtım personeli için dağıtım çizelgesi oluşturmalıdır.

Her bir otomatik satış makinesi ziyaretinde, makinelerdeki ürün stokları gözden geçirilmekte ve makineler tam kapasite yüklenmektedir. Talebin belirsiz olması nedeniyle bir sonraki ziyaret zamanının ne zaman yapılacağı kişisel deneyime dayanarak belirlenmekte, herhangi bir veri toplanmamaktadır. Eğer bir sonraki ziyaret kısa bir zaman sonrasında planlanırsa, ihtiyaç olmamasına rağmen pek çok ziyaretin gerçekleşmesine neden olurken, ziyaretin uzun zaman sonra planlanması kayıp satışa neden olmaktadır. Çalışma kapsamında yapılan görüşmeler sonucunda otomatik satış makinelerinin yönetimiyle ilgili aşağıda belirtilen sorunlar tespit edilmiştir:

- Otomatik satış makinesi ağı tamamen yönetici deneyimine ve uzmanlığına bağlı olarak yönetilmekte, yönetim sırasında herhangi bir analitik yöntem ve/veya araç kullanılmamaktadır. Dağıtım personeli gün başında ziyaret edeceği otomatik satış makinelerini kendisi belirlemekte, dağıtım rotasını da kendisi oluşturmaktadır.
- Farklı bölgelerde yer alan otomatik satış makinelerine ürün beslemesini gerçekleştiren personel kendi deneyimine bağlı günlük ziyaret planını oluşturmaktadır. Makinelere herhangi bir satış bilgisi gelmediğinden, dağıtım personeli önce aracı otomatik satış makinesinin bulunduğu binanın otoparkına park etmekte, otomatik satış makinesine yürümekte, otomatik satış makinesini inceleyerek biten ve/veya azalan ürünleri belirlemekte, araca dönüp yükleme yapılacak ürünleri hazırlamakta ve tekrar otomatik satış makinesine dönüp ürün yerleştirme işlemini gerçekleştirmektedir. Bazı sistem yöneticileri ise dağıtıcı personel dışında, belirli bölgeler için “bölge çalışanları” istihdam etmektedir. Bu kişiler gün boyunca çalıştıkları bölgedeki otomatik satış makinelerini kontrol ederek, ürün azalması/bitmesi durumunda dağıtıcı personele haber vermekte,



Şekil 1. Otomatik satış makinesi hizmet sistemi (Vending machines service system)

dağıtım personeli ilgili makineye geldiğinde ürün dolumu gerçekleştirilmektedir. Bazı otomatik satış makinelerinde ise makine yanına kapalı, kilitli stok dolapları yapılmakta, bölge sorumlusu makinelerde ürün azalması durumunda stoktan makineyi doldurmakta, dağıtıcı personel ise stok alanını doldurmaktadır. Böyle bir sistemin hem çalışan maliyeti fazladır hem de kontrol süreci daha zordur.

- Otomatik satış makinelerinin birçoğu herhangi bir çevrimiçi veri değişim sistemine sahip olmadığından makinelerde arıza bilgisi alınmamaktadır. Makinelerde arıza oluştuğunda, arıza sonrası ilk ziyarette fark edilmekte, dağıtım personelinin giderebileceği bir sorunsu onarım yapılmakta, personelin gideremeyeceği bir sorunsu teknik ekibe haber verilmektedir. Makine tekrar devreye alınana kadar satış yapılamamakta, müşterilere hizmet sunulmamaktadır.
- Ürün talebi belirsiz olduğundan makinelerin ziyaret periyodu deneyime bağlı belirlenmektedir. Deneme yanılma yöntemiyle karar verilmekte, ziyaret periyodunun yanlış belirlenmesi operasyonel maliyetlerin artmasına, karlılığın düşmesine, müşteri memnuniyet seviyesinin düşmesine ve ürün erişilebilirliğinin azalmasına neden olmaktadır.
- Otomatik satış makinelerine yerleştirilen ürünler düşük hacimli ürünler olduğundan, depoda yerleşim ya da yer bulma problemi yaşanmamakta, ancak ürün çeşitliliği fazla olduğundan çeşit bazında ürün yönetimi etkin bir şekilde gerçekleştirilmemektedir. Bir otomatik satış makinesinde yaklaşık 48-60 adet ürün gözü bulunmakta, farklı lokasyonlardaki müşteri profiline göre makinelere farklı ürünler yerleştirilmektedir. Bu ürünler ürün tipine göre yönetilmektedir; örneğin bisküvi grubu, çikolata grubu, tuzlu gruba Ürün sınıflandırması yapılırken herhangi bir analitik yöntem kullanılmamakta, geçmişten gelen deneyime dayanarak, örneğin bisküvi grubu ürünlerin hepsi aynı stratejiyle yönetilmektedir. Ürünlerin stok yenileme miktarları, emniyet stok miktarları gibi kavramlar bulunmamaktadır.

Berg Insight araştırma merkezinin Mart 2020'de yayınladığı rapora göre dünyada hizmet veren yaklaşık 15 milyon otomatik satış makinesi bulunurken, 2019 yılı itibarıyla bu makinelerin sadece 4.2 milyon tanesi çevrimiçi veri yönetim sistemine sahiptir [5]. Otomatik satış sistemi kuruluşlarının müşteri memnuniyetini düşürmeden operasyonel ve çalışan maliyetlerini azaltmak istemesi nedeniyle yıllık %16,3 bileşik büyüme oranı ile 2024 yılı itibarıyla 8.9 milyon adet otomatik satış makinesinin veri yönetim sistemine sahip olacağı tahmin edilmektedir [5]. En yaygın perakende iş formlarından biri olarak tanımlanan otomatik satış sistemleri, daha fazla insanın bu sektöre katılmasını ve konu ile ilgili daha fazla araştırma yapılmasını gerektirmektedir [6].

Bu çalışmanın amacı otomatik satış sistemi yöneticileri için operasyonel maliyetleri ve kayıp satışları azaltmak, çalışan ve operasyon etkinliğini, müşteri hizmet seviyesini ve ürün bulunabilirliğini arttırmak için stok yönetimi ve dağıtım planlama konularında sistem yöneticisine yardımcı olacak bir sistem geliştirmektir. Çalışmanın amacı ve yukarıda bahsedilen problemler neticesinde çalışmada envanter ve dağıtım yönetim modelleri oluşturulmuştur. Envanter yönetim modeli kapsamında, depodaki ürünlerin envanter yönetimini gerçekleştirmek için depoda yer alan ürünlerin sınıflandırılmasını sağlayan çok kriterli ürün sınıflama sistemi oluşturulmuştur. Böylece ürünler sınıflandırılıp farklı stok yönetim stratejileri ile yönetilebilecektir. Stok yönetiminde önemli bir konu benzer ürünleri gruplayarak bu ürünler için ortak yönetim stratejisi geliştirmektir. Bu çalışmada da benzer ürünler k-ortalamlar, hibrit ve hiyerarşik kümeleme yöntemleriyle gruplara ayrılmış ve her bir ürün grubu için ortak bir envanter yönetim stratejisi önerilmiştir. Dağıtım yönetim modeli kapsamında, otomatik satış makinesi operatörlerinin günlük ziyaret rotasını, makinelerdeki para miktarı, ürün miktarı, arıza bilgisi ve sağlıklı ürün sinyallerine göre belirleyen

dağıtım modeli geliştirilmiştir. Böylece dağıtım aracı sinyal gelmeyen makinelere gereksiz yere uğramayacak ve maliyet tasarrufu sağlanacaktır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde konu ile ilgili literatür araştırması, üçüncü bölümünde uygulamada kullanılan yöntemler, dördüncü bölümünde geliştirilen modeller ve deneysel sonuçlar yer almaktadır. Beşinci bölümde ise çalışma ile ilgili sonuçlar ve kazanımlar açıklanmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Research)

Envanter kalemlerinin sayısı büyük olduğunda yönetim zorlaşır. Bu nedenle, etkin bir envanter yönetimi sağlamak için, süreci basitleştirmek adına ürünlerin gruplandırılması çoğu zaman gereklidir. Aynı gruptaki öğeler benzer özelliklere sahipse, yönetim etkin hale gelir [7]. ABC analizi ürün sınıflandırması için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Genellikle ürünlerin ekonomik değerleri veya satış miktarları dikkate alınarak sınıflandırma yapılmaktadır. Ancak tek bir kriterle bağlı olarak yapılan bu sınıflandırma kritik ürünlerin belirlenmesinde faydalı olmamaktadır. O nedenle çok kriterli sınıflandırma yöntemleri son yıllarda hem literatürde hem de endüstride ilgi çeken bir konu olmaktadır. Envanter birimlerinin etkin bir şekilde kontrol edilmesi ve bunlara uygun sipariş politikalarının belirlenmesi için en yaygın üretim ve stok kontrol tekniklerinden biri olan çok kriterli ABC sınıflandırması kullanılmaktadır. Bu sınıflandırmada, ürünlerin parasal değerlerinin yanı sıra farklı kriterler de dikkate alınmakta ve envanter birimleri, önceliklerine göre farklı sipariş politikaları ile sınıflara ayrılmaktadır [8]. Ferraira vd. [9], envanter yönetimi için envanter birimlerini üç sınıfa ayırırken kritiklik, talep, birim fiyat, teslim zamanı ve potansiyel tedarikçi sayısı kriterlerini değerlendirmişlerdir. Özdemir ve Özveri [10], yaptıkları çalışmada envanter birimlerine ABC sınıflandırması uygularken fiyat, talep, teslim zamanı, ikame olanakları ve kritiklik kriterlerini göz önüne almışlardır. Lolli ve vd. [7], yaptıkları çalışmada k-ortalamlar algoritmasına ve Analitik Hiyerarşi Prosesine (AHP) dayanan hibrit çok kriterli envanter kontrol (ÇKEK) yöntemi önermiştir. Ishizaka vd. [11], ABC envanter sınıflandırma problemini ele alıp Veri Zarflama Analizi'nin (Data Envelopment Analysis-DEA) bir uzantısı olan DEASort yöntemini önermişlerdir. Kümeleme algoritmaları arasında en çok kullanılan klasik yöntemlerden biri olan k-ortalamlar algoritması Mac Queen tarafından geliştirilmiştir. k-ortalamlar, kümelemenin gözetimsiz öğrenme fonksiyonunu yerine getirmenin yanı sıra oldukça fazla kullanılmaktadır [12]. Dündar [13], farklı işletmelerin coğrafi koordinatlarını belirleyerek, k-ortalamlar yöntemi ile bu işletmeleri, kümelere ayırmıştır. Noor ve Shuib [14], envanter dağıtım problemi için hiyerarşik kümeleme yöntemini kullanmışlardır. Hiyerarşik kümeleme yöntemleri, başlangıçta tüm verilerin tek bir küme olarak kabul edilmesi ve daha sonra bu kümenin kademeli bir şekilde alt kümelere ayrılması veya başlangıçta her biri ayrı birer küme olarak ele alınan verilerin kademeli olarak küme şeklinde birleştirilmesi mantığına dayanır. Hibrit kümeleme yöntemleri ise, farklı kümeleme yöntemlerinin üstün oldukları taraflarının kullanılıp eksik oldukları taraflarının bertaraf edilebileceği en az iki kümeleme yönteminin birlikte kullanılmasıdır [15]. Literatürde incelenen çalışmalarda, envanter sınıflandırma problemi için kullanılan kriterler ve yöntemler Tablo 1'de özetlenmiştir:

Araç rotalama problemi (ARP) ile ilgili literatürde ilk çalışmalar Dantzig ve Ramser [16] ve Clarke ve Wright [17] tarafından yapılmıştır. Araç rotalama problemi genel olarak, depodan yola çıkan aracın tüm müşterilere en kısa zamanda ve en az maliyetle hizmet götürmesine olanak sağlayan en uygun rotasının oluşturulmasıdır. Bir araç rotalama probleminin çözümün oluşturulması için başlangıçta optimize edilecek olan problemin amaç fonksiyonu, müşterilerin

Tablo 1. Literatürde incelenen envanter sınıflandırma kriterleri ve yöntemleri
(Inventory classification criteria and methods reviewed in the literature)

Envanter Sınıflandırma Kriterleri	Envanter Sınıflandırma Yöntemleri
Kritiklik [9, 10]	k-ortalamlar + AHP [7]
Talep [9,10]	ABC Analizi [10]
Fiyat [9,10]	ABC Analizi + Veri Zarflama Analizi [11]
Teslim zamanı [9,10]	Hiyerarşik Kümeleme [14]
Tedarikçi sayısı [9]	Hibrit Kümeleme [15]

talepleri, müşterilerin birbirleriyle ve depo arasındaki mesafeleri ve kullanılacak araç sayısı ile bu araçların kapasiteleri bilinmelidir. Literatürde kapasite kısıtlı ARP [18-20], zaman pencereli ARP [21-22], eş zamanlı topla dağıt ARP [23-25], önce dağıt sonra topla ARP [26], ayırık yüklemeli ve zaman pencereli ARP [27], geri toplamalı ARP [28], periyodik ARP [29] gibi farklı türleri bulunmaktadır. ARP'nin çözümü için literatürde kesin çözüm yöntemleri, klasik sezgiseller ve meta sezgiseller ana başlığında farklı yöntemler bulunmaktadır. Kesin çözüm yöntemleri ile optimal çözüm sağlanırken, klasik ve meta sezgisel yöntemler ile optimuma yakın çözümler kısa sürede elde edilebilmektedir [27, 30]. Literatürde kesin çözüm yöntemlerinden kesme düzlemi [31], dal-sınır algoritması [32] ve dinamik programlama [33] farklı türlerdeki ARP için uygulanabilmektedir. En yakın komşu algoritması [34, 35], tabu arama [36], tavlama benzetimi [20, 37], genetik algoritmalar [38], karınca kolonisi [39], yapay arı kolonisi [40], parçacık sürü optimizasyonu [41] gibi sezgisel çözüm yöntemleri de farklı ARP çözümünde tercih edilmektedir.

Rusdiansyah ve Tsao [42] zaman pencereli periyodik ARP otomatik satış makineleri dağıtım planlama modeli için uygulamış, ulaşım maliyetlerinde önemli kazanım sağlamıştır. Park ve Yoon [43], otomatik satış sistemlerinin yönetimi için iki aşamalı bir çözüm geliştirmişlerdir. Çözüm, bütünlük optimizasyon matematiksel modeli üzerine geliştirilmiştir. İlk aşamada, satış makineleri için makine gözlerine tahsisat ve yeniden doldurma aralıkları belirlenmiştir. İkinci aşamada, satış makinelerini yenilemek için araç rotaları belirlenmiştir. Park ve Yoo [44], otomatik satış sistemlerinin yönetimi için ayrıştırma yaklaşımı temelinde bir sezgisel önermişlerdir. Sistemdeki her bir akıllı otomatik satış makinesi için ürün saklama bölmeleri sayısını ve yenileme eşiğini belirlemek için bir tam sayılı doğrusal matematiksel model oluşturmuş ve aynı dağıtım gününü paylaşan akıllı otomatik satış makinelerinin stok yenilemelerini yapmak için Clarke ve Wright [17]'in kazanım algoritmasını kullanarak araç rotalarını belirlemişlerdir. Wang ve Yao [45] otomatik satış makine lokasyonlarını müşteri tercih benzerliklerine göre belirleyen doğrusal programlama tabanlı model geliştirmişler, çözümde genetik algoritma kullanmışlardır. Geliştirilen modelde müşteri tercih benzerliklerine göre alternatif lokasyonlar k-ortalamlar yöntemi ile kümelenecek, makinenin servis dışı kalması durumunda benzer özellikteki makinenin aynı müşteri grubuna hizmet sağlayacağı belirtilmiştir. Grzybowska vd. [2], otomatik satış makineleri endüstrisinin perakende sektörüne etkisinin büyük olmasına rağmen, lojistik faaliyetlerinin modellenmesi zor olduğundan literatürde sektör ile ilgili yeterli çalışma bulunmadığını belirtmişlerdir. Kirkpatrick [46] artan çalışan maliyetleri nedeniyle, otomatik satış makineleri endüstrisinin operasyonel maliyetleri azaltmak için analitik çözümlere ihtiyaç duyduğunu belirtmiştir.

Bu çalışmada literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak, otomatik satış makineleri için, envanter ve dağıtım yönetim modellerini içeren bir sistem geliştirilmiştir. Envanter yönetim modeli için literatürde yer alan envanter sınıflama çalışmalarından farklı olarak, otomatik satış makinesi sektörüne uygun kriterler belirlenerek, depoda bulunan ürünler bu kriterler kullanılarak farklı kümeleme algoritmaları ile sınıflandırılmış, belirlenen sınıflara göre envanter

yönetim stratejisi önerilmiştir. Dağıtım modeli için literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak, makinelerdeki para miktarı, ürün miktarı, arıza bilgisi ve sağlıklı ürün sinyalleri tanımlanarak, dağıtım rotası makinelerden gelen sinyallere göre hem optimal çözüm veren matematiksel model ile hem de en yakın komşu algoritmasına dayalı sezgisel model ile oluşturulmuştur.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışma kapsamında etkili bir otomatik satış makinesi ağı yönetimi için bir yönetim sistemi oluşturulmuştur. Yönetim sisteminin oluşturulmasında depo ve dağıtım yönetimi ayrı ayrı ele alınmış, yapılan çalışmalar iki ana başlıkta incelenmiştir:

1. Etkili bir envanter yönetimi yapılabilmesi için otomatik satış makine yönetim deposundaki envanter kalemleri için çok kriterli ABC sınıflandırmasına dayalı envanter kümeleme yapılmıştır. Belirlenen her bir küme için ekonomik sipariş miktarları ve emniyet stoğu miktarları önerilmiştir.
2. Otomatik satış makinelerine hizmet veren personelin günlük makine ziyaretini planlayan araç rotası oluşturulmuştur. Bunun için ilk olarak matematiksel model oluşturulmuştur. Oluşturulan matematiksel model ele alınan problemi çözmeye yeterli olmadığından araç rotama problemi için en yakın komşu algoritmasına dayanan sezgisel algoritma oluşturulmuştur.

3.1. Envanter Sınıflandırma ve Yönetimi (Inventory Classification and Management)

Perakende işletmeleri hizmet istikrarı sağlamak için uygun miktarda ürünü elinde bulundurup tüketici ihtiyaçlarına cevap vermektedirler. Bu çalışmada otomatik satış makinelerinin yönetim deposunda bulunan ürünleri kümelere ayırmak için uzman görüşlerine dayanılarak ve literatürde de sıklıkla kullanılan aylık satış miktarı, tedarik süresi, birim fiyat, sezon kriterleri ele alınmıştır. Kriter ağırlıkları eşit olarak kabul edilmiştir. Ürünler gruplandırılarak literatürde sıkça kullanılan k-ortalamlar algoritması, hiyerarşik kümeleme ve hibrit kümeleme yöntemleri kullanılmıştır. k-ortalamlar algoritması, uzun yıllardır sıkça kullanılan kümeleme yöntemlerinden biridir. k-ortalamlar algoritması küme merkezi ile küme elemanları arasındaki uzaklık ölçütünü minimize etmeyi amaçlayan iteratif bir algoritmadır. k-ortalamlar algoritmasında ilk olarak küme sayısının (k) belirlenmesi gerekmektedir. k değeri doğru olarak belirlenmediğinde yanlış sonuçlar elde edilebilir. Literatürde k değerinin doğru belirlenmesi için farklı yöntemler kullanılmış olsa da, Elbow yöntemi ve Silhouette indeks değeri doğru k değerinin hesaplanmasında en çok tercih edilen yöntemlerdir [13, 47]. Hiyerarşik kümeleme yöntemleri uygulanırken küme sayısı önceden bilinmemektedir. Belirlenen kriterlere göre birbirine en çok benzeyen nesnelere aynı kümenin içinde yer alır. Kümeleme işlemi, veri kümesi içindeki son eleman kendisine en çok benzeyen kümeyle atanınca son bulur. Hiyerarşik kümeleme yönteminde birbirine benzeyen elemanların birleştirilme mantığının anlaşılabilmesi için dendogramdan faydalanılmaktadır. Hibrit kümeleme yönteminde hiyerarşik algoritmanın kümeleme sonucunu k-ortalamlar algoritmasının başlangıç küme merkezleri olarak alan hibrit algoritma

uygulanmıştır. Çalışmada k-ortalamalar algoritması, hiyerarşik kümeleme ve hibrit kümeleme olmak üzere üç kümeleme yöntemine göre ürünler gruplandırıldıktan sonra her bir ürün grubuna ait envanter yönetim stratejisini belirlemek için ekonomik sipariş miktarı (ESM) ve emniyet stoğu (ES) değerleri belirlenmiştir. Ekonomik sipariş miktarı belirlenirken Eş. 1 kullanılmıştır [48]:

$$ESM = \sqrt{\frac{2C_0D}{C_1U}} \quad (1)$$

Eş. 1'de; ESM ekonomik sipariş miktarını, C_0 sipariş maliyetini, C_1 elde bulundurma maliyetini, D talebi (satışı), U ise her birimin maliyetini ifade etmektedir.

Emniyet stoğunu (ES) hesaplamak için Eş. 2 kullanılmıştır. Eş. 2'de z istenilen hizmet düzeyine karşılık normal dağılım tablosundan alınan değeri, σ_d birim zamanda gerçekleşen talebin standart sapmasını, L ise ortalama tedarik süresini (birim zamanlı) göstermektedir. Tedarik süresi sabit, talep ise değişkendir [49].

$$ES = z * \sigma_d * \sqrt{L} \quad (2)$$

3.2. Dağıtım Yönetimi (Distribution Management)

Otomatik satış makinesi operatörlerinin dağıtım rotalarını belirlemek amacıyla ele alınan problemde günlük makine ziyaretlerini yapacak olan aracın para miktarı, ürün miktarı, arıza bilgisi ve sağlıklı ürün sinyallerinin geldiği makineleri ziyaret etmesi amaçlanmaktadır. Böylece araç sinyal olmayan makinelere gereksiz yere uğramayacak ve maliyet tasarrufu sağlanacaktır. Otomatik satış makinelerinden ilgili sinyalin gelmesi için makinelere özel elektronik kartlar takılmaktadır. Yeni nesil bazı makineler bu teknoloji mevcut sisteme gömülü olacak şekilde üretilmektedir. Bu kapsamda oluşturulan dağıtım planlama matematiksel modeli aşağıda açıklanmıştır. Modelde i ve j indisleri ziyaret edilecek otomatik satış makinelerini v indisi dağıtım aracını ifade etmektedir.

Parametreler:

- n = Toplam otomatik satış makinesi sayısı
- v = Araç sayısı
- q_i = i . satış makinesinin talebi ($i=0,1,\dots,n$)
- c_{ij} = i . satış makinesi ile j . satış makinesi arasındaki uzaklık ($i,j=0,1,\dots,n$)
- d_{ij} = i . satış makinesinden j . satış makinesine gidiş süresi ($i,j=0,1,\dots,n$)
- Q_v = v aracının çalışabileceği günlük mesai süresi
- s_i = $\begin{cases} 1, & i \text{ satış makinesinde herhangi bir sinyal varsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$

Karar Değişkenleri:

- X_{ijv} = $\begin{cases} 1, & v \text{ aracı } i. \text{ satış makinesinden } j. \text{ satış makinesine gidiyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$
- u_i = alt tur oluşmasını engelleyen değişken

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Minimize } \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^V c_{ij} X_{ijv} \quad (3)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n x_{0jv} = 1 \quad (v = 1, 2, \dots, V) \quad (4)$$

$$\sum_{s_i=1}^n x_{i0v} = 1 \quad (v = 1, 2, \dots, V) \quad (5)$$

$$\sum_{i \neq k}^n X_{ikv} - \sum_{j \neq k}^n X_{k j v} = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, n; v = 1, 2, \dots, V; s_i = 1) \quad (6)$$

$$\sum_{i \neq j}^n \sum_{v=1}^V x_{ijv} = 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n; s_j = 1) \quad (7)$$

$$\sum_{j \neq i}^n \sum_{v=1}^V x_{ijv} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n; s_i = 1) \quad (8)$$

$$u_i - u_j + n x_{ijv} \leq n - 1 \quad \left(\begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n; v = 1, 2, \dots, V; \\ i \neq j; s_i = 1; s_j = 1 \end{array} \right) \quad (9)$$

$$u_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n; s_j = 1) \quad (10)$$

$$\sum_{i \neq j}^n \sum_{s_i=1}^n \sum_{s_j=1}^n X_{ijv} * q_i + \sum_{i \neq j}^n \sum_{j \neq i}^n X_{ijv} * d_{ij} \leq Q_v \quad (v = 1, 2, \dots, V) \quad (11)$$

Eş. 3 ile gösterilen amaç fonksiyonu sinyal gelen makinelere dağıtım yapılırken araçlar tarafından kat edilecek toplam mesafeyi minimize etmeye çalışmaktadır. Eş. 4 her aracın depodan hareket etmesini, Eş. 5 her aracın depoya dönmelerini sağlamaktadır. Eş. 6 sinyal gelen bir satış makinesine giren aracın o satış makinesinden çıkarak sinyal gelen başka bir satış makinesine gitmesini sağlamaktadır. Eğer araç k satış makinesine gittiyse, k satış makinesinden de mutlaka bir j satış makinesine gitmelidir. Eş. 7 ve Eş. 8 depo hariç her satış makinesinin bir araçla yalnızca bir defa ziyaret edilmesini sağlamaktadırlar. Eş. 9 ve Eş. 10 alt tur oluşumunu engellemektedirler. Eş. 11 kapasite kısıtı olup ele alınan problem için her bir aracın dağıtım rotasının çalışma süresini aşmamasını sağlamaktadır.

Oluşturulan matematiksel model otomatik satış makinesi sayısı 26'dan fazla olduğu durum için optimum sonucu vermediğinden, dağıtım rotalarının belirlenmesi için en yakın komşu algoritmasına dayalı sezgisel araç rotalama algoritması oluşturulmuştur. En yakın komşu algoritması rota oluşturmaya depodan veya rastgele seçilen bir düğümden başlar. Seçilen düğümün uzaklık matrisindeki satırı taranarak en yakın komşusu seçilir ve düğüm rotaya eklenir. Tüm düğümler rotaya eklenene kadar en yakın komşu ekleme işlemi tekrarlanır. Algoritma en son rotaya eklenen şehirden depoya olan mesafenin de maliyet değerine eklenmesiyle son bulur. Yöntem tek bir rota üzerinden hareket edilen seri ve aynı anda birden fazla rota üzerinden hareket edilen paralel olmak üzere iki gruba ayrılır. Karmaşıklık düzeyi $Q(n^2)$ olan yöntemde rotaya eklenen son düğümlerin toplam maliyet üzerindeki etkileri çok yüksek olabilmektedir [50]. Peya vd. [51], yaptıkları çalışmada kapasite kısıtlı araç rotalama için farklı algoritmaları kullanarak denemeler yapmışlardır ve kullandıkları algoritmalarından biri de en yakın komşu algoritmasıdır. En yakın komşu algoritması için bir uygulamada depoya en yakın birimden, diğer bir uygulamada ise depoya en uzak birimden başlanarak rota oluşturulmuştur.

Gün içinde makinelere ziyaret gerçekleştirecek olan aracın sadece sinyal gelen makinelere uğramasını sağlayan dağıtım planlama algoritmasının (DPA) adımları aşağıda açıklanmıştır. DPA'da Süre $[k]$, k aracının harcadığı toplam süreyi; Süre $[m]$, m . satış makinesine gidiş süresini; Servis süresi $[m]$, m . satış makinesinde harcanan servis süresini; Mesai süresi $[k]$, k aracı için tanımlanmış mesai süresini; Sinyal $[m]$, m . satış makinesindeki para miktarı, ürün miktarı, arıza bilgisi ya da sağlıklı ürün sinyallerinin bulunmasını ifade etmektedir.

DPA adımları

Depodan başlayan yeni bir rota oluştur $r_k, k:=0, i=0$

1. Eğer $k>$ Araç Sayısı
O Halde, 7.adıma git
2. Atanmamış ve Sinyal[m]=1 olan müşteriler için i . noda en yakın müşteriyi seç
3. Eğer $Süre[k] + Süre[m] + Servis Süresi[m] + Depoya Dönüş Süresi[m] < Mesai Süresi[k]$
O Halde, i. müşteriyi r_k rotasına ekle, atanmamış müşteri kümesinden çıkar ve
 $Süre[k] = Süre[k] + Süre[m] + Servis Süresi[m]$
Diğer durumda, 5.adıma git
4. Eğer Atanmamış ve Sinyal [m]=1 müşteri kümesi eleman sayısı > 0 ,
O Halde, 2. Adıma git
Diğer durumda, 5. Adıma git
5. $Süre[k] = Süre[k] + Depoya Dönüş Süresi[m]$
6. $k=k+1, 1.$ Adıma git
7. Bitir

Otomatik satış makineleri yöneticileri ile yapılan görüşmeler sonucunda, makinelerdeki arıza bilgisi sinyalinin diğer sinyal bilgilerine göre daha büyük önem teşkil ettiği belirlenmiştir; çünkü arıza durumundaki makine hizmet verememektedir. Dolayısıyla arızasına erken müdahale edilmeyen makine uzun süre hizmet veremeyecek ve firma için zarara yol açacaktır. Bu sebepten dolayı arıza bilgisi sinyali, para miktarı, ürün miktarı ve sağlıklı ürün sinyallerine göre önceliklidir. Arıza bilgisi sinyali, otomatik satış makinesi yönetimini gerçekleştiren işletmeler için daha kritik olduğundan oluşturulan DPA arıza bilgisi sinyali önceliklendirilerek geliştirilmiştir. Arıza bilgisi sinyali öncelikli olduğu durum için oluşturulan arıza sinyali öncelikli dağıtım planlama algoritması (ASÖ_DPA) adımları aşağıda açıklanmıştır.

ASÖ_DPA adımları

Depodan başlayan yeni bir rota oluştur $r_k, k:=0, i=0$

1. Eğer $k>$ Araç Sayısı
O Halde, 10.adıma git
2. Atanmamış ve AB[m]=1 olan müşteriler için i . noda en yakın müşteriyi seç
3. Eğer $Süre[k] + Süre[m] + Servis Süresi[m] + Depoya Dönüş Süresi[m] < Mesai Süresi[k]$,
O Halde, i. müşteriyi r_k rotasına ekle, atanmamış müşteri kümesinden çıkar ve
 $Süre[k] = Süre[k] + Süre[m] + Servis Süresi[m]$
Diğer durumda, 8.adıma git
4. Eğer Atanmamış ve AB[m]=1 müşteri kümesi eleman sayısı > 0 ,
O Halde, 2. Adıma git
Diğer durumda, 5. Adıma git
5. Atanmamış ve Sinyal[m]=1 olan müşteriler için i . noda en yakın müşteriyi seç
6. Eğer $Süre[k] + Süre[m] + Servis Süresi[m] + Depoya Dönüş Süresi[m] < Mesai Süresi[k]$,
O Halde, i. müşteriyi r_k rotasına ekle, atanmamış müşteri kümesinden çıkar ve
 $Süre[k] = Süre[k] + Süre[m] + Servis Süresi[m]$
Diğer durumda, 8.adıma git
7. Eğer Atanmamış ve Sinyal [m]=1 müşteri kümesi eleman sayısı > 0 ,
O Halde, 5. Adıma git
Diğer durumda, 8. Adıma git
8. $Süre[k] = Süre[k] + Depoya Dönüş Süresi[m]$
9. $k=k+1, 1.$ Adıma git
10. Bitir

**4. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma
(Computational Results and Discussion)**

Bu çalışmada otomatik satış makineleri için makinelere ürün beslemesi yapan depodaki envanter yönetimini sağlamak amacıyla çok kriterli envanter sınıflandırma yapılmıştır. Aylık satış miktarı, tedarik süresi, birim fiyat ve sezon bilgilerine sahip olan envanter kalemleri kümelenecek her küme için ayrı envanter yönetim stratejisi oluşturulmuştur. Böylece ürünlerin tek tek envanter kontrolünün yapılması yerine benzer ürünlerden oluşan küme için ortak bir envanter kontrolünün yapılması sağlanmıştır. Envanter kalemleri için kümeleme işlemi yapılırken k-ortalama algoritması, hiyerarşik kümeleme ve hibrit kümeleme yöntemi kullanılmıştır. Belirlenen kümeler için ESM ve ES seviyeleri hesaplanmıştır. Her bir yonteme ait sonuçlar değerlendirilmiştir. İkinci aşamada ise otomatik satış makinelerine ürün yükleme ve boşaltma yapan, arıza durumuyla ilgilenen ve kasadaki parayı toplayan personelin günlük makine ziyaretini planlamak için araç rotalama problemi üzerine çalışılmıştır. Para miktarı, ürün miktarı, arıza bilgisi, sağlıklı ürün (son tüketim tarihini tamamlamış ürünler) kriterlerine ait sinyallerin bulunduğu bir sisteme göre en uygun dağıtım rotası planlama aracı oluşturulmuştur. Geliştirilen tüm modeller Marmara Bölgesi'nde hizmet veren 30 farklı lokasyonda yaklaşık 100 otomatik satış makinesi bulunan bir otomatik satış makinesi yönetim firmasına uygulanmıştır.

**4.1. Envanter Sınıflandırma ve Yönetimi Modeli
(Inventory Classification and Management Model)**

Envanter birimlerinin sayısı fazla olduğunda tedarığının, depolanmasının yönetimi güçleşmektedir. Envanter birimlerini etkin bir şekilde yönetebilmek adına ürünlerin gruplandırılması yönetim sürecini kolaylaştıracaktır. Böylece her bir envanter kalemi için ayrı ayrı envanter yönetim stratejisi belirlemek yerine benzer kriterlere sahip envanter kalemleri için ortak envanter yönetim stratejisi uygulanmış olacaktır. Otomatik satış makinelerine ürün tedarığını sağlayan depo için çok kriterli ABC sınıflandırmasına dayalı envanter sınıflandırma için R paket programı kullanılmıştır. Çalışmada otomatik satış makinelerinin yönetimini gerçekleştiren firmanın ürünleri ele alınmıştır. Firmadan ürünlere ait aylık satış miktarı, tedarik süresi, birim fiyat ve sezon bilgileri gibi envanter yönetimi için değerlendirilen kriterlere ait bilgiler elde edilmiştir. İncelenen ürünlerin aylık satış miktarları [15 - 6400] aralığında farklı değerler almakta, tedarik süreleri [10 - 21] gün olmakta, birim fiyatlar ise [1,25 - 18,50] TL aralığında değer almaktadır. Sezon kriteri yaz ve kış dönemi olmak üzere ikili değişken gibi incelenmiştir.

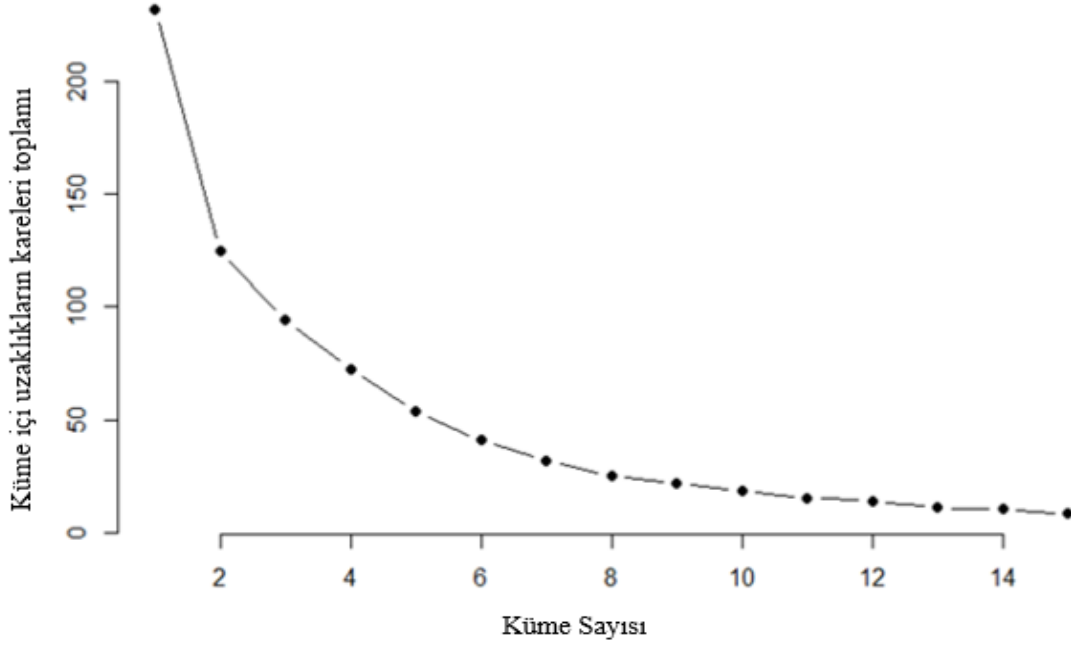
Kümeleme yapılırken küme sayısının belirlenebilmesi için literatürde sıkça kullanılan Elbow yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında uygun küme sayısının belirlenmesi için R programının "factoextra" paketi kullanılarak öncelikle Elbow yöntemi uygulanmıştır. Şekil 2'de Elbow yöntemi uygulandıktan sonra küme sayısı ile kümeler içi kareler toplamı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik yer almaktadır. Başarılı bir kümeleme uygulamasında kümeler içi kareler toplamının düşük olması beklenmektedir. Şekil 2'ye göre $k=2$ noktasına kadar kümeler içi kareler toplamında önemli bir düşüş görülmekte, bu noktaldan sonra ise düşüş miktarı azalmaktadır, bu nedenle veri setini iki kümeye ayırmanın uygun olduğu belirlenmiştir.

Şekil 2 incelendiğinde, küme içi kareler toplamı değerindeki azalmanın doğru yorumlanmaması durumunda doğru küme sayısının belirlenmesinde zorluk yaşanabilir. Elbow yöntemi küme sayısının belirlenmesindeki öznellikten dolayı her zaman doğru sonuç vermeyebilir, bu nedenle daha düz bir eğrinin olduğu, k değerini belirlemenin belirsiz olduğunda optimal k sayısını belirlemek için Silhouette indeksi gibi farklı yöntemler denenebilir. Bu sebeple optimal küme sayısını belirlemek için literatürde de sıklıkla kullanılan

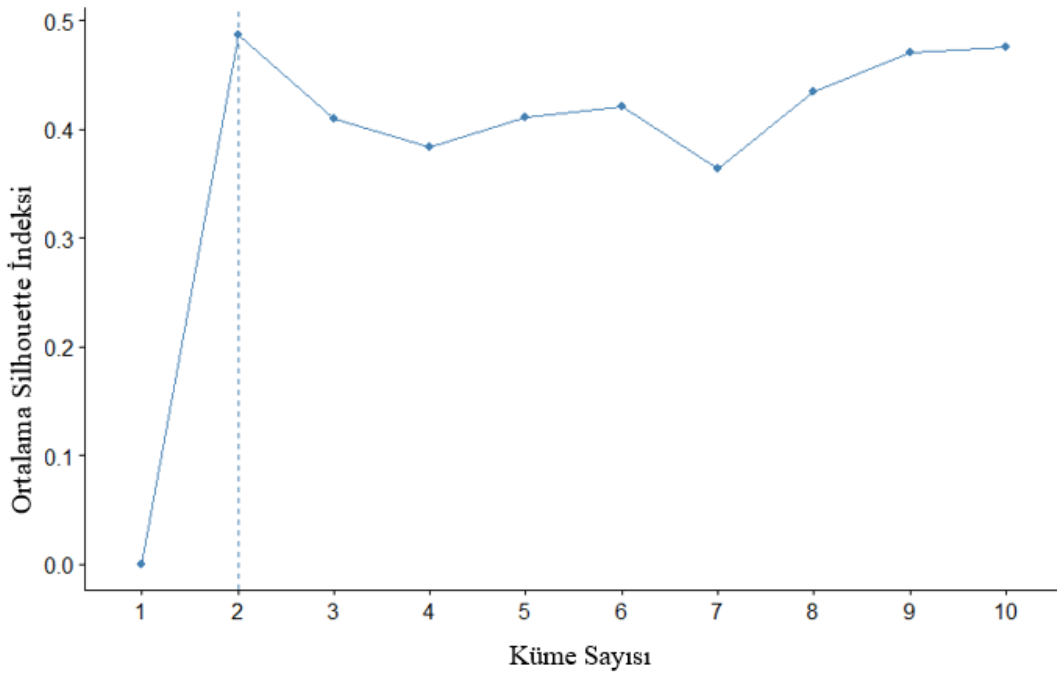
Silhouette indeksi kullanılmıştır. Silhouette indeksine göre elde edilen grafik Şekil 3’de verilmiştir. Hesaplama sonucunda Silhouette indeksi 0,49 olarak bulunmuştur. Bu değer $[-1,+1]$ aralığında bulunduğu için optimal küme sayısı iki olarak belirlenmiştir. Küme sayısı belirlendikten sonra ürünler hiyerarşik kümeleme, k-ortalamalar ve hibrit kümeleme yöntemleri olmak üzere üç farklı kümeleme yöntemine göre kümelendirilmiştir. Hibrit kümeleme yöntemi k-ortalamalar ve hiyerarşik kümelemenin bir arada kullanılmasından oluşmaktadır. Bu yüzden veri setine ilk olarak k-ortalamalar algoritması uygulanarak küme sayıları bulunmuş, hiyerarşik

kümeleme ile küme merkezleri bulunmuş ve hiyerarşik kümelemeden elde edilen küme merkezleri k-ortalamalar algoritmasında kullanılarak hibrit bir kümeleme yöntemi gerçekleştirilmiştir. Farklı kümeleme yöntemlerine göre hesaplanan ESM ve %90 hizmet düzeyine göre hesaplanan ES değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Üç farklı kümeleme yöntemi için analiz edilen ürünlerin %67,80’i Küme_1’de, %32,20’si Küme_2’de yer almaktadır.

Firma yetkilisiyle yapılan görüşme sonucunda, ürünler iki kümeye ayrıldığında ürünlerin yaklaşık %68’i tek kümede toplanmış



Şekil 2. Elbow yöntemine göre küme sayısının belirlenmesi (Determination of cluster number using Elbow method)



Şekil 3. Silhouette indeksine göre küme sayısının belirlenmesi (Determination of cluster number using Silhouette index)

olduğundan küme içindeki ürün çeşitliliği yüksek olmaktadır. Bu durumun envanter yönetiminde istenen esnekliği sağlayamayacağı düşünülmüş ve mevcut envanter kalemlerini üç gruba ayırmanın daha uygun olacağı belirtilmiştir. Bu nedenle küme sayısı üç olarak tekrar belirlenmiş ve farklı kümeleme yöntemlerine göre hesaplanan ESM ve %90 hizmet düzeyine göre hesaplanan ES değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'de elde edilen sonuçlar firma yetkilisi ile paylaşıldığında özellikle k-ortalamar kümeleme yönteminin kümeler arasındaki ürün çeşitliliği dengesi düşünüldüğünde uygulanabilir olduğu belirtilmiştir.

4.2 Dağıtım Yönetimi Modeli (Distribution Management Model)

Bu çalışmada incelenen otomatik satış makineleri yönetim sisteminde mevcut durumda dağıtım rotalarının belirlenmesi için herhangi bir yöntem kullanılmamaktadır. Sistem dahilinde bulunan dağıtım personeli gün içindeki yapacağı ziyaret planını kendi tecrübelerine göre belirlemektedir. Personel kendi deneyimine dayanarak en çok satış yapan makineleri önceliklendirerek bir ziyaret planı oluşturmaktadır. Bu durumda makine arızası, kasadaki para miktarının dolu olduğu durum, ürünlerin tükendiği

ve raf ömrü tükenen ürünler dağıtım personeli ilgili makineyi ziyaret etmezse fark edilememektedir. Bu olumsuz durumun yaratacağı kayıpları önlemek adına makinelerdeki para miktarının dolduğu, makinede arıza meydana geldiği, makinedeki ürün/ürünlerin bittiği, sağlıklı ürünlerin raf ömrünün tükendiği durumda sinyal ileten bir sistem olduğunda dağıtım rotasının nasıl olması gerektiğine karar veren bir yönetim sisteminin oluşturulması amaçlanmıştır. Bölüm 3.2'de verilen matematiksel modelin uygulama aşamasında gerekli olan otomatik satış makineleri arasındaki uzaklık için Google Haritalar kullanılarak mesafe matrisi oluşturulmuştur. Model Mathematical Programming Language (MPL)'in Gurobi çözücüsü

yardımıyla 2,5 Ghz ve 8 GB belleğe sahip bir bilgisayarda çözdürülmüştür. Gurobi çözücüsü gerçek hayat problemleri için güçlü bir çözücü araç olarak tanımlanmakta [52], tam sayılı doğrusal programlama modellerini dal-sınır algoritması ile çözmektedir [53]. Önerilen matematiksel model 26 düğüm sayısına kadar optimal sonucu verdiğinden, gerçek problemi çözebilmek için Bölüm 3.2'de açıklanan en yakın komşu algoritmasına dayalı DPA oluşturulmuştur. Makinelerdeki arıza durumunun geç fark edilmesi ve çözüm bulunamaması otomatik satış makinelerinin yönetim sistemi için maliyet açısından fazlaca kayıp yaratmaktadır. Dolayısıyla bir otomatik satış makinesi ağı yöneticisi için arıza bilgisi sinyali diğer sinyallere (ürün miktarı, para miktarı, sağlıklı ürün) göre daha önemlidir. Arıza sinyalinin geldiği makine diğer makinelerden daha erken ziyaret edilip arızasının giderilebilmesi için, oluşturulan DPA arıza bilgisi sinyalinin öncelikli olması durumu dahil edilerek ASÖ_DPA geliştirilmiştir. ASÖ_DPA gün içinde ziyarete çıkacak araçların ilk olarak arıza bilgisi sinyali gelen makinelere uğramasını sağlamaktadır. Arızası bulunan tüm makinelere ziyaretini tamamlayan araç son ziyaret ettiği makineye en yakın bulunan ve para miktarı, ürün miktarı, sağlıklı ürün raf ömrü sinyallerinden en az birinin bulunduğu makineye gidecektir. Bahsedilen süreç bir vardiya süresi içinde ve tüm araçlar için geçerlidir. Arıza bilgisinin hiç olmadığı durumda araçlar diğer sinyallerin geldiği makinelere en yakın komşu algoritması mantığıyla uğrayacaklardır.

Algoritmaya göre bir birimde arıza bilgisi sinyalinin yanı sıra diğer sinyaller de var ise araç o birime uğradığında tüm sinyaller için gerekli hizmeti verecektir. Örneğin arıza bilgisi sinyali gelen bir makinede aynı zamanda ürün miktarının bittiğine dair bir sinyal varsa görevli o makineye gittiğinde hem arızayı giderecek hem de bitmiş ürünlerin doldurma işlemini gerçekleştirecektir. Görevlinin bu makinedeki hizmet süresi arızayı giderme süresi ve ürün doldurma işlemini yaptığı sürenin toplamı olacaktır. Tablo 4'de [1] mevcut durumda dağıtım

Tablo 2. İki kümeyle ait ESM ve ES adetleri (EOQ and SS quantities for two clusters)

	Hiyerarşik Kümeleme Yöntemi				k-ortalamar Kümeleme Yöntemi				Hibrit Kümeleme Yöntemi			
	ESM	ES Ort	Min	Max	ESM	ES Ort	Min	Max	ESM	ES Ort	Min	Max
Küme_1	292	145	15	404	329	176	22	628	329	175	22	628
Küme_2	198	132	30	416	346	132	42	219	301	131	34	225

Tablo 3. Üç kümeyle ait ESM ve ES adetleri (EOQ and SS quantities for three clusters)

	Hiyerarşik Kümeleme Yöntemi					k-ortalamar Kümeleme Yöntemi					Hibrit Kümeleme Yöntemi				
	%Miktar	ESM	ES Ort	Min	Max	%Miktar	ESM	ES Ort	Min	Max	%Miktar	ESM	ES Ort	Min	Max
Küme_1	%67,80	314	117	16	409	%50,85	313	111	16	409	%67,80	313	132	15	632
Küme_2	%6,78	1949	93	71	142	%30,51	129	56	9	142	%23,73	130	45	8	115
Küme_3	%25,42	130	46	8	115	%18,64	1476	126	61	202	%8,47	1022	85	56	142

Tablo 4. Dağıtım yönetimi için geliştirilen modellerin karşılaştırılması (Comparison of presented models for distribution management)

Lokasyon Sayısı	Dağıtım mesafesi (km)				% Fark					
	[1]	[2]	[3]	[4]	[1]&[2]	[1]&[3]	[1]&[4]	[2]&[3]	[2]&[4]	
8	52,387	28,69	28,71	29,71	45,2300	45,2000	43,2900	-0,0700	-3,5600	
10	54,223	30,02	30,04	31,04	44,6400	44,6000	42,7500	-0,0700	-3,4000	
12	54,452	30,02	30,04	31,04	44,8700	44,8300	43,0000	-0,0700	-3,4000	
14	45,211	18,729	18,779	19,139	58,5700	58,4600	57,6700	-0,2700	-2,1900	
16	45,6004	18,7164	18,7664	19,1264	58,9600	58,8500	58,0600	-0,2700	-2,1900	
18	45,5764	20,6564	20,7064	21,0664	54,6800	54,5700	53,7800	-0,2400	-1,9800	
20	44,7014	21,3164	22,9664	23,3264	52,3100	48,6200	47,8200	-7,7740	-9,4300	
22	47,3024	21,9344	23,8144	26,3414	53,6300	49,6500	44,3100	-8,5700	-20,0900	
24	48,1544	22,1474	24,0554	26,5824	54,0100	50,0500	44,8000	-8,6200	-20,0200	
26	48,8854	23,8254	26,7954	29,3224	51,2600	45,1900	40,0200	-12,4700	-23,0700	

yapılması durumunda dağıtım aracının gideceği mesafeyi, [2] bölüm 3.2’de önerilen matematiksel model sonucu elde edilen dağıtım rotasına göre dağıtım aracının gideceği mesafeyi, [3] DPA sonucu elde edilen dağıtım rotasına göre dağıtım aracının gideceği mesafeyi, [4] ASÖ_DPA sonucu elde edilen dağıtım rotasına göre dağıtım aracının gideceği mesafeyi temsil etmektedir.

Tablo 4’de “%Fark” ile gösterilen parametre mevcut durum [1] ile geliştirilen matematiksel model [2], DPA [3] ve ASÖ_DPA [4] ile hesaplanan dağıtım mesafesi arasındaki yüzde farkı temsil etmektedir. Tablo 4 incelendiğinde önerilen matematiksel model sonucunda dağıtım mesafesinde en az %44,64, DPA sonucunda en az %44,60, ASÖ_DPA sonucunda en az %40,02 iyileşme gözlemlendiği tespit edilmiştir. 26 düğüm sayısı için, matematiksel modelden elde edilen optimal sonuca göre DPA yaklaşık %12, ASÖ_DPA yaklaşık %23 daha kötü sonuç vermesine rağmen mevcut duruma göre her iki algoritmanın da yeterli iyileştirme (DPA %45,19, ASÖ_DPA %40,02) sağladığı gözlemlenmiştir. ASÖ_DPA ile elde edilen dağıtım rotasında gidilen mesafede belirli miktarda artış olsa bile, arıza olan makine daha kısa sürede çalışır duruma getirileceği için, hem kayıp satışın azaltılması hem de hizmet kalitesini bozmamak adına bu farkın kabul edilebilir olduğu belirtilmiştir. Bölüm 3.2’de açıklanan algoritma Visual Studio 2019 programında Visual Basic programlama

dili ile kodlanmıştır. Oluşturulan algoritma gün içinde ziyaret yapacak araçların, belirlenmiş mesai süresini aşmadan, sadece sinyal (para miktarı, ürün miktarı, arıza bilgisi, sağlıklı ürün) gelen makinelere uğramasını sağlamaktadır. Başlangıçta depodan çıkan araç depoya en yakın ve sinyal gelen makineye uğrar. Burada görevini tamamlayan araç bu makineye en yakın ve sinyal gelen diğer makineye gider. Mesai süresinin aşılması için algoritma bir taraftan aracın yolculuk süresini ve birimlerdeki hizmet süresini toplar. Mesai süresi veya sinyal gelen birim sayısı tükenene kadar bu döngü devam eder. Algoritmanın uygulanması için Visual Studio ortamında Şekil 4’de gösterilen ara yüz tasarlanmıştır.

Kullanıcı manuel olarak sisteme araç sayısını, günlük çalışma süresini girmektedir (Şekil 4a). Bu çalışmada bir vardiya süresi 450 dakika olarak alınmıştır. Kullanıcı araç sayısı ve günlük çalışma süresini girdikten sonra sinyal matrisi ve mesafe matrisinin bulunduğu Excel dosyalarını sırasıyla seçip algoritmayı çalıştırır. Kullanıcı algoritmanın çalışması için gerekli bilgileri girdikten sonra “Rota Oluştur” butonuna basar. Algoritma sonucunda oluşturulan dağıtım rotası ara yüzde görülür (Şekil 4b). Sonuç ekranında her bir aracın uğraması gereken makineler sırasıyla gösterilmiştir. Bunun yanında sonuç ekranında iki birim arasındaki mesafe, o birimin kaçınıcı sırada ziyaret edildiği ve aracın gittiği mesafe bilgileri de yer almaktadır.

a)

Arac Sayısını Giriniz

Mesai Süresi (dk) Giriniz

Sinyal Matrisini Seçiniz

Mesafe Matrisini Seçiniz

Rota Oluştur

Haritada Seçiniz

b)

Arac Sayısını Giriniz 2

Mesai Süresi (dk) Giriniz 450

Sinyal Matrisini Seçiniz

Mesafe Matrisini Seçiniz

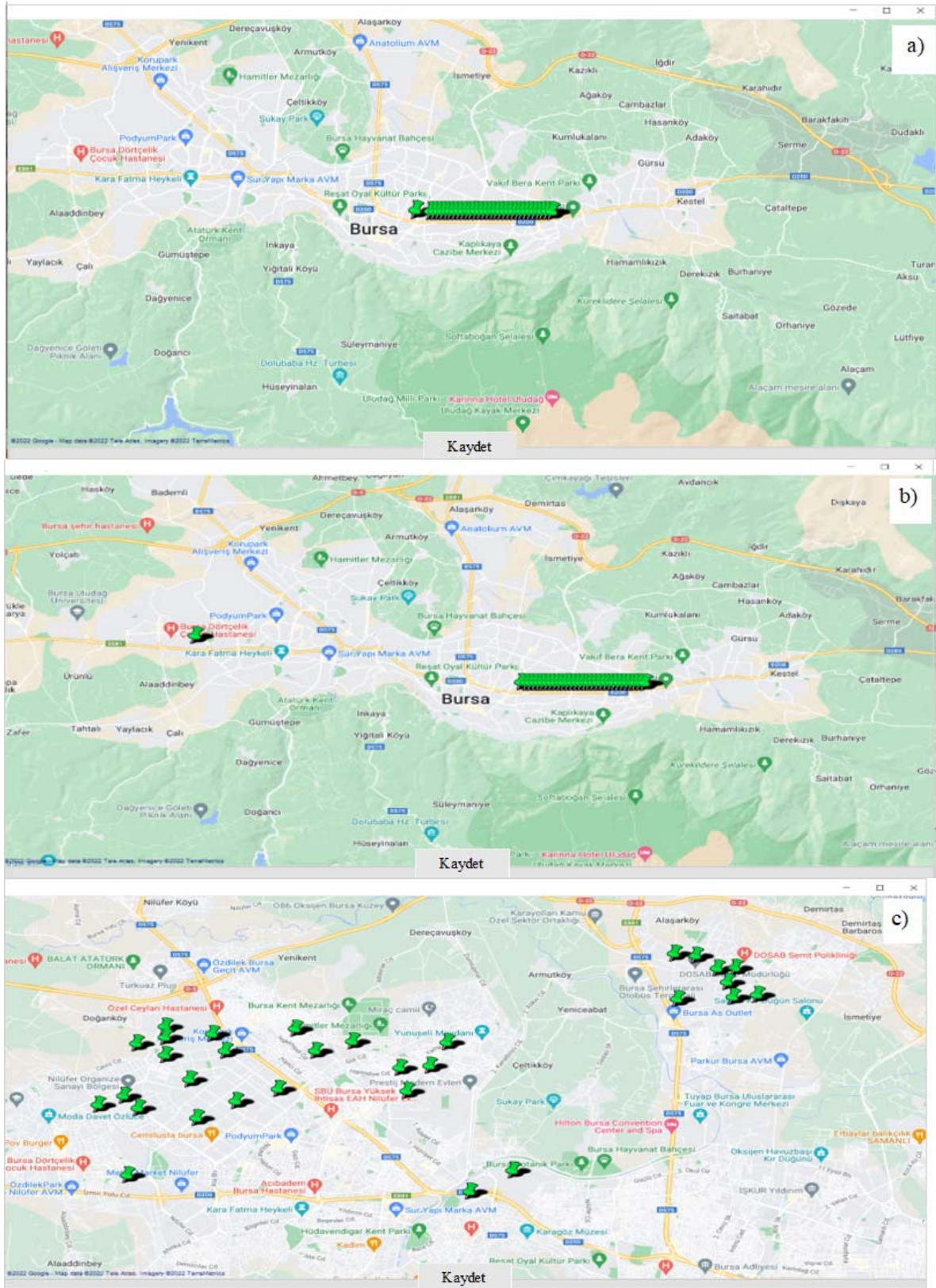
Rota Oluştur

Haritada Seçiniz

Araçların Rotaları

Araç No	Sıra	Müşteri	Uzaklık	Gidilen mesafe	Anıza Tipi
1	1	Depo	0	0	Depodan Çıkış
1	2	Müşteri_13	0.814	0.814	X
1	3	Müşteri_16	0.94	1.754	X
1	4	Müşteri_2	0.0574	1.8114	X
1	5	Müşteri_27	0.176	1.9874	X
1	6	Müşteri_20	1.19	3.1774	X
1	7	Müşteri_30	2.45	5.6274	X
1	8	Müşteri_3	0.109	5.7364	X
1	9	Müşteri_22	9.26	14.9964	X
1	10	Müşteri_1	1.28	16.2764	X

Şekil 4. a) Kullanıcı veri giriş ekranı (Input screen) b) Dağıtım planı ekranı (Output screen)



Şekil 5. a) Kullanıcı lokasyon işaretleme ekranı (User interface to label locations) b) İlk lokasyon işaretleme (Labelling of first location) c) Tüm lokasyonların işaretlenmesi (Labelling of all locations)

Mesafe matrisinin yüklenmesine alternatif olarak kullanıcı ara yüzüne “Haritada seçiniz” butonu eklenmiştir. Sisteme yeni eklenen, çıkarılan veya konumu değişen birimler olması durumunda kullanıcı mesafe matrisini bu butona bastıktan sonra oluşturabilir. Mesafe matrisinin oluşturulması için ara yüzde GMap.Net kütüphanesinden yararlanılarak birimler ve depo haritadan seçilerek mesafe matrisi arka planda oluşturulmaktadır. Böylece, kullanıcının depolar ve müşteriler arası mesafeyi tek tek hesaplama zahmetinin azaltılması amaçlanmıştır. Ek olarak, müşteri eklenip çıkarıldığında veya müşterilerin konumu değiştiğinde de kullanıcının mesafe matrisini tekrar hesaplayıp kat etmeden ulaşması ve 7/24 hizmet sağlaması gerek kalmayacaktır. Ara yüzden “Haritada seçiniz” butonuna tıkladığında her bir müşteri ve depo için Şekil 5a’da belirtilen haritada “işaretler” belirlenmektedir. Bu işaretleri haritada ilgili yere sürükleyip bırakarak konumları belirlenmektedir (Şekil 5b, Şekil 5c). Tüm birimler ve depo konumları belirlenince “Kaydet” butonuna basıldığında her ikili konumun mesafesi alınıp arka planda mesafe matrisi hesaplanmaktadır.

5. Sonuçlar (Conclusions)

Otomatik satış makineleri kolay ulaşılabilir olmaları ve geniş ürün çeşitliliğine sahip olmaları nedeniyle tüketiciler açısından son zamanlarda oldukça ilgi görür hale gelmiştir. Tüketicinin ihtiyacına uzun mesafeler kat etmeden ulaşması ve 7/24 hizmet sağlaması otomatik satış makinelerinin sağladığı en önemli avantajlar olarak tanımlanabilir. Otomatik satış makinelerine olan talep artarken otomatik satış makinelerinin yönetiminin daha etkili hale getirilmesi konusu önem kazanmıştır. Bir otomatik satış makinesi ağının yönetim sürecinde iki faktör söz konusudur. Bunlardan biri otomatik satış makinesine ürün beslemesi yapan deponun yönetimi, diğeri ise otomatik satış makinelerine ürün dağıtım ve makine bakımı yapan personelin dağıtım rotasının oluşturulmasıdır. Bu süreçlerin etkili yönetilmesi otomatik satış makinelerinin değerini daha da arttıracaktır.

Bu çalışmada otomatik satış makineleri ağını yöneten bir firma ele alınmıştır. Firmada yapılan gözlemler sonucunda depodaki envanter takibi ve dağıtım için kullanılan araçların rotasının oluşturulması için herhangi bir sistematik yaklaşımın olmadığı görülmüştür. Depodaki envanter yönetimini gerçekleştirmek adına envanter kalemlerinde çok kriterli ABC sınıflandırmasına dayalı bir yöntem geliştirilmiştir. Aylık satış miktarı, tedarik süresi, birim fiyat ve sezon kriterleri bulunan ürün gruplarının envanter yönetimini sağlamak için benzer ürünler gruplandırılmıştır. Bu gruplama işlemi için k-ortalamlar yöntemi, hiyerarşik kümeleme ve hibrit kümeleme yöntemi kullanılarak envanter kalemleri iki ve üç guruba ayrılmıştır. Her bir ürün grubu için ekonomik sipariş miktarları ile emniyet stoğunun minimum, maksimum ve ortalama değerleri hesaplanmış ve envanter yönetim stratejisi önerilmiştir. Böylece farklı ürünler için ayrı ayrı envanter yönetimi stratejisi belirlemek yerine iki ve üç küme için ortak envanter yönetimi stratejisi belirlenmiş olacaktır. Her bir küme için belirlenen strateji küme içinde bulunan envanter birimleri için uygulanabilecektir.

Otomatik satış makinelerine ürün dağıtım ve bakım faaliyetlerini gerçekleştiren personelin dağıtım rotasını belirlemek için öncelikle matematiksel model oluşturulmuştur. Oluşturulan matematiksel model en fazla 26 düğüm sayısına sahip sistem için optimal çözüm vermiştir. Matematiksel modelin çözümü için çözücü bir araca ihtiyaç duyulduğundan kullanıcı için ek maliyete sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı kullanıcıya kolay kullanılabileceği dağıtım planlama aracı sunulmuştur.

Makinelere arıza bilgisi, kasa doluluğu (para miktarı), bitmiş ürün ve son tüketim tarihini tamamlamış sağlıklı ürün sinyallerinin geldiği durumda araç rotasının nasıl olması gerektiğine karar veren bir algoritma oluşturulmuştur. Oluşturulan algoritma Visual Studio Bu2019 programında Visual Basic dilinde kodlanmıştır. Geliştirilen algoritmada dağıtım aracının sadece sinyal gelen makinelere uğraması sağlanmış, gereksiz ziyaretler önlenerek maliyet minimizasyonu sağlanırken hizmet almaya ihtiyacı olan birimlerin ihtiyacına daha kısa sürede cevap verilmesi sağlanmıştır. Otomatik satış makinesi yöneticisi için makinelere arıza olması durumu önem arz etmektedir. Çünkü arızası bulunan makine hizmete açık olmadığı için kayıp satışa neden olmaktadır.

Bu durum geliştirilen algoritmada dikkate alınarak, aracın önce arıza sinyali gelen makinelere, ardından diğer sinyallerin geldiği makinelere uğraması sağlanmıştır. Geliştirilen algoritma mevcut durum ile kıyaslandığında en az %40 mesafe tasarrufu sağlamaktadır.

Bu çalışmada literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak, otomatik satış makineleri için, envanter ve dağıtım yönetim modellerini içeren bir sistem geliştirilmiş, envanter yönetim modeli için kullanılan kriterler otomatik satış makineleri sektörüne göre belirlenmiş, dağıtım modeli makinelere gelecek para miktarı, ürün miktarı, arıza bilgisi ve sağlıklı ürün sinyallerine göre oluşturulmuştur. Bu çalışma, mevcut durumda tamamen kişisel bilgi ve deneyime dayalı olarak yönetilen otomatik satış makineleri yönetim sistemleri için farklı analitik yöntemlerin uygulanmasını içermekte, ilgili alanda çalışan kurum ve kişilerin bu yöntemlerin gerçek hayat problemlerine uygulanabilirliği ile ilgili farkındalığını arttırmayı amaçlamaktadır. Literatürde otomatik satış makineleri yönetim sistemleri ile ilgili kısıtlı kaynak ve uygulama örneği bulunmadığından, bu konuda çalışma yapan araştırmacılara da destek olabilecek niteliktedir. Çalışmada geliştirilen modeller gerçek bir firmada uygulanmış, elde edilen sonuçların kabul edilebilir olduğu belirtilmiştir.

Çalışmada geliştirilen envanter yönetim modeline, özellikle makinelere sağlıklı ürün yerleştirilmesi veya makinelere sağlıklı ürün sayısının artırılması kapsamında sağlıklı ürünlerin raf ömürleri, depolama koşulları ve depolama süreleri ile ilgili farklı kriterler eklenebilir. Dağıtım modeli için önerilen sezgisel algoritmanın çözüm performansını arttırmak için farklı sezgisel yöntemler kullanılabilir, gidilen mesafenin en küçüklenmesi dışında, yakıt tüketimi ve/veya CO₂ salınımının en küçüklenmesi ile ilgili farklı amaçlar eklenerek dağıtım modeli yapısı çok amaçlı olacak şekilde düzenlenebilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Yazarlar, çalışma kapsamında yapılan araştırmalarda yardımcı olan TÜBİTAK 1507 Kobi Ar-Ge Başlangıç Destek Programı tarafından desteklenen “Vendora IOT Otomat Projesi” başlıklı projenin yürütücüsü Sayın Mehmet KAVİ’ye teşekkürlerini sunmaktadırlar.

Kaynaklar (References)

1. <https://www.kobiyasam.com.tr/2022/01/14/turkiyede-2-bin-kisiye-1-otomat-dusuyor/>. Yayın tarihi Ocak 14, 2022. Erişim tarihi Haziran 23, 2022.
2. Grzybowska A., Kerfeld B., Gretton C., Waller S.T., A simulation-optimisation genetic algorithm approach to product allocation in vending machine systems, *Expert Systems with Applications*, 145, 110-113, 2020.
3. Park Y., Yoon S., The operation of vending machine systems with stock-out-based, one-stage item substitution. *International Journal of Industrial Engineering*, 19 (11), 412-427, 2012.

4. Ketzenberg M.E., Geismar N., Metters R., Van Der Laan E., The value of information for managing retail inventory remotely. *Production and Operations Management*, 22, 811-825, 2013.
5. <https://www.berginsight.com/connected-vending-machines>. Yayın tarihi Mart 2020. Erişim tarihi Eylül 6, 2023.
6. Cao Y., Ikenoya Y., Kawaguchi T., Hashimoto S., Morino T., A real-time application for the analysis of multi-purpose vending machines with machine learning. *Sensors*, 23 (4), 1935, 2023.
7. Lolli F., Ishizaka A., Gamberini R., New AHP-based approaches for multi-criteria inventory classification, *International Journal of Production Economics*, 156, 62-74, 2014.
8. Hadi-Vencheh A., Mohamadghasemi A., A fuzzy AHP-DEA approach for multiple criteria ABC inventory classification. *Expert Systems with Applications*, 38 (4), 3346-3352, 2011.
9. Ferraira L. M. D. F., Maganha I., Magalhaes V.S.M., Almeida M., A multicriteria decision framework for the management of maintenance spares- a case study, *IFAC (International Federation of Automatic Control) Papers Online*, 11, 531-537, 2018.
10. Özdemir A., Özveri O., Çok kriterli envanter sınıflandırmasında, analitik hiyerarşi süreci analizinin uygulanması, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19 (2), 137-154, 2016.
11. Ishizaka A., Lolli F., Balugani E., Cavallieri R., Gamberini, R., DEA-Sort: Assigning items with data envelopment analysis in ABC classes, *International Journal of Production Economics*, 199, 7-15, 2018.
12. Yücelen A. M., Baykal A., K-ortalamlar kümeleme yöntemi için çift k başlatma algoritması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23, 280-287, 2021.
13. Dündar S., Selection of compost plant location by K-Means and ARAS methods in TR83 region, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38 (4):2607-2623, 2023.
14. Noor N. M., Shuib, A., Multi-Depot instances for inventory routing problem using clustering techniques, *Journal of Industrial and Intelligent Information*, 3 (2), 97-101, 2015.
15. Chen B., Rhodes C., Kline C., Irvin L., Protein sequence motif information generated by fuzzy-hybrid hierarchical k-means clustering algorithm, *International Conference on Bioinformatics & Computational Biology (BIOCOM'10)*'de sunulmuştur. Nevada-USA, 12-15 Temmuz, 2010.
16. Dantzig G. B., Ramser T. H., The truck dispatching problem, *Management Science*, 6 (1), 80-91, 1959.
17. Clarke G., Wright J.W., Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points, *Operations Research*, 12, 568-581, 1964.
18. Chen P., Huang H., Dong, X., Iterated variable neighborhood descent algorithm for the capacitated vehicle routing problem, *Expert Systems with Applications*, 37 (2), 1620-1627, 2010.
19. Altabeeb A.M., Mohsen A.M., Ghallab A., An improved hybrid firefly algorithm for capacitated vehicle routing problem, *Applied Soft Computing*, 84, 105728, 2019.
20. Eker A. F., Çil A.Y., Çil İ., Capacitated vehicle routing problem with simulated annealing algorithm with initial solution improved with fuzzy c-means algorithm. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37 (2), 783-798, 2022.
21. Hu C., Lu J., Liu X., Zhang G., Robust vehicle routing problem with hard time windows under demand and travel time uncertainty, *Computers and Operations Research*, 94, 139-153, 2018.
22. Kabadurmuş Ö., Erdoğan M.S., Bi-Objective green vehicle routing problem minimizing carbon emissions and maximizing service level. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38 (1), 104-112, 2023.
23. Çatay B., A new saving-based ant algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Expert Systems with Applications*, 37, 6809-6817, 2010.
24. Wang C., Mu D., Zhao F., Sutherland J.W., A parallel simulated annealing method for the vehicle routing problem with simultaneous pickup-delivery and time windows, *Computers and Industrial Engineering*, 83, 111- 122, 2015.
25. Cömert S. E., Yazgan H.R., Görgülü N., Eş zamanlı toplu dağıtım araç rotalama problemi için iki aşamalı bir çözüm yöntemi önerisi, *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 2, 107-125, 2019.
26. Nagy, G., Salhi S., Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries, *European Journal of Operational Research*, 162, 126-141, 2005.
27. Keskintürk T., Topuk N., Özyeşil O., Araç rotalama problemleri ile çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması ve bir uygulama, *İşletme Bilimi Dergisi*, 3 (2), 77-107, 2015.
28. Worawattawechai T., Intiyot B., Jeenanunta C., Ferrell W.G., A learning enhanced golden ball algorithm for the vehicle routing problem with backhauls and time windows, *Computers & Industrial Engineering*, 168, 108044, 2022.
29. Rodríguez-Martín I., Salazar-González J.J., Yaman H., The periodic vehicle routing problem with driver consistency, *European Journal of Operational Research*, 273 (2), 575-584, 2019.
30. Dönmez S., Koç Ç., Altıparmak F., The mixed fleet vehicle routing problem with partial recharging: mathematical formulations and an insertion based constructive heuristic. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 39(1):1-16, 2022.
31. Ruiz E., Garcia-Calvillo I., Nucamendi-Guillen S., Open vehicle routing problem with split deliveries: mathematical formulations and cutting-plane method, *Operational Research*, 22 (2), 1017-1028, 2022.
32. Morrison D.R., Jacobson S.H., Sauppe J.J., Sewell E.C., Branch-and-bound algorithms: A survey of recent advances in searching, branching, and pruning. *Discrete Optimization*, 19, 79-102, 2016.
33. Xiao Y., Konak A., A genetic algorithm with exact dynamic programming for the green vehicle routing & scheduling problem, *Journal of Cleaner Production*, 167, 1450-1463, 2017.
34. Mohammed M.A., Ghani M.K.A., Hamed R.I., Mostafa S.A., Ibrahim D.A., Jameel H.K., Alallah A.H., Solving vehicle routing problem by using improved K-nearest neighbor algorithm for best solution, *Journal of Computational Science*, 21, 232-240, 2017.
35. Wang Y., Wang L., Chen G., Cai Z., Zhou Y., Xing L. An improved ant colony optimization algorithm to the periodic vehicle routing problem with time window and service choice, *Swarm and Evolutionary Computation*, 55, 100675, 2020.
36. Luo Z., Qin H., Zhu W., Lim A., Branch and price and cut for the split-delivery vehicle routing problem with time windows and linear weight-related cost, *Transportation Science*, 51 (2), 668-687, 2017.
37. Metin S., Benzetimli tavlama algoritması ile eksik veri tamamlama, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 33 (1), 295-301, 2021.
38. Bianchessi N., Irnich S., Branch-and-cut for the split delivery vehicle routing problem with time Windows, *Transportation Science*, 53 (2), 1-26, 2019.
39. Chen Q., Li K., Liu Z., Model and algorithm for an unpaired pickup and delivery vehicle routing problem with split loads, *Transportation Research Part E*, 69, 218-235, 2014.
40. Yılmaz V., Büyükyıldız M., Baykan Ö. K., Yapay arı kolonisi algoritması kullanılarak su dağıtım şebekelerinin optimizasyonu, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (1), 377-392, 2020.
41. Demirtaş Y. E., Özdemir E., Dinamik araç rotalama problemleri için yeni bir çözüm önerisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22 (3), 807-823, 2017.
42. Rusdiansyah A., Tsao D., An integrated model of the periodic delivery problems for vending-machine supply chains, *Journal of Food Engineering*, 70 (3), 421-434, 2005.
43. Park Y., Yoon S., The operation of vending machine systems with stock-out-based, one-stage item substitution, *International Journal of Industrial Engineering*, 19 (11), 412-427, 2012.
44. Park Y., Yoo J., A heuristic for the inventory management of smart vending machine systems. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 5 (2), 354-363, 2012.
45. Wang M., Yao J. A reliable location design of unmanned vending machines based on customer satisfaction. *Electronic Commerce Research*, 23(1):541-575, 2023.
46. Kirkpatrick K. Adding smarts to vending machines drives convenience, efficiency, *Communications of the ACM*, 66 (3):20-22, 2023.
47. Özari Ç., Demirkale Ö., K-ortalamlar kümeleme yöntemi ile temel makroekonomik ve finansal göstergeler ile değerlendirilmesi: kırılğan beşli ülkelerinin örneği, *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5, 2602-2486, 2020.
48. Ustaahmetoğlu E., Stok yönetimi ve miktar kararları, *Perakendecilikte ürün yönetimi*, B. Zafer Erdoğan, F. Zeynep Özata, *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, 142-163, 2013.

49. Parıldar O., Akyürek Ç.E., Hastanelerde emniyet stoğu seviyesinin ve yeniden sipariş noktasının olasılıklı stok modeli ile belirlenmesi: bir kamu hastanesi örneği, *Sosyoekonomi*, 29 (47), 229-284, 2021.
50. Babayiğit B., Yıldız K., Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için melez bir algoritma, *SETSCI Conference Proceedings*, 4 (1), 508-513, 2019.
51. Peya Z.J., Akhand M.A. H., Rahman M.M.H., Distance based sweep nearest algorithm to solve capacitated vehicle routing problem, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10 (10), 259-264, 2019.
52. Anand R., Aggarwal D., Kumar V., A comparative analysis of optimization solvers, *Journal of Statistics and Management Systems*, 20 (4), 623-635, 2017.
53. <https://www.gurobi.com/resources/mixed-integer-programming-mip-a-primer-on-the-basics/> Erişim tarihi Ocak 12, 2023.