



DOĞUŞ ÜNİVERSİTESİ DERGİSİ

DOGUS UNIVERSITY JOURNAL

e-ISSN: 1308-6979

<https://dergipark.org.tr/pub/doujournal>

DEPOLAMA YERİ ATAMA PROBLEMLERİ İÇİN VBA İLE MACAR ALGORİTMASI UYGULAMASI

IMPLEMENTATION OF HUNGARIAN ALGORITHM VIA VBA FOR STORAGE ASSIGNMENT PROBLEMS

Onur Mesut ŞENARAS⁽¹⁾, Şahin İNANÇ⁽²⁾, Arzu EREN ŞENARAS⁽³⁾

Öz: Üretim ve lojistik sistemlerinin yönetilmesinde depolama yeri atama problemleri önem arz etmektedir. Geliştirilmiş bir depolama yeri atama politikası, ambarı iyileştirmenin anahtarıdır. Depolama Yeri Atama Problemi (SLAP), ürünlerin bir depolama alanına tahsisi ve malzeme işleme maliyetlerinin veya depolama alanı kullanımının optimizasyonu ile ilgilidir. Depolama yeri atama problemleri Macar yöntemi ile pratik bir şekilde çözülebilir. Atama modellerinde amaç, etkinliği maksimum kılmak için kaynak kullanımının bire bir dağıtımını sağlamaktır. Ancak problem boyutu arttıkça en iyi sonuçların bulunması da oldukça zordur. Bu çalışmanın amacı, bir imalat atölyesinde var olan ambar yer gözlerine (adreslerine) yarı mamullerin montaj hattına olan taşıma süresini minimum kılacak şekilde atanmasıdır. Bu bağlamda, depolama yeri atama problemini çözülmesi için Macar Algoritmasını kullanarak MS Excel Visual Basic Application'da program geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Macar Algoritması kullanılarak planlanan atama ile 3302,55 metre/saat'lik taşıma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sayesinde, depolama yeri atama problemlerinin çözümüne MS Excel Visual Basic Application'da geliştirilen program yardımıyla ışık tutulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Depolama Yeri Atama Problemi, Maliyet Hesaplama, Macar Algoritması, Visual Basic Application.

Abstract: Storage location assignment problems are important in the management of production and logistics systems and an improved storage allocation policy is key to improving the warehouse. The Storage location Assignment Problem (SLAP) deals with the allocation of products to a storage area and the optimization of material handling costs or storage space utilization. Storage location assignment problems can be solved practically with the Hungarian method. In assignment models, the goal is to provide a one-to-one distribution of resource usage to maximize efficiency. However, as the problem size increases, it is very difficult to find the best results. The purpose of the present study was to assign the semi-finished products to the warehouse floor cells (addresses) existing in a manufacturing workshop in a way that minimizes the transportation time to the

⁽¹⁾ Bursa Uludağ Üniversitesi, XXX Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü; osenaras@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4295-801X

⁽²⁾ Bursa Uludağ Üniversitesi, Keles Meslek Yüksek Okulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü; sahininanc@uludag.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0603-1604

⁽³⁾ Bursa Uludağ Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü; arzueren@uludag.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3862-4551

Geliş/Received: 10-11-2022; Kabul/Accepted: 04-07-2023

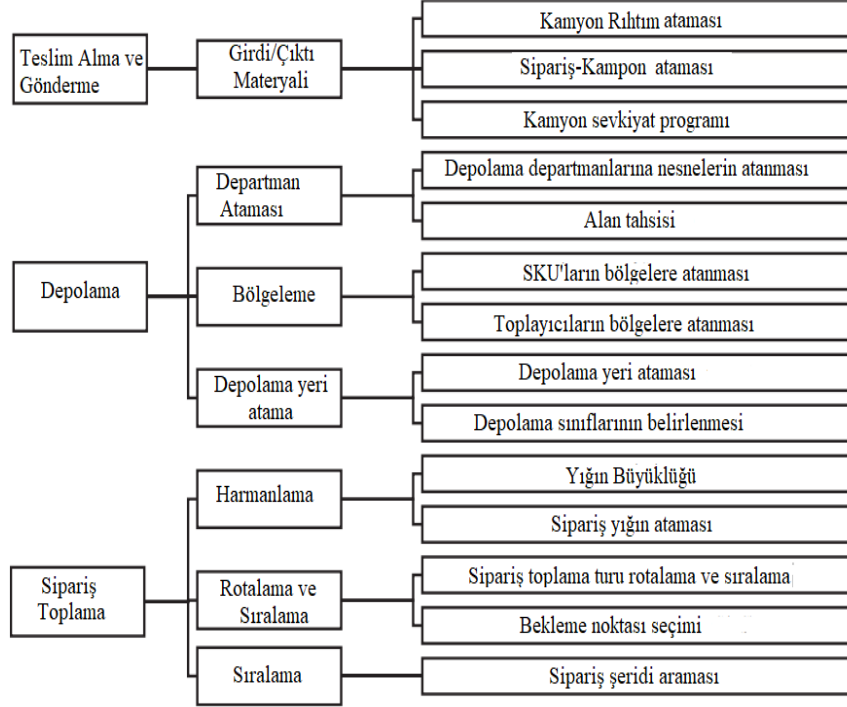
assembly line. In this context, a program was developed in MS Excel Visual Basic Application using Hungarian Algorithm to solve the storage location assignment problem. According to the results obtained, 3302.55 meters/hour transport was carried out using the planned assignment via the Hungarian Algorithm. According to the findings of the present study, the storage location assignment problems will be resolved with the help of the developed program in MS Excel Visual Basic Application.

Keywords: *Storage Location Assignment Problem, Cost Calculation, Hungarian Algorithm, Visual Basic Application*

JEL: *C0, C60, C61.*

1. Giriş

Depolama Yeri Atama Problemi (SLAP), ürünlerin bir depolama alanına tahsisi ve malzeme işleme maliyetlerinin veya depolama alanı kullanımının optimizasyonu ile ilgilidir. Sorun, depolama alanı tasarımı, depolama alanı kullanılabilirliği, ambar depolama kapasitesi, ürünlerin fiziksel özellikleri, varış süreleri ve talep davranışı gibi parametrelere bağlıdır. Temel optimizasyon yaklaşımları, mevcut depolama kapasitesi, sipariş toplama kaynak kapasiteleri ve sevkiyat politikaları gibi kısıtlamaları dikkate alarak, depo alanı kullanımı ve sipariş hazırlama ve toplama işlemleri için döngü süresi ile ilgilidir (Gu vd., 2007). Karmaşıklık açısından Frazelle (1989), SLAP'ı, ürün sayısı ve depolama özelliklerinin neden olduğu farklılıklar nedeniyle NP-Hard olarak sınıflandırmaktadır. Ürün sayısı, depolama alanı sayısına eşit olduğunda, sorun kuadratik dağıtım problemi (QAP) olarak tanımlanmaktadır (Kofler, 2015). Dahası, ürün sayısı, depolama alanlarının sayısından fazla ise ve her bir depolama alanı birkaç ürünü depolayabiliyorsa, bu bir sırt çantası problemi (KP) haline gelir (Gu vd., 2010). Şekil 1, depolama sistemlerini etkileyen temel operasyonel kararları göstermektedir (Gu vd., 2007).



Şekil 1. Depolama Yönetiminde Operasyonel Kararlar

Kaynak: Gu et al., 2007; Reyes v.d., 2019: 200

Atama problemleri konusu yöneylem araştırmasının en önemli konularından biridir. Atama modelleri sayesinde işletmeler atama işlemlerinde maliyeti minimize ederek optimum atama işlemini yapabilmektedirler (Kahveci ve Gidersoy, 2007: 94). Atama modellerinde işçi sayısı ile iş sayısı eşit sayıda olduğu kabul edilmektedir.

Doğrusal atama problemi, n işi n kişiye bire bir esasa göre atamayı temel alan bir problemdir. J . işi i 'nci kişiye atamanın maliyeti c_{ij} olsun ($i, j = 1, 2, 3, \dots, n$). Görevlendirme probleminin amacı, işleri kişilere (bir işi yalnızca bir kişiye) en az toplam maliyet veya maksimum toplam kârla tayin etmektir. Dolayısıyla, atama problemi aşağıda verildiği gibi $n \times n$ maliyet matrisi (c_{ij}) şeklinde temsil edilebilir (Dutta ve Pal, 2015: 451).

		İşler					
		1	2	...	j	...	n
Kişiler	1	c_{11}	c_{12}	...	c_{1j}	...	c_{1n}
	2	c_{21}	c_{22}	...	c_{2j}	...	c_{2n}

	i	c_{i1}	c_{i2}	...	c_{ij}	...	c_{in}

	n	c_{n1}	c_{n2}	...	c_{nj}	...	c_{nn}

Şekil 2. Maliyet Matrisi

Bu maliyet matrisi, etkinlik matrisi veya ödeme matrisi olarak da bilinmektedir. Bu makalede maliyet matrisi olarak atıfta bulunulacaktır.

Atama problemleri doğrusal programlamanın bir alt problemidir. Atama problemleri değişik kaynakları farklı görevlere optimal şekilde dağıtımını yapmaktadır. Bu tür modeller makinelere işçilerin dağıtımını ya da işçilerin farklı işlere dağıtımını gibi problemlerde sıkça kullanılmaktadır (Öztürk, 2016).

Doğrusal atama probleminin optimal ataması şunlardan oluşur: $n \times n$ maliyet matrisinden n girdi (her satırdan tam olarak bir tane ve her sütundan bir tane) seçmek, böylece seçimin toplam maliyeti minimumdur. Macar yöntemi (HM), doğrusal atama problemini çözmek için iyi bilinen, popüler ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, bir maliyet matrisinin (c_{ij}) önceden var olmasını gerektirir ve yöntem, maliyet matrisinin unsurları üzerindeki bazı aritmetik işlemler üzerinde çalışır (Dutta ve Pal, 2015: 452).

2. Literatüre Kısa Bakış

Atama ve Depolama Yeri Atama problemlerine ilişkin literatürde yer alan çalışmaların bir kısmı aşağıda ele alınmıştır.

Brynzér ve Johansson (1996), bu çalışmalarında, ürün yapısından (SLASEPS) kaynaklanan bir depolama yeri atama stratejisi önerilmiştir ve bir vaka çalışmasından elde edilen ampirik veriler kullanılarak örneklenmiştir. Bu vaka çalışmasının sonucu, toplama bilgisinde %75'ten daha fazla bir azalma sağlanmıştır.

Salman vd. (2002), bu çalışmalarında, parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ilkelerine dayanan yeni bir görev atama algoritması sunmaktadırlar. Önerilen PSO tabanlı algoritmanın etkinliği, rastgele oluşturulmuş görev etkileşim grafikleri üzerinde iyi bilinen popülasyon tabanlı olasılıksal buluşsal yöntem olan genetik algoritma ile karşılaştırılarak gösterilmiştir. Simülasyon sonuçları, PSO tabanlı algoritmanın görev atama problemi için uygun bir yaklaşım olduğunu göstermektedir.

Şahin (2008), bu çalışmasında Dinamik Tesis Düzenleme Problemi (DTDP)'ni çözmek için bir Tavlama Benzetimi (TB) sezgiseli geliştirmiştir. Önerilen Tavlama Benzetimi sezgiselinin DTDP'ni çözmeye oldukça etkin olduğunu göstermektedir.

Dutta ve Pal (2015), bu çalışmalarında, Macar yöntemi, yöntemin hesaplama maliyetini azaltan bir atama probleminin optimal çözümünü bulmak için değiştirilmiştir.

Chopra vd.(2017), bu çalışmalarında, iyi bilinen atama problemini çözmek için Macar yönteminin dağıtılmış bir versiyonunu önermişlerdir. Çoklu robot uygulamaları bağlamında, tüm robotlar, bir uçtan uca ağ üzerinden sınırlı bir yerel hesaplama ve iletişim kümesi içinde belirli bir küresel kriteri (örneğin, kat edilen toplam mesafe) optimize eden ortak bir atamayı iş birliği içinde hesaplar.

Kutucu ve Durgut (2018), bu çalışmalarında, silah hedef atama problemine etkili bir çözüm sağlama amacı ile tavlama benzetimi algoritması kullanarak hibrit bir yapay arı kolonisi algoritması önermektedirler. Önerilen algoritma problem örnekleri ile test edilerek diğer meta-sezgisel yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Önerilen algoritmanın tatmin edici olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Elsisy (2020), bu makalede, değiştirilmiş Macar yöntemini kullanarak bulanık AP'nin optimum çözümünü bulmanın bir algoritmasını sunmaktadır. Bu yöntem, bulanık bir AP için bulanık ortamda minimum atama maliyeti elde etmek için kullanılmaktadır.

Dhanasekar vd. (2020), bu çalışmada, bulanık atama problemini çözmek için geliştirilmiş bir Macar yöntemi kullanmışlardır. Bulanık atama problemini çözmek için Macar yöntemini uyguladıklarında, bulanık sıfırları kesen minimum çizgi sayısı bulanık maliyet matrisinin sırasına eşit değilse, bu yöntem daha az hesaplama çalışmasıyla en uygun çözümü elde etmek için kullanılmaktadır.

Solaja vd. (2020), bu çalışma, öğretim görevlilerinin etkililiğini maksimize etmek için Nijerya yükseköğretim kurumundaki ders tahsis problemine atama modelini uygulamaktadır. Öğretim elemanlarından veri elde etmek için iyi yapılandırılmış bir anket kullanılmış ve Macar yöntemi ile çözülmüştür.

Liu (2022) bu makalede, Robotik Mobil Yerine Getirme Sistemlerinde (RMFS) depolama konumu atamasını incelemektedir. Talep sıklığını, ürün benzerliğini ve kapsül benzerliğini dikkate alan bir depolama yeri tahsis stratejisi önermiştir. İki aşamalı bir depolama yeri tahsisi matematiksel modeli, ürün benzerliğini en üst düzeye çıkarmak ve toplama mesafesini en aza indirmek için hangi ürünün hangi bölmeye koyulacağına karar vermeyi amaçlar. Depolama yeri atama problemini çözmek için, birliktelik kurallarına dayalı bir Tabu Arama algoritması (AP-TS algoritması) olan bir buluşsal yöntem önerilmiştir. Sonuçlar, AP-TS algoritmasının optimal çözüme yakın yaklaşık bir çözümü kısa bir zaman aralığında çözebildiğini ve önemli bir zaman avantajına sahip olduğunu göstermektedir.

Trindade vd. (2022), bu çalışmada, çok ürünlü toplama depolarında öncelik kısıtlamalarını dikkate alarak depolama yeri atama problemini (SLAP) çözmek için

yeni bir sezgisel yaklaşım önermişlerdir. İki aşamalı bir buluşsal prosedür geliştirilmiştir: ürünler kümelenir ve mevcut alanlara atanır. Prosedürü, günde 191 mağaza tedarik eden gerçek dünyadaki bir Portekiz perakende zincirinin bozulmayan deposunda test etmişlerdir. Sonuçlar, yeni ürün atamasının, toplayıcıların kat ettiği mesafe üzerinde %15'e kadar bir iyileştirmeye izin verdiğini ve bu da ayda yaklaşık 477 km'lik bir tasarruf sağladığını göstermektedir.

Edis vd.(2022), bu çalışmada, çelik rulolardan oluşan birkaç siparişin depolama alanlarına tahsis edileceği bir bağlantı elemanı şirketinde karşılaşılan gerçek hayattaki bir depolama yeri ve atama problemini ele almaktadır. Araştırılan problem için öncelikle bir tamsayılı doğrusal programlama (ILP) modeli geliştirilmiştir. Ardından, hızlı ve verimli çözümler sağlayan açgözlü bir randomize uyarlamalı arama prosedürü (GRASP) önerilmiştir. Önerilen yöntemler, gerçek problem durumu ve sonuçlar mevcut depolama ataması ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, kapsamlı bir hesaplamalı çalışma yoluyla, önerilen yöntemlerin performansları, farklı özelliklere sahip bir dizi test problemi üzerinde değerlendirilmiştir.

Leon vd. (2023), bu çalışmalarında, gerçek hayattaki depo koşulları karşısında sağlam çözümler sağlayan ayrık olay simsegisel bir çerçeve önermişlerdir. İzlenen yaklaşım, sipariş sırasını ve toplama rotasını çözüm yapısına entegre ederek sorunun karmaşıklığını kucaklar ve stokastik olayların çözümün kalitesi üzerindeki etkisini azaltmak için ticari simülasyon yazılımını kullanmaktadır. Bir depo yönetim sistemi içinde bu tür yeni metodolojinin uygulanması ile, otomasyon düzeyinde bir artış gerektirmeden depo verimliliğini artırabileceğini vurgulamışlardır. Geliştirilen yöntem, uygunluğunu gösteren ve gelecekteki araştırma hatlarına işaret eden bir dizi hesaplamalı deney altında test edilmiştir.

3. Macar Yöntemi

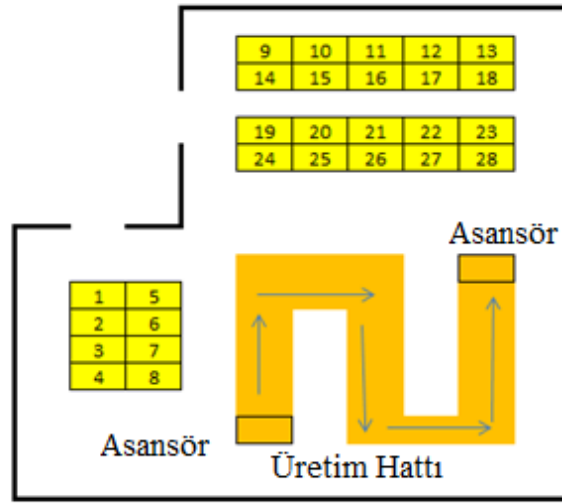
Macar algoritması yöntemi (Hungarian Algorithm), Kuhn (1955) tarafından geliştirilmiş olup sade ve kolayca anlaşılabilen çok etkili bir çözüm yöntemidir (Öner ve Ülengin, 2003).

Macar Yöntemi:

Eğer makine ve işçi sayısı eşit değilse; m işçi sayısını ve n de makine sayısını göstermek üzere, eğer $m > n$ ise; $(m-n)$ kadar kukla makine modele eklenir. Eğer tam tersine $m < n$ ise; $(n-m)$ kadar kukla işçi modele eklenerek eşitlik sağlanır. Kukla makine veya işçilerin maliyetleri (c_{ij}) sıfırdır. Macar yönteminde her satır için en az maliyetli eleman bulunup satırın tüm elemanlarından çıkarılır. Aynı işlem daha sonra her sütun için tekrar edilir. Daha sonra her satır ve sütuna sadece bir sıfır denk gelecek şekilde sıfırlar işaretlenir ve çözüm bulunmuş olur. Eğer uygun bir çözüm yok ise; matriste sıfır olan elemanlar en az çizgi ile kaplanacak şekilde işaretlenir. Kalan elemanlar içerisinde en küçük eleman diğer elemanlardan çıkarılıp çizgilerin kesişim noktalarına eklenir. Daha sonra da tekrardan baştaki yöntem uygulanarak her satır ve sütun için tek sıfır olacak şekilde işaretlenerek çözüm bulunur (Öztürk, 2016).

4. Depo Yeri Atama Problemi

Bu çalışmanın amacı, bir imalat atölyesinde var olan ambar yer gözlerine (adreslerine) yarı mamullerin montaj hattına olan taşıma süresini minimum kılacak şekilde atanmasıdır. Bu bağlamda; üretimin kesintisiz devam edebilmesi için birim zamanda (saatte) taşınan mesafeyi(metre) minimize eden depo yerinin atanması amaçlanmaktadır. Ele alınan imalat atölye probleminin yerleşim şeması Şekil 3'teki gibidir.



Şekil 3. Atölye Yerleşim Şeması

1'den 28'e kadar numaralandırılan ambar depolama yer adresleri Şekil 3'te gösterilmektedir. Atölye yerleşim şeması incelendiğinde, üretim hattı, giriş ve çıkış asansörü görülmektedir. Beyaz olan bölümler ise yolları göstermektedir.

Ürünler ile adres numaraları arasındaki mesafeler hesaplanmıştır. Şekil 4'te yer alan değerler birim zamanda (saatte) ürünlerin depolardan taşınma mesafesini ifade etmektedir.

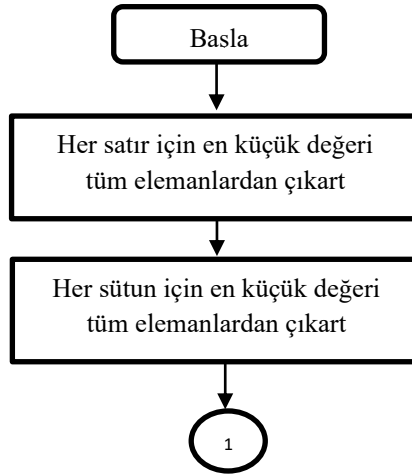
ADRES NUMARASI	
1	465.00
2	456.00
3	462.00
4	471.00
5	444.00
6	435.00
7	441.00
8	450.00
9	612.00
10	606.00
11	600.00
12	606.00
13	612.00
14	591.00
15	585.00
16	579.00
17	585.00
18	591.00
19	585.00
20	579.00
21	573.00
22	579.00
23	585.00
24	570.00
25	564.00
26	558.00
27	564.00
28	570.00

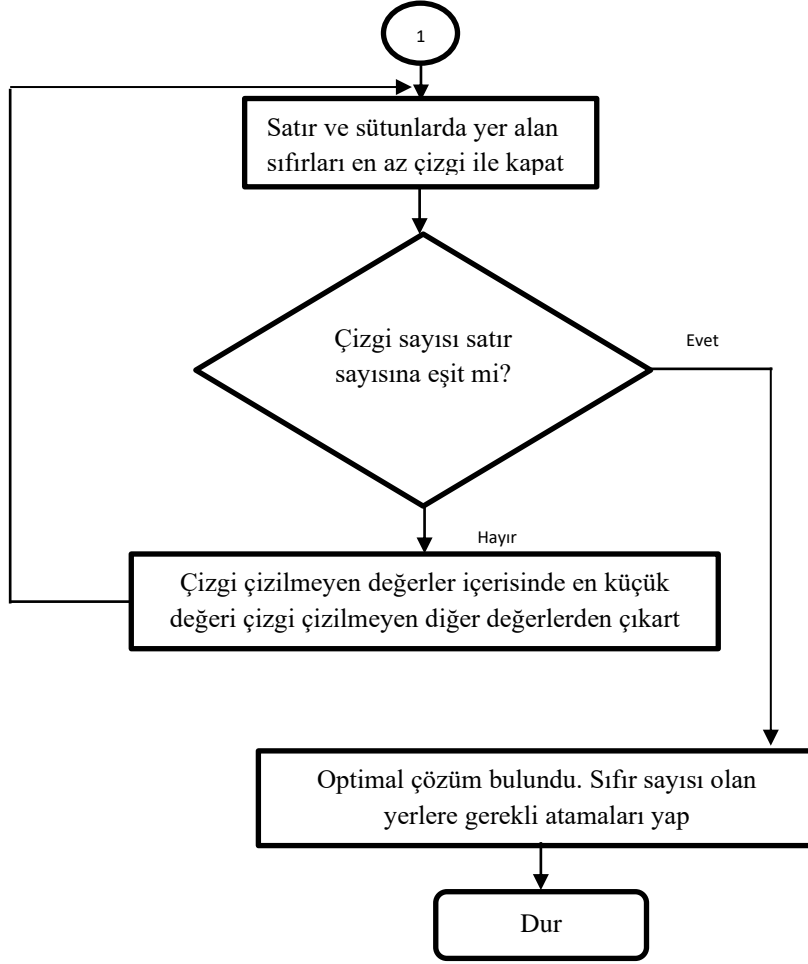
ÜRÜNLER																					
22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3		
183.46	200.00	211.15	18.47	79.02	137.81	41.73	207.00	78.30	26.25	54.00	87.00	254.42	96.43	142.71	20.48	186.00	792.00	375.75	208.13		
180.00	192.50	205.96	17.05	77.38	135.00	39.27	202.50	75.60	25.13	52.50	84.75	249.23	93.21	138.86	19.80	177.00	778.50	369.00	203.91		
182.31	197.50	209.42	18.00	78.48	136.88	40.91	205.50	77.40	25.88	53.50	86.25	252.69	95.36	141.43	20.25	183.00	787.50	373.50	206.72		
185.77	205.00	214.62	19.42	80.12	139.69	43.36	210.00	80.10	27.00	55.00	88.50	257.88	98.57	145.29	20.93	192.00	801.00	380.25	210.94		
175.38	182.50	199.04	15.16	75.18	131.25	36.00	196.50	72.00	23.63	50.50	81.75	242.31	88.93	133.71	18.90	165.00	760.50	360.00	198.28		
171.92	175.00	193.85	13.74	73.54	128.44	33.55	192.00	69.30	22.50	49.00	79.50	237.12	85.71	129.86	18.23	156.00	747.00	353.25	194.06		
174.23	180.00	197.31	14.68	74.63	130.31	35.18	195.00	71.10	23.25	50.00	81.00	240.58	87.86	132.43	18.68	162.00	756.00	357.75	196.88		
177.69	187.50	202.50	16.11	76.28	133.13	37.64	199.50	73.80	24.38	51.50	83.25	245.77	91.07	136.29	19.35	171.00	769.50	364.50	201.09		
118.85	502.50	122.88	27.47	77.38	153.75	73.64	126.00	171.90	79.88	90.50	148.50	344.42	53.57	93.86	31.05	282.00	351.00	364.50	206.72		
116.54	497.50	119.42	26.53	76.28	151.88	72.00	123.00	170.10	79.13	89.50	147.00	340.96	51.43	91.29	30.60	276.00	342.00	360.00	203.91		
114.23	492.50	115.96	25.58	75.18	150.00	70.36	120.00	168.30	78.38	88.50	145.50	337.50	49.29	88.71	30.15	270.00	333.00	355.50	201.09		
116.54	497.50	119.42	26.53	76.28	151.88	72.00	123.00	170.10	79.13	89.50	147.00	340.96	51.43	91.29	30.60	276.00	342.00	360.00	203.91		
118.85	502.50	122.88	27.47	77.38	153.75	73.64	126.00	171.90	79.88	90.50	148.50	344.42	53.57	93.86	31.05	282.00	351.00	364.50	206.72		
110.77	485.00	110.77	24.16	73.54	147.19	67.91	115.50	165.60	77.25	87.00	143.25	332.31	46.07	84.86	29.48	261.00	319.50	348.75	196.88		
108.46	480.00	107.31	23.21	72.44	145.31	66.27	112.50	163.80	76.50	86.00	141.75	328.85	43.93	82.29	29.03	255.00	310.50	344.25	194.06		
106.15	475.00	103.85	22.26	71.34	143.44	64.64	109.50	162.00	75.75	85.00	140.25	325.38	41.79	79.71	28.58	249.00	301.50	339.75	191.25		
108.46	480.00	107.31	23.21	72.44	145.31	66.27	112.50	163.80	76.50	86.00	141.75	328.85	43.93	82.29	29.03	255.00	310.50	344.25	194.06		
110.77	485.00	110.77	24.16	73.54	147.19	67.91	115.50	165.60	77.25	87.00	143.25	332.31	46.07	84.86	29.48	261.00	319.50	348.75	196.88		
108.46	480.00	107.31	23.21	72.44	145.31	66.27	112.50	163.80	76.50	86.00	141.75	328.85	43.93	82.29	29.03	255.00	310.50	344.25	194.06		
106.15	475.00	103.85	22.26	71.34	143.44	64.64	109.50	162.00	75.75	85.00	140.25	325.38	41.79	79.71	28.58	249.00	301.50	339.75	191.25		
103.85	470.00	100.38	21.32	70.24	141.56	63.00	106.50	160.20	75.00	84.00	138.75	321.92	39.64	77.14	28.13	243.00	292.50	335.25	188.44		
106.15	475.00	103.85	22.26	71.34	143.44	64.64	109.50	162.00	75.75	85.00	140.25	325.38	41.79	79.71	28.58	249.00	301.50	339.75	191.25		
108.46	480.00	107.31	23.21	72.44	145.31	66.27	112.50	163.80	76.50	86.00	141.75	328.85	43.93	82.29	29.03	255.00	310.50	344.25	194.06		
102.69	467.50	98.65	20.84	69.70	140.63	62.18	105.00	159.30	74.63	83.50	138.00	320.19	38.57	75.86	27.90	240.00	288.00	333.00	187.03		
100.38	462.50	95.19	19.89	68.60	138.75	60.55	102.00	157.50	73.88	82.50	136.50	316.73	36.43	73.29	27.45	234.00	279.00	328.50	184.22		
98.08	457.50	91.73	18.95	67.50	136.88	58.91	99.00	155.70	73.13	81.50	135.00	313.27	34.29	70.71	27.00	228.00	270.00	324.00	181.41		
100.38	462.50	95.19	19.89	68.60	138.75	60.55	102.00	157.50	73.88	82.50	136.50	316.73	36.43	73.29	27.45	234.00	279.00	328.50	184.22		
102.69	467.50	98.65	20.84	69.70	140.63	62.18	105.00	159.30	74.63	83.50	138.00	320.19	38.57	75.86	27.90	240.00	288.00	333.00	187.03		

28	27	26	25	24	23
100.00	56.01	130.85	110.63	23.82	72.39
97.50	54.57	128.77	108.75	22.24	70.92
99.17	55.53	130.15	110.00	23.29	71.90
101.67	56.97	132.23	111.88	24.88	73.37
94.17	52.66	126.00	106.25	20.12	68.97
91.67	51.22	123.92	104.38	18.53	67.50
93.33	52.18	125.31	105.63	19.59	68.48
95.83	53.62	127.38	107.50	21.18	69.95
141.67	40.69	64.38	90.63	50.29	88.53
140.00	39.73	63.00	89.38	49.24	87.55
138.33	38.78	61.62	88.13	48.18	86.58
140.00	39.73	63.00	89.38	49.24	87.55
141.67	40.69	64.38	90.63	50.29	88.53
135.83	37.34	59.54	86.25	46.59	85.11
134.17	36.38	58.15	85.00	45.53	84.13
132.50	35.43	56.77	83.75	44.47	83.15
134.17	36.38	58.15	85.00	45.53	84.13
135.83	37.34	59.54	86.25	46.59	85.11
134.17	36.38	58.15	85.00	45.53	84.13
132.50	35.43	56.77	83.75	44.47	83.15
130.83	34.47	55.38	82.50	43.41	82.17
132.50	35.43	56.77	83.75	44.47	83.15
134.17	36.38	58.15	85.00	45.53	84.13
130.00	33.99	54.69	81.88	42.88	81.68
128.33	33.03	53.31	80.63	41.82	80.71
126.67	32.07	51.92	79.38	40.76	79.73
128.33	33.03	53.31	80.63	41.82	80.71
130.00	33.99	54.69	81.88	42.88	81.68

Şekil 4. Ürün No- Adres Numarası Mesafe Matrisi

Macar Algoritması Akış Çizgesi en küçükleme yönlü bir atama problemi için Şekil 5'te gösterilmektedir.





Şekil 5. Macar Algoritması Akış Çizgesi

6. Bulgular

6.1. Macar Algoritması ile Çözüm

Ele alınan problemde; 1-28 arasında numaralandırılan ambar depolama yer adreslerine, birim zamanda (saatte) ürünlerin depolardan taşınma mesafeleri ele alınmıştır. 28 ürünün 28 ambar depolama yer adreslerine atanması için Macar Algoritması uygulanmıştır.

Macar algoritması en küçükleme yönlü bir atama problemi için aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Her bir satırda yer alan en küçük sayıyı diğer sayılardan (en küçük sayı da dahil) çıkartınız.

Adım 2: Her bir satırda yer alan en küçük sayıyı diğer sayılardan (en küçük sayı da dahil) çıkartınız.

Adım 3: Çıkarma işlemlerinden sonra satır ve sütunlarda sıfır değerlerini bulunuz. Satır ve sütunlardaki tüm sıfırları minimum sayıda yatay ve dikey çizgi ile kapatınız.

Adım 4: Eğer yatay (satırlar üzerinde) çizilen çizgi sayısı satır sayısına eşit ise adım 6'ya gidiniz. Değilse adım 5 ile devam ediniz.

Adım 5: Çizgi ile kapatılmayan tüm sayılardaki en küçük değeri yine çizgi ile kapatılmayan tüm değerlerden (en küçük değer de dahil) çıkarınız. Çıkarılan değeri yatay ve dikey çizilen çizgilerin kesişim yerlerine ekleyiniz ve adım 3'e gidiniz.

Adım 6: Optimal çözüm bulunmuştur. Uygun atamayı sıfır bulunan satır ve sütunlara yapınız. Birden fazla sıfır var ise (seçenekli optimal çözüm) atamayı her satır ve sütuna sadece bir değer gelecek yani bire bir atama olacak şekilde gerçekleştiriniz.

Şekil 6'da MS Excel Visual Basic Application ile geliştirilen Macar yöntemine göre atama listesi yer almaktadır.

	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
1																													
2																													
3																													
4																													
5																													
6	1	465.00	456.00	462.00	471.00	444.00	435.00	441.00	450.00	612.00	606.00	600.00	606.00	612.00	591.00	585.00	579.00	585.00	591.00	585.00	579.00	573.00	579.00	585.00	570.00	564.00	568.00	564.00	570.00
7	2	33.50	32.00	33.00	34.50	30.00	28.50	29.50	31.00	35.00	33.00	34.00	35.00	31.50	30.50	30.50	29.50	30.50	31.50	30.50	29.50	28.50	29.50	30.50	28.00	27.00	26.00	27.00	28.00
8	3	208.13	203.91	206.72	210.94	198.28	194.06	196.88	201.09	206.72	203.91	201.09	203.91	206.72	196.88	194.06	191.25	194.06	196.88	194.06	191.25	188.44	191.25	194.06	187.03	184.22	181.41	184.22	187.03
9	4	375.75	369.00	373.50	380.25	360.00	353.25	357.75	364.50	360.00	355.50	360.00	364.50	360.00	353.25	344.25	338.75	344.25	364.50	344.25	338.75	333.25	338.75	344.25	333.00	328.50	324.00	328.50	333.00
10	5	792.00	778.50	787.50	801.00	760.50	747.00	756.00	765.00	351.00	342.00	333.00	342.00	351.00	319.50	310.50	301.50	310.50	319.50	310.50	301.50	295.50	301.50	310.50	288.00	279.00	270.00	279.00	288.00
11	6	186.00	177.00	183.00	192.00	165.00	156.00	162.00	171.00	282.00	276.00	270.00	276.00	282.00	261.00	255.00	249.00	255.00	261.00	255.00	249.00	243.00	249.00	255.00	240.00	234.00	228.00	234.00	240.00
12	7	20.48	19.80	20.25	20.93	18.90	18.23	18.68	19.35	31.05	30.60	30.15	30.60	31.05	29.48	29.03	28.58	29.03	29.48	29.03	28.58	28.13	28.58	29.03	27.45	27.00	27.45	27.90	
13	8	142.71	138.86	141.43	145.29	133.71	129.86	132.43	136.29	93.86	91.29	88.71	91.29	93.86	84.86	82.29	79.71	82.29	84.86	82.29	79.71	77.14	79.71	82.29	75.86	73.29	71.71	73.29	75.86
14	9	96.43	93.21	95.36	98.57	88.93	85.71	87.86	91.07	53.57	51.43	49.29	51.43	53.57	46.07	43.93	41.79	43.93	46.07	43.93	41.79	39.64	41.79	43.93	38.57	36.43	34.29	36.43	38.57
15	10	254.42	249.23	252.69	257.88	242.31	237.12	240.58	245.77	344.42	340.96	337.50	340.96	344.42	332.31	328.85	325.38	328.85	332.31	328.85	325.38	321.92	325.38	328.85	320.19	316.73	313.27	316.73	320.19
16	11	87.00	84.75	86.25	88.50	81.75	79.50	81.00	83.25	146.50	145.00	143.00	145.00	146.50	142.25	141.75	140.25	141.75	142.25	141.75	140.25	138.75	140.25	141.75	138.00	136.50	135.00	136.50	138.00
17	12	54.00	52.50	53.50	55.00	50.00	49.00	50.00	51.50	88.50	88.50	88.50	88.50	88.50	87.00	86.00	85.00	86.00	87.00	86.00	85.00	84.00	85.00	86.00	83.50	82.50	81.50	82.50	83.50
18	13	26.25	25.13	25.88	27.00	23.63	22.50	23.25	24.38	79.88	79.13	78.38	79.13	79.88	77.25	76.50	75.75	76.50	77.25	76.50	75.75	75.00	75.75	76.50	74.63	73.88	73.13	73.88	74.63
19	14	78.30	75.60	77.40	80.10	72.00	69.30	71.10	73.80	171.90	168.30	170.10	168.30	171.90	165.60	163.80	162.00	163.80	165.60	163.80	162.00	160.20	162.00	165.00	159.30	157.50	155.70	157.50	159.30
20	15	207.00	202.50	205.50	210.00	196.50	192.00	195.00	199.50	126.00	123.00	120.00	123.00	126.00	115.50	112.50	109.50	112.50	115.50	112.50	109.50	106.50	109.50	112.50	105.00	102.00	99.00	102.00	105.00
21	16	41.73	39.27	40.91	43.36	36.00	33.55	35.18	37.64	73.64	72.00	70.36	72.00	73.64	67.91	66.27	64.64	66.27	67.91	66.27	64.64	63.00	64.64	66.27	62.18	60.55	58.91	60.55	62.18
22	17	137.81	135.00	136.88	139.69	131.25	128.44	130.31	133.13	153.75	151.88	150.00	151.88	153.75	147.19	145.31	143.44	145.31	147.19	145.31	143.44	141.56	143.44	145.31	140.63	138.75	136.88	138.75	140.63
23	18	79.02	77.38	78.48	80.12	75.18	73.54	74.63	76.28	77.38	76.28	75.18	76.28	77.38	73.54	72.44	71.34	72.44	73.54	72.44	71.34	70.24	71.34	72.44	69.70	68.60	67.50	68.60	69.70
24	19	18.47	17.05	18.00	19.42	15.16	13.74	14.68	16.11	27.47	26.53	25.58	26.53	27.47	24.16	23.21	22.26	23.21	24.16	23.21	22.26	21.32	22.26	23.21	20.84	19.89	18.95	19.89	20.84
25	20	211.15	205.96	209.42	214.62	199.04	193.85	197.31	202.50	122.88	119.42	115.96	119.42	122.88	110.77	107.31	103.85	107.31	110.77	107.31	103.85	100.38	103.85	107.31	98.05	95.19	91.73	95.19	98.05
26	21	200.00	191.50	197.50	205.00	182.50	175.00	180.00	187.50	105.00	102.50	100.00	102.50	105.00	92.50	90.00	87.50	90.00	92.50	90.00	87.50	85.00	87.50	90.00	85.00	82.50	80.00	82.50	85.00
27	22	183.46	180.00	182.31	185.77	175.38	171.92	174.23	177.69	118.85	116.54	114.23	116.54	118.85	110.77	108.46	106.15	108.46	110.77	108.46	106.15	103.85	106.15	108.46	102.69	100.38	98.08	100.38	102.69
28	23	72.39	70.92	71.90	73.37	68.97	67.50	68.48	69.95	85.53	84.13	82.73	84.13	85.53	81.13	79.73	78.33	80.13	81.13	79.73	78.33	76.93	78.33	80.13	76.93	75.53	74.13	75.53	76.93
29	24	23.82	22.24	23.29	24.88	20.12	18.53	19.59	21.18	50.29	48.18	46.08	48.18	50.29	46.59	45.53	44.47	45.53	46.59	45.53	44.47	43.41	44.47	45.53	42.88	41.82	40.76	41.82	42.88
30	25	110.63	108.75	110.00	111.88	106.25	104.38	105.63	107.50	90.63	88.13	85.38	88.13	90.63	86.25	85.00	83.75	85.00	86.25	85.00	83.75	82.50	83.75	85.00	81.88	80.63	79.38	80.63	81.88
31	26	130.85	128.77	130.15	132.23	126.00	123.92	125.31	127.38	64.38	63.00	61.62	63.00	64.38	59.54	58.15	56.77	58.15	59.54	58.15	56.77	55.38	56.77	58.15	54.69	53.31	51.92	53.31	54.69
32	27	56.01	54.57	55.53	56.97	52.66	51.22	52.18	53.62	40.69	39.73	38.78	39.73	40.69	37.34	36.38	35.43	36.38	37.34	36.38	35.43	34.47	35.43	36.38	33.99	33.03	32.07	33.03	33.99
33	28	100.00	97.50	99.17	101.67	94.17	91.67	93.33	95.83	141.67	140.00	138.33	140.00	141.67	135.83	134.17	132.50	134.17	135.83	134.17	132.50	130.83	132.50	134.17	130.00	128.33	126.67	128.33	130.00

Şekil 6. Atama Listesi

Şekil 6 incelendiğinde; Ürün 1 adres numarası 7'ye, ürün 2 adres numarası 14'e, ürün 3 adres numarası 24'e, ürün 4 adres numarası 27'ye, ürün 5 adres numarası 26'ya, ürün 6 adres numarası 6'ya, ürün 7 adres numarası 9'a, ürün 8 adres numarası 21'e, ürün 9 adres numarası 20'ye, ürün 10 adres numarası 8'e, ürün 11 adres numarası 1'e, ürün 12 adres numarası 11'e, ürün 13 adres numarası 4'e, ürün 14 adres numarası 2'ye, ürün 15 adres numarası 28'e, ürün 16 adres numarası 23'e, ürün 17 adres numarası 22'ye, ürün 18 adres numarası 19'a, ürün 19 adres numarası 13'a, ürün 20 adres numarası 25'e, ürün 21 adres numarası 5'e, ürün 22 adres numarası 16'ya, ürün 23 adres numarası 12'ye, ürün 24 adres numarası 18'e, ürün 25 adres numarası 17'ye, ürün 26 adres numarası 15'e, ürün 27 adres numarası 10'a, ürün 28 adres numarası 3'e atandığı görülmektedir.

MS Excel VBA ile geliştirilen Macar algoritması ile gerçekleştirilen atama sayesinde elde edilen sonuç 3302,55 metre/saat'tir. Bu değer, birim zamanda (saatte) ürünlerin depolardan minimum taşınma mesafesini ifade etmektedir.

7. Tartışma ve Sonuç

Depo yeri atama problemlerinin optimal çözümlerinin elde edilmesi etkin imalat planlaması için önem arz etmektedir. İmalat atölyesinde direkt giderleri oluşturan taşıma araçlarının yakıt masraflarını azaltmak, işgücü kullanımını azaltmak, üretimi aksatmayacak şekilde malzeme taşınması sağlamak açısından depo yeri atamalarının optimal şekilde planlanması oldukça önemlidir. Bu çalışmada bir imalat atölyesi için depo yeri ataması problemine ilişkin Macar Algoritması uygulanmıştır. Bu çalışmada, depo atama problemini çözmek için iyi bilinen, popüler ve yaygın olarak kullanılan Macar yöntemi Visual Basic Application ile geliştirilen programı ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Macar Algoritması kullanılarak planlanan atama ile 3302,55 metre/saat'lik taşıma gerçekleştirilmiştir. Macar algoritmasının kesin çözüm vermesi nedeniyle çalışmada elde edilen sonuçların güvenilir ve geçerli olduğu ifade edilebilir. Bu bağlamda; depo yeri atama problemlerinin çözümü için Macar yönteminin kullanılabilirliğini ancak problemin boyutunun artmasıyla en iyi sonuçların bulunmasının zorlaşacağı söylenebilir. Geliştirilen uygulama sayesinde imalat sistemlerinde çok sayıda yarı mamulün ambar adreslerine atanması gibi farklı türlerde problemlerin hızlı bir şekilde çözümü bulunabilecektir. Geliştirilen uygulama, yalnızca imalat sistemlerinde değil tüm depolama yeri atama problemlerinin MS Excel Visual Basic Application ile çözülmesine ışık tutacaktır.

Referanslar

- Brynzér, H., Johansson, M. I. (1996). Storage location assignment: using the product structure to reduce order picking times. *International Journal of Production Economics*, 46, 595-603.
- Chopra, S., Notarstefano, G., Rice, M., & Egerstedt, M. (2017). A distributed version of the Hungarian method for multirobot assignment. *IEEE Transactions on Robotics*, 33(4), 932-947.
- Dhanasekar, S., Parthiban, V., & Gururaj, A. D. M. (2020). Improved hungarian method to solve fuzzy assignment problem and fuzzy traveling salesman problem. *Advances in Mathematics: Scientific Journal*, 9(11), 9417-9427.

- Dutta, J., & Pal, S. C., (2015). A note on hungarian method for solving assignment problem. *Journal of Information and Optimization Sciences*, 36(5), 451-459.
- Edis, E. B., Uzun Araz, O., Eski, O., & Sancar Edis, R. (2022). Storage location assignment of steel coils in a manufacturing company: an integer linear programming model and a greedy randomized adaptive search procedure. *TOP: An Official Journal of the Spanish Society of Statistics and Operations Research, Springer; Sociedad de Estadística e Investigación Operativa*, vol. 31(1), 67-109.
- Elsisy, M. A., Elsaadany, A. S., & El Sayed, M. A., (2020). Using interval operations in the Hungarian method to solve the fuzzy assignment problem and its application in the rehabilitation problem of valuable buildings in Egypt. *Complexity*, Hindawi, 1-11.
- Frazelle, E., Sojo, R., Esquivel, H., & Álvaro José Hurtado S., (2007). Logística de almacenamiento y manejo de materiales de clase mundial. *Grupo Editorial Norma*, Bogotá, Spain.
- 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). Solving the forward-reserve allocation problem in warehouse order picking systems. *Journal of the Operational Research Society*, 61(6), 1013-1021.
- Kahveci, M., & Gidersoy, B., (2007). İşletme yönetiminde maliyet-kar hedeflerine yönelik atama modelleri ve macar algoritması tekniğiyle analitik bir yaklaşım. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 2, 93-105.
- Kofler, M. (2014). *Optimising the storage location assignment problem under dynamic conditions optimising the storage location assignment problem under dynamic conditions*, (Yayınlanmamış doktora tezi). Johannes Kepler Universität, Technisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Linz.
- Kuhn, H. W., (1955). The Hungarian method for the assignment problem, *Naval Research Logistics, Quarterly*, 2, 83-97.
- Kutucu, H., & Durgut, R., (2018). Silah hedef atama problemi için tavlama benzetimli bir hibrit yapay arı kolonisi algoritması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 263-269.
- Leon, J. F., Li, Y., Peyman, M., Calvet, L., & Juan, A. A. (2023). A Discrete-Event Simheuristic for Solving a Realistic Storage Location Assignment Problem. *Mathematics*, 11(7), 1577.
- Liu, M. (2022). Research on the storage location assignment problem in robotic mobile fulfillment systems based on association rules. *Frontiers in Economics and Management*, 3(3), 110-125.
- Munkres, J., (1957). Algorithms for the assignment and transportation problems, *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 5(1), 32-38.
- Öner, A., Ülengin, F., (2010). Atama problemi için yeni bir çözüm yaklaşımı. *İtüdergisi/D*, 2(1), 73-79.
- Öztürk, A., (2016). *Yöneylem araştırması*. Bursa: Ekin Basım Yayın Dağıtım.
- Solaja, O., Abiodun, J., Ekpudu, J., Abioro, M., & Akinbola, O. (2020). Assignment problem and its application in Nigerian institutions: Hungarian method approach. *International Journal of Applied Operational Research*, 10(1), 1-9.

Trindade, M. A., Sousa, P. S., & Moreira, M. R. (2022). Ramping up a heuristic procedure for storage location assignment problem with precedence constraints. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 34(3), 646-669.