

# ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNDE TALEP NOKTASINDA BEKLEME SÜRESİNİN ALINAN TOPLAM YOLA ETKİSİ

Şahin BAYZAN<sup>1</sup> Sezai TOKAT<sup>1</sup> Önder ÇİVRİL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi  
Pamukkale Üniversitesi, 20020, Kınıklı, Denizli

<sup>2</sup> Bilgisayar Teknolojisi ve Programlama Bölümü, Denizli Meslek Yüksek Okulu  
Pamukkale Üniversitesi, 20020, Bayramyeri, Denizli

<sup>1</sup>e-posta: {sbayzan,stokat}@pamukkale.edu.tr

<sup>2</sup> e-posta: ondercivril@yahoo.com

*Anahtar sözcükler: Araç Rotalama Problemi, Gezgin Satıcı Problemi, Graf Teorisi, C#.Net*

## ABSTRACT

*In this study, a simulation program for the vehicle routing problem is developed where a geographical domain that is adapted to a graph data model on C#.NET platform is investigated. With the help of the simulation, the effects of waiting time of the vehicles at the demand points are examined considering the transport costs. Two different algorithms are suggested to show the effect of waiting time on the total distance. Different scenarios are created for randomly selected 50 demands requested at various time instants from different nodes. In the first algorithm, the demand is simply appended to the demand list of the vehicle nearest to the demand point. In the second one, on the other hand, the demand is appended to the demand list of the vehicle nearest to the demand point at the time after meeting the current demand. Considering both algorithms, the effects of waiting time to the total distance are analyzed by comparing the simulation results.*

## 1. GİRİŞ

Günümüzde otomasyon teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte işletmelerin ayakta kalmaları ve gelişmeleri için hem kendilerini yenilemeleri hem de rekabet ortamına ayak uydurmaları gerekmektedir. Bu açıdan müşteri taleplerinin zamanında ve en az maliyetle karşılanması da önem kazanmıştır. Bunu sağlamak için kullanılan Araç Rotalama Problemi (ARP) iyi bilinmekte olan Gezgin Satıcı Problemi (GSP) ve Sandıklama (Bin-Packing) Probleminin birleşimi olarak görülen çok karmaşık bir optimizasyon problemidir. Geleneksel ARP, merkezi bir depoda bulunan sınırlı kapasiteye sahip araçlar için, depoyu içeren bir coğrafi alanda değişik noktalara dağılmış tüm müşterilere en az maliyetle servis yapılacak rotaların bulunmasıdır.

ARP NP (nondeterministic polynomial) karmaşıklığa sahiptir ve çözülmesi zaman alır. Bu yüzden, farklı alanlarda kullanılabilen ve kesin çözümü bulan tek bir

ARP yaklaşımı bulunmamaktadır ve problemin çözümü için kullanılan yaklaşımların çoğu sezgisel yaklaşımlardır. Sezgisel yaklaşımlar, probleme kesin bir çözüm bulmamakla beraber yaklaşık sonuç bulurlar. Problemin çözümü için Clark, Fisher, Taillard, Kidervater sezgisel temelli algoritmaları [1-4], Rochat, Xu, Tabu arama algoritmalarını [5-7], Shaw kısıtlamalı programlamayı [8], Toth Tanecikli Tabu arama algoritmasını [9], Gambardella Karınca kolonisi optimizasyonunu [10] kullanmışlardır.

Bu bildiride, ARP'de kullanılan araçların talep noktasında belli bir süre beklemesinin araçların tüm talepleri karşılamak için kat ettiği toplam yola dolayısıyla maliyete etkisi incelenmiştir. Bunu gerçekleştirmek için, graf teoremindeki kavramları kullanarak talep noktalarının düğüm, yolların da kenar olarak tanımlandığı nesne temelli simülasyon geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Problem içindeki unsurlar olan araçları, araçların kapasitelerinin, hızlarının ve depoların program içinde tanımlandığı arayüzler geliştirilmiştir. Taleplerin düzgün dağılmış olarak rasgele noktalardan geldiğini varsayan senaryo oluşturulmuş olup, oluşturulan bu senaryo, bekleme sürelerinin farklı durumları için uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak uygulanan senaryo için bekleme süresinin talepleri karşılamadaki araçların aldığı toplam yola etkisi irdelenmiştir. Bu işlem gerçekleştirilirken tek depo kullanılmıştır. Bu tek depo için araç sayısının bir ve iki olduğu durumlardaki bekleme sürelerinin alınan toplam yola etkisi araştırılmıştır. Senaryolar farklı durumlar için koşutururken iki farklı yaklaşımda bulunulmuştur. Bunlar;

- Gelen talebin, talebe en yakın aracın listesine eklenmesi,
- Gelen talebin, araçların gitmekte olduğu talep noktasına yakınlığına göre aracın talep listesine eklenmesi

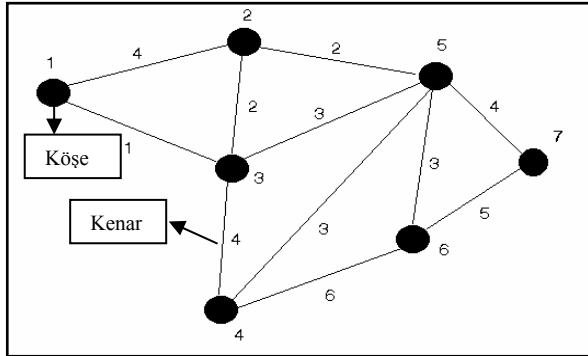
yaklaşımlardır. Her iki yaklaşım için de talep yönetimi kullanılmıştır. En kısa yolların tespiti için de en genel kısa yol belirleme algoritması olan Dijkstra algoritması kullanılmıştır.

ARP'nin en genel versiyonu Kapasiteli Araç Rotalama Problemidir (KARP). Biçimsel olarak bu problem; merkezi bir depoda teslimat işini gerçekleştiren  $k$  tane  $K$  kapasiteli  $V$  hıza sahip araçların o coğrafi alanda düzgün bir şekilde farklı noktalara dağılmış  $n$  tane müşterinin taleplerini en az  $M$  maliyetle karşılaması için kullanması gereken en uygun  $R$  rotalarının bulunması olarak tanımlanır. Müşteriler arasındaki mesafeler karşılıklı gidiş-geliş şeklinde simetrik olarak varsayılmaktadır. Tüm araçların talepleri karşılamak için kullanılması durumunda  $k$  tane rota bulunur.

ARP'nin en önemli uzantılarından birisi zaman kısıtlamalı olanıdır. Bu tür kısıtlamalı problemlerde her müşteriye, verilen zaman aralığında servis yapılması şartı vardır. Dolayısıyla servise başlama zamanının, zaman kısıtının başladığı zamana eşit ya da ondan büyük olması gerekir. Ayrıca varış zamanı da zaman kısıtının sona erdiği zamandan küçük olmalıdır. Talep noktasına verilen süreden erken ulaşılması durumunda araç beklemek zorundadır.

## 2. GRAF TEOREMİ

Graf Teorisi, bir olay ve ifadenin düğüm ve çizgiler kullanılarak gösterilmesi biçimidir.



Şekil-1. Örnek bir graf

Köşelerin düğüm (D), kenarların ise ayrıt (A) olarak tanımlandığı Grafın matematiksel olarak ifadesi  $G=(D, A)$  şeklindedir. Bir grafta köşeler nokta şeklinde, kenarlar ise çizgi şeklinde gösterilir. Bir grafın büyüklüğü o graftaki düğüm sayısına eşittir. Bir düğümün derecesi de o düğümüne giren ve çıkan kenarların toplamına eşittir.

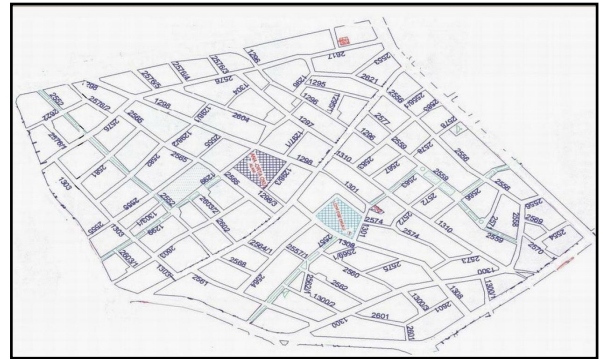
Graflar özelliklerine göre altıya ayrılmaktadır. Bunları; ağırlık ve yön bilgisinin olmadığı basit graf, yön bilgisinin olduğu yönlü graf, kenarların sayısal olarak ağırlıklandırıldığı maliyetli graf, her düğümün diğerine doğrudan bağlantısının olduğu tamamlanmış graf, tüm düğümlerin derecelerinin eşit olduğu düzenli graf ve hiçbir kenarın birbirini kesmediği düzlemsel graf olarak sıralamak mümkündür.

## 3. YERLEŞİM YERİNİN GRAF VERİ MODELİNE UYARLANMASI

Bir yerleşim yerinin şehir içi yol ağı graf veri modeli şekline uyarlanabilir. Nitekim graf veri modelinin kullanıldığı alanlardan birisi de bir yerleşim yerinin graf veri modeli şeklinde modellenmesidir. Birçok problem graf veri modeli şeklinde modellendiğinde karmaşık bir halden daha anlaşılır hale gelmektedir.

ARP'nin uygulanmak istendiği yerleşim yeri de graf veri modeli şeklinde ifade edilip modellenebilir. Böyle bir modelleme de şehir içi yol ağındaki sokaklar ve caddeler kenar, kavşaklar ve kıvrımlar da birer düğüm olarak tanımlanabilir. Bu şekilde modellenmiş bir yerleşim yerine, ARP için gerekli olan diğer unsurlar olan araçlar ve depolar da ilave edilerek ARP gerçekleştirilebilir.

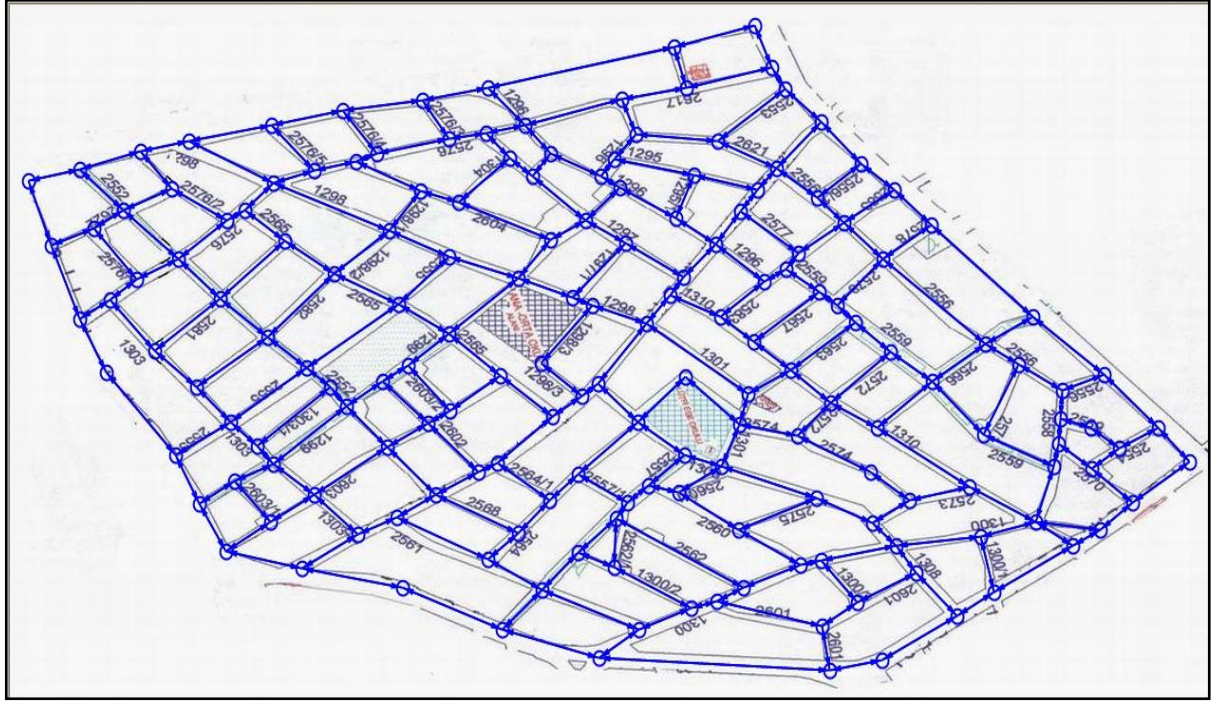
Düğümleri birbirine bağlayan kenarlar Şekil-2'deki örnek graftaki gibi uzaklık, zaman ve maliyet cinsinden ağırlıklandırılabilir. Bizim yaklaşımımızda da kenarlar yani düğümler arası mesafeler uzaklık (Metre, Kilometre, Mil) cinsinden ağırlıklandırılmıştır ve bu hem gidiş hem de geliş için eşdeğerdir yani simetriktr.



Şekil-2. Kullanılan yerleşim yeri

Yerleşim yeri olarak Denizli ili Mehmetçik Mahallesi kullanılmıştır. Düğümler arası uzaklıklar Euclidean uzaklık olarak hesaplanmıştır. Koordinatları bilinen iki düğüm arasındaki uzaklık Euclidean uzaklık olarak hesaplanmıştır.

Yerleşim yerinin graf veri modeline uyarlanmış hali Şekil-3'deki gibidir ve kenarlar uzaklık cinsinden ağırlıklandırılmış olup 2. bölümde bahsedilen yönlü ve maliyetli graf kullanılmıştır. Aynı şekilde yerleşim yeri ile yerleşim yerinin graf veri modeline uyarlanmış hali birleştirildiğinde hangi noktaların düğüm ve hangi cadde ve sokakların kenar şeklinde ifade edildiği daha net olarak görülmektedir.



Şekil-3. Yerleşim yerinin graf veri modeline uyarlanması

#### 4. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN UYGULAMASI

ARP'nin içinde değişmeyen üç tane unsur vardır. Bunlar araçlar, depolar ve müşterilerdir. Problemi uygulamak için bu üç unsurun sisteme ilave edilmesi gerekir. Araçlar, depolar ve müşteriler şu temel özelliklere sahip olduğu varsayılmaktadır.

Araçlar;

- Hepsi aynı özelliklere sahiptir.
- Sınırlı Kapasiteleri vardır.
- Belirli hızlara sahiptir.
- Hepsi depodadır.

Depolar;

- Sınırsız ürün stokuna sahiptir.
- Araçların bulunduğu yerlerdir.
- Bir düğüm üzerinde konumlandırılmışlardır.

Müşteriler;

- Deponun bulunduğu düğüm dışında her düğüm bir müşteriye ifade etmektedir.
- Belirli miktarda ürün talebinde bulunabilirler.

Arayüz kullanılarak bu üç unsur modelin içerisine belirtilen özellikleriyle birlikte eklenmektedir. Deponun eklenileceği düğümün belirlenmesi tamamıyla kullanıcıya bağlıdır. İstenilen herhangi bir düğüm depo konumu olarak belirlenebilir.

Deponun ve araçların sisteme ilave edilmesi Şekil-4'de gösterilmiştir. Depo Şekil-4'deki gibi graf üzerinde her hangi bir düğüme eklenmiştir. Yine aynı şekilde araç depoya eklenirken kapasitesi ve hızı belirlenmektedir.

Şekil-4. Deponun ve araçların grafa eklenmesi

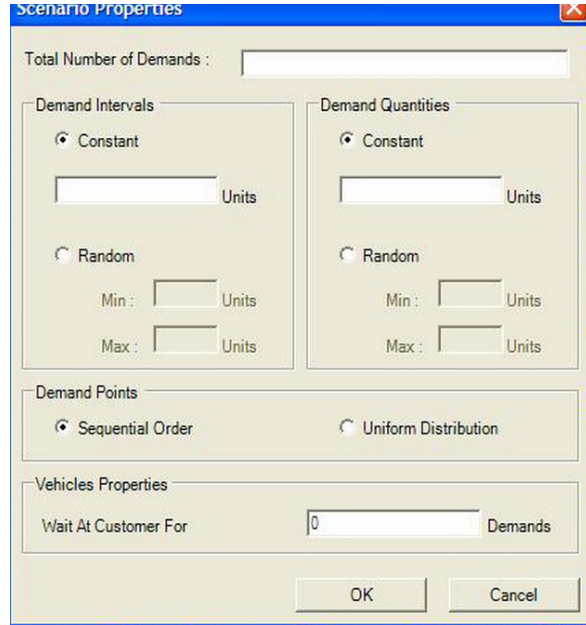
#### 5. SENARYO EKLEME VE ÇALIŞTIRMA

Bu çalışmada, merkezi bir depo etrafında konumlu müşteri noktalarından düzgün dağılmış bir şekilde belirli sayıda ve rasgele miktarlarda ve farklı zaman aralıklarında taleplerin geldiği varsayılmaktadır.

Bu varsayımdan yola çıkarak, farklı zaman aralıklarında rasgele 50 müşteriden gelen taleplerin karşılanmasında araçların gittikleri talep noktalarında belirli bir süre beklemesinin tüm taleplerin karşılanması için araçların aldığı toplam yola etkisini inceleyebilmek için aynı senaryoyu farklı durumlar için uygulamak gerekir. Bunun için oluşturulan senaryo farklı durumlara uygulanmak amacıyla kaydedilmiştir. Farklı durumlar; araç sayısındaki değişiklikler, zaman aralığındaki değişiklikler, bekleme süresindeki değişiklikler olarak düşünülebilir.



Bekleme süresi, aracın bir talebi karşıladıktan sonra gelecek kaç talep kadar beklemesi gerektiğini gösteren sayı olarak tanımlanmaktadır. Yani; eğer bekleme süresi 1 ise, araç karşıladığı bir talep noktasında 1 talep gelene kadar beklesin, talep geldiğinde kullanılması uygunsa kullanılsın değilse depoya dönsün. Tek araçlı problem de aracın böyle bir durum için depoya dönmesi gerekmez. Çünkü her durumda gelen talep problemde bulunan tek aracın talep listesine eklenmektedir. Bu durum özellikle 1'den fazla aracın söz konusu olduğu durumlar için daha anlamlı hale gelir. Böyle bir durumda talep noktasında bekleyen araçlar içerisinde bir sonra gelecek talep için en uygun olanı belirleyip kullanma imkânı vardır. Yani, gelecek olan yeni talebin kendisine en yakın araç tarafından karşılanması söz konusu olacaktır. Böyle bir durumda bekleme süresini dolduran araçlar da depoya dönecektir. Senaryonun sisteme ilave edilmesi, çalıştırılması ve gelen taleplerin karşılanması Şekil-5, Şekil-6 ve Şekil-7'deki gibidir.



Şekil-5. Senaryonun oluşturulması

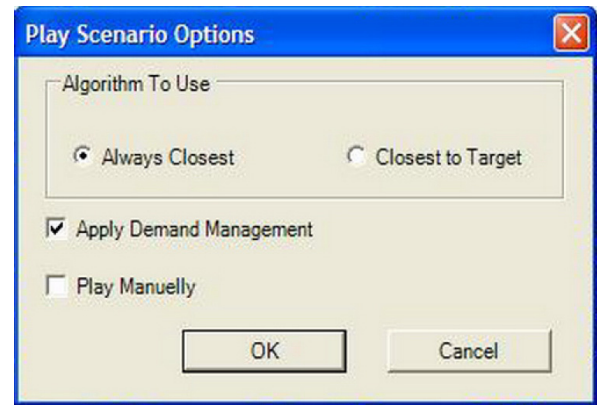
Oluşturulan senaryo ile şunlar belirlenmektedir;

- Gelen toplam talep sayısı
- Taleplerin geliş aralığı
- Talep miktarları
- Taleplerin geliş özelliği
- Aracın bekleme süresi

Gelen talep sayısı o senaryo için kaç müşteriden talep geldiğini belirten sayıdır. Taleplerin geliş aralığı iki özellik taşımaktadır. Birincisi, talepler sabit bir aralıkta gelebilir (Her 5 dakikada bir talep gibi). İkincisi, kesin bir zaman yoktur fakat zaman aralığı vardır. Talepler bu zaman aralığında rasgele bir zamanda gelmektedir (1-15 dakika arası gibi).

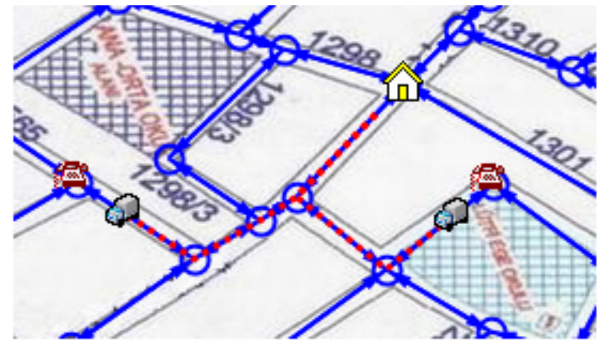
Talep miktarları da zaman gibi iki özelliğe sahiptir. Her müşteriden sabit miktarda talep gelmesi veya herhangi bir aralıkta rasgele miktarda talep gelmesidir. (1-10 birim aralığında rasgele miktarda gelen tüp siparişi gibi)

Taleplerin geliş sırası iki şekilde olabilir; birincisi sıralı bir şekilde gelir. Bu sıra önceden bilinir ve her seferinde talepler bu geliş sırasına göre gelir. İkincisi ise taleplerin rasgele noktalardan gelmesidir, talebin hangi noktadan geleceği belli değildir ve araçların bu duruma göre rotalanması gerekir. Taleplerin düzgün dağılmış bir şekilde rasgele geldiği varsayılmıştır. Bekleme süresi de daha önce belirttiğimiz gibi aracın gittiği noktada kaç talep gelinceye kadar beklemesi gerektiğini ifade eden sayıyı gösterir.



Şekil-6. Senaryonun çalıştırılması

Senaryo çalıştırıldığında Şekil-6'deki gibi program, daha önce bahsedilen algoritma yaklaşımlarından kullanılmak istenen hangisi ise onun seçilmesine ve talep yönetimi özelliğinin aktif hale getirilmesine imkân sunmaktadır.



Şekil-7. Taleplerin karşılanması

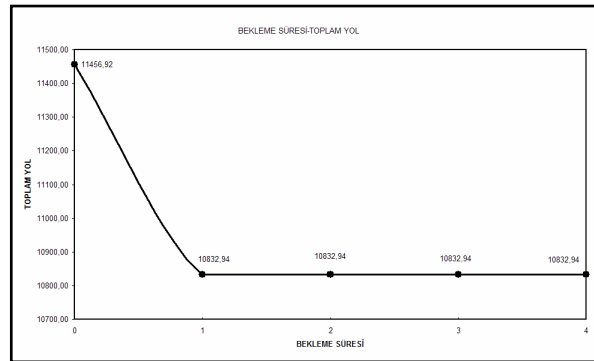
Senaryo çalışmaya başladığı andan itibaren araçlar, algoritmanın öngördüğü şekilde davranış sergileyerek talep noktalarına hareket etmektedirler. Şekil-7'de bu durum gösterilmiştir. Şekil-7'de görüldüğü gibi araçların geçtiği güzergahlar noktalı işaretlerle, depo, araç ve talep noktaları çeşitli simgelerle gösterilmiş ve senaryolar için görsel bir ortam oluşturulmuştur.

## 6. SONUÇLAR

Şekil [8–11]'deki sonuçlar incelendiğinde bir aracın herhangi bir talebi karşıladıktan sonra bu talep noktasında belirli bir süre beklemesinin araçların aldığı toplam yolun oldukça azalmasını sağladığı görülmektedir. Bekleme süreleri tek depo için araç sayısı artırılarak daha önce bahsedilen varsayımlara göre yapılmıştır. İki ve daha fazla aracın kullanıldığı durumlarda her iki yaklaşımın az da olsa farklı sonuçlar verdiği ve bekleme süresinin artmasının toplam alınan yolun azalması gerçeğini değiştirmediği görülmüştür. Ayrıca araç sayılarının artması alınan toplam yolu artırmıştır. Fakat burada tek araçlı, iki araçlı ve üç araçlı durum için bekleme süresinin alınan toplam yola etkisi birbirinden bağımsız olarak irdelenmiş ve bekleme süresinin araçların aldığı toplam yolun azalmasını sağladığı görülmüştür.

Yaklaşım	Algoritma	Bekleme Süresi	Toplam Zaman	Toplam Yol	Toplam Talep
1. YAKLAŞIM	0	0	541	11456,92	373
	0	1	515	10832,94	373
	0	2	515	10832,94	373
	0	3	515	10832,94	373
	0	4	515	10832,94	373
2. YAKLAŞIM	1	0	541	11456,92	373
	1	1	515	10832,94	373
	1	2	515	10832,94	373
	1	3	515	10832,94	373
	1	4	515	10832,94	373

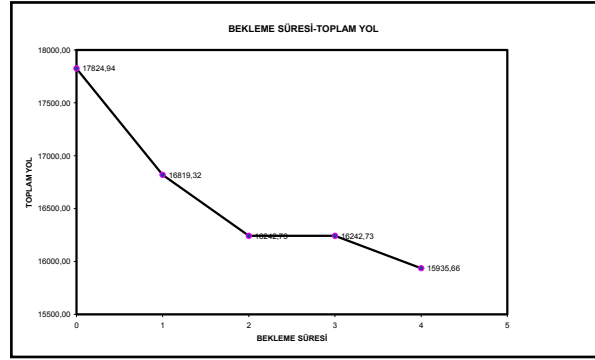
Şekil-8. Bir depo ve bir araç için elde edilen sonuçlar



Şekil-9. Bekleme süresi-toplam yol grafiği

Yaklaşım	Algoritma	Bekleme Süresi	Toplam Zaman	Toplam Yol	Toplam Talep
1. YAKLAŞIM	0	0	459	17824,94	373
	0	1	454	16819,32	373
	0	2	461	16242,73	373
	0	3	461	16242,73	373
	0	4	461	15935,66	373
2. YAKLAŞIM	1	0	455	18474,81	373
	1	1	454	16994,34	373
	1	2	436	15699,47	373
	1	3	436	15448,16	373
	1	4	475	15504,42	373

Şekil-10. Tek depo iki araç için elde edilen sonuçlar



Şekil-11. Bekleme süresi-toplam yol grafiği

## KAYNAKLAR

- [1] Clark G., Wright J.W., Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points, *Operations Research*, Vol 12, pp 568-581, 1964.
- [2] Fisher M. L., Jaikumar R., A generalized assignment heuristic for vehicle routing, *Network* 11, pp 109-124, 1981.
- [3] Taillard É. D., Parallel Iterative Search Methods for Vehicle Routing Problems, *Networks*, Vol 23, pp 661-673, 1993.
- [4] Kindervater G.A.P., Savelsbergh M.W.P., Vehicle routing: handling edge exchanges, eds. *Local search in Combinatorial Optimization*, edited by Aarts E. and Lenstra J.K., John Wiley & Sons, pp 337-360, 1997.
- [5] Rochat Y., Taillard É. D., Probabilistic Diversification and Intensification in Local Search for Vehicle Routing, *Journal of Heuristics*, Vol 1, pp 147-167, 1995.
- [6] Xu J., Kelly J., A Network Flow-Based Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem, *Transportation Science*, Vol 30, pp 379-393, 1996.
- [7] Taillard É. D., Badeau P., Gendreau M., Guertin F., Potvin J.Y., A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows, *Transportation Science*, Vol 31, pp 170-186, 1997.
- [8] Shaw P., Maher M., Puget J. F., Using Constraint Programming and Local Search Methods to Solve Vehicle Routing Problems, *Proceedings of the Fourth International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming (CP '98)*, pp 417-431, 1998.
- [9] Toth P., Vigo D., The Granular Tabu Search (and its Application to the Vehicle Routing Problem), *Technical Report*, Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica, Vol 15, Iss 4, pp 333-346, 1998.
- [10] Gambardella L.M, Taillard E. D., Agazzi G., MACS-VRPTW: A Multiple Ant Colony System for Vehicle Routing Problems with Time Windows, *New Ideas in Optimization*, McGraw-Hill, London, UK, pp 63-76, 1999.