

OKUL SERVİSİ ROTALAMA PROBLEMİ: BİR UYGULAMA

Emrah Uzumer ve Tamer EREN

Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara yolu 71451, Kırıkkale

info@emrahuzumer.com, teren@kku.edu.tr

ÖZET

Okul servisi rotalama, araç rotalama probleminin özel bir halidir. Okul servisi rotalama problemi; toplam maliyeti en küçükleyerek, öğrencilerin belirli toplama noktalarından alınarak okula bırakılması veya öğrencilerin okuldan alınarak belirli dağıtım noktalarına bırakılması problemidir.

Bu çalışmada da Kırıkkale'de faaliyet gösteren bir firmanın dört yere yapmış olduğu servis güzergahı incelenmiştir. Matematiksel programlama modeliyle de optimal çözümler bulunmuş ve mevcut durumla karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Araç rotalama problemi, okul taşıt rotalama, matematiksel programlama

School Bus Routing Problem: A Case Study

Abstract

School vehicle routing problem is a special form of vehicle routing problem. School vehicle routing problem consists of minimizing the total cost of collecting students from specific points and leaving to school, or taking from school and distributing to specific points.

In this study, four route of a bus service firm which is operating in Kırıkkale was investigated. Mathematical model of the problem is set and optimal solutions are found. Solutions are compared with current situation.

Keywords: Vehicle routing problem, school vehicle routing, mathematical programming

1.GİRİŞ

Günümüz küresel piyasasında yoğun rekabet, kısa yaşam eğrisine sahip ürünler ve müşterilerin artan beklentileri, üreticileri dağıtım sistemlerine yatırım

yapmalarına ve gereken önemi vermelerine zorlamıştır. Bu durum, iletişim ve ulaşım teknolojilerindeki değişimle birlikte, örneğin mobil iletişim ve gıda dağıtım gibi, lojistik yönetiminin sürekli gelişimine neden olmuştur. Lojistik sisteminin en önemli parçası ve problemi ise araç rotalama problemidir[1].

Araç rotalama problemi (ARP), bir veya birkaç depoya sahip ve belirli sayıda müşterileri veya şehirleri olan firmanın, ürün dağıtımını yaparken seyahat mesafesini minimize etmeye çalışan problemidir. Genellikle bu probleme araç kapasitesi, yol uzunluğu, belirli bir zaman periyodunda servis edilmesi gereken müşteriler gibi bazı kısıtlar eklenir.

Araç rotalama problemi, fiziksel dağıtım ve lojistik alanında önemli bir yönetim problemidir. Tipik bir araç rotalama problemi, bir dağıtım noktasından şehir, mağaza, depo, okul, müşteri gibi coğrafik olarak dağılmış noktalara, en düşük maliyetli rotaları tasarlama problemidir. Bir rota, her noktanın bir kez ve bir araç tarafından ziyaret edildiği, tüm rotaların dağıtım noktasında başlayıp bittiği ve belirli bir rotadaki tüm noktaların toplam talebinin, bu rotayı yönetmek için tahsis edilen araç kapasitesini aşmadığı şekilde tasarlanmalıdır[2,3].

Araç rotalama problemleri gerçek hayattaki bazı özel durumlardan kaynaklanan bazı kısıtlar nedeniyle çeşitli dallara ayrılır. Başlıca çeşitleri;

- Karma kapasiteli araç rotalama problemi
- Çoklu depoya sahip araç rotalama problemi
- Belirsiz talebe sahip araç rotalama problemi
- Geri toplaması olan araç rotalama problemi
- Açık uçlu araç rotalama problemi
- Asimetrik araç rotalama problemi
- Okul servisi rotalama problemi
- Zaman pencereli araç rotalama problemi
- Bölünmüş talebe sahip araç rotalama problemi

Araç Rotalama Problemi (ARP), kombinatoriyal eniyileme problemi grubuna girmektedir. Bu sınıftaki problemlerin büyük bir kısmı NP-Zor olarak adlandırılmaktadır. Problemin uygulamada karşılaşılabilecek uzantılarından biri de “Okul Servisi Rotalama Problemidir” (OSRP). Bu çalışmada da OSRP problemi ele alınacaktır.

OSRP ile ilk çalışma Newton ve Thomas [4], tek okul 80 duraklı problem için başlangıçta GSP turu oluşturulmuş ve her araç bir güzergahı kullanacak şekilde iyileştirmişlerdir [4]. Angel vd. [5], 5 okul 1500 öğrenci için araç durakları kümeleme algoritmasıyla gruplandırılarak çözmüşlerdir. Newton ve Thomas [6], birden fazla okul için gezgin satıcı turu kullanılarak çözmüşlerdir. Bodin ve Berman [7], 25 okul 13000 öğrenci için rotalama ve çizelgelemeyi ele alan bir algoritma önermişlerdir. Swersey ve Ballard [8], tek okul için okul zaman penceresi ile çözmüşlerdir. Chen ve Kallsen [9], tek okul için rotalama ve çizelgeleme ele alınarak çözmüşlerdir. Bowerman vd. [10], tek okul 138 öğrenci için çok amaçlı olarak modellemişlerdir. Braca vd. [11], 73 okul 4619 öğrenci için Karma ARP için geliştirilen sezgisel yöntemi kullanmışlardır. Serna ve Bonrosto [12] tek okul için tabu algoritması kullanarak çözmüşlerdir. Corberan vd. [13], tek okul için sezgisel bir yöntemle çözmüşlerdir. Spada vd. [14], 12 okul 274 öğrenci için tavlama benzetimi ve tabu algoritması kullanmışlardır. Geem [15] tek okul için harmoni arama yöntemini kullanmıştır. Pacheco ve Marti [16], tek okul (58 farklı okul) için tabu algoritması kullanmışlardır. Ledesma vd. [17], tek okul için polinom sayıda değişken ve üstel sayıda kısıt içeren model önermişlerdir. Bektas ve Elmastaş [18], tek okul 519 öğrenci için tamsayı programlama modeli ile çözümlerdir. Demir [3] çalışmada, OSRP için polinom boyutta yeni geliştirilen ikisi düğüm tabanlı, ikisi akış tabanlı dört tamsayı karar modeli kurmuştur. Fügenschuh [19] birden çok okul için tamsayı programlama modeli ile modellemiştir. Ledesma ve Gonzalez [20] OSRP dal-kesme algoritmasıyla çözmüşlerdir. Euchl ve Mrahi, [21] aynı problemi hibrid yapay karınca koloni algoritması ile çözmüşlerdir.

Bu çalışmada OSRP problemi, Kırıkkale’de okul servisi yapan bir firmada uygulanmıştır. Bulunan sonuçlar mevcut durumla karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde OSRP problemi anlatılacaktır. Örnek uygulama üçüncü bölümde verilecektir. Son bölüm olan dördüncü bölümde ise yapılan çalışma değerlendirilecek ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar hakkında önerilerde bulunulacaktır.

2. OKUL SERVİSİ ROTALAMA PROBLEMİ

OSRP’nin en genel tanımı; toplam maliyeti en küçükleyerek, öğrencilerin belirli toplama noktalarından alınarak okula bırakılması veya öğrencilerin okuldan alınarak belirli dağıtım noktalarına bırakılması problemidir [3].

Her okul sisteminde okula getirilecek ve okuldan evlerine veya duraklara bırakılacak öğrencilerin olduğu ve bunun da en etkin şekilde çözülmesi gerektiği ortadadır. Bu yüzden OSRP üzerinde durulması ve çalışılması gerekmektedir.

Tüm bu karar verici mekanizmaların oluşturduğu problemin aradığı asıl cevap, karar değişkenleriyle gösterilmektedir. OSRP için temel karar değişkenleri, öğrencilerin hangi sırada belirli toplama noktalarından alınarak okula bırakılacağını ve öğrencilerin hangi sırada okuldan alınarak belirli dağıtım noktalarına bırakılacağını göstermektedir.

Problem Girdileri:

- N tüm düğümlerin kümesi $(0, \dots, N)$,
 N_0 öğrenci/işçi kümesi $(1, \dots, N)$,
 c_{ij} i müşterisinden j müşterisine geçiş maliyeti/uzaklığı,
 d_i i durağındaki öğrenci/işçi sayısı,
 K araç sayısı

Karar Değişkeni:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer araç } i \text{ den } j \text{ ye gidiyorsa } \forall (i, j) \in N \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Model:

Amaç fonksiyonu:

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N_0 \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N_0 \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0 - 1\} \quad \forall i, j \in N \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i0} - k = 0 \quad (5)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0j} - k = 0 \quad (6)$$

$$U_i - U_j + Cx_{ij} \leq C - d_j \quad \forall i, j \in N_0, i \neq j$$

$$, d_i + d_j \leq C \quad (7)$$

$$d_i \leq U_i \leq C \quad \forall i \in N_0 \quad (8)$$

Bu matematiksel modelde, amaç fonksiyonu (1) toplam güzergah uzunluğunu en küçükmektedir. (2) ve (3) numaralı kısıtlar atama kısıtlarıdır ve her ara düğümün sadece bir defa ziyaret edilmesini sağlamaktadır.(4) numaralı kısıt x karar değişkenlerinin '0' ya da '1' değerini almasını sağlamaktadır. (5) ve (6) numaralı kısıtlar başlangıç düğümünden k aracın çıkmasını ve aynı sayıda aracın bitiş düğümüne girmesini sağlamaktadır.

Burada U_i i düğümünden çıkan aracın kişi sayısını belirleyen yeni karar değişkenidir. Bu kısıtlarda görüldüğü gibi, x_{ij} karar değişkeni '1' değerini alırsa (7) numaralı kısıt $U_j \geq U_i + d_j$ şeklinde olacaktır ve (8) numaralı kısıt ile beraber incelendiğinde alt turları ve araç kapasitesinin aşılması engellenecektir. x_{ij} karar değişkeni '0' değerini aldığıda ise (7) numaralı kısıt, $U_i \leq C$ ve $d_i \leq U_j$ olduğu için, anlamsız olacaktır.

Okul servisi rotalama problemi, bazı yönleriyle yöneylem araştırması literatüründe iyi bilinen Kapasiteli Araç Rotalama Problemine (KARP) benzemektedir. Ancak KARP'ta, araçların rotalarına başladıkları yere geri dönme zorunluluğu vardır. Okul araç rotalamada ise, servis araçları genellikle tek bir yoldan öğrencileri alarak, yine aynı yol üzerinde aynı öğrencileri bırakırlar. Dolayısıyla araçların okula geri dönme zorunluluğu yoktur. O halde KARP'ta rotalar *tur*, okul araç rotaları ise *yol* şeklindedir[18].

Bu modelde Mesafe ve Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminden (MKARP) faydalanmıştır. Bu model hem mesafeyi hem de kapasiteyi dikkate alarak, toplam maliyeti en küçükmeye çalışmaktadır. OSRP probleminde de amaç kapasite ve mesafeyi dikkate alarak toplam maliyetin en küçüklmesi olmaktadır. Bu nedenle, bunların OSRP'ye uyarlaması yapılmıştır. Özellikle problemde hareket noktalarının okul veya depo olması ve her hangi biri seçildiğinde, araçların diğer noktaya gitmesi yani başladığı noktaya dönmemesi gibi konularda değişiklik yapılmıştır[3].

3.ÖRNEK UYGULAMA

Bu uygulama Kırıkkale'de Tahsinoğulları okul servislerinden bir tanesi baz alınarak servis güzergahı; okul servisi rotalama problemi uygulanarak yeniden düzenlenmiştir. Servisin sadece sabahki rotası ele alınmıştır. Çünkü dönüşler

başka servisler tarafından yapılmaktadır. Servisin sabahki güzergahları sırasıyla şu şekildedir:

1. Atatürk Sağlık Meslek Lisesi (ASML)
2. Makine Kimya Endüstrisi (MKE)
3. Kırıkkale Anadolu Lisesi(KAL)
4. Özel Kızılırmak İlköğretim Okulu(ÖKİO)

Servis güzergahının durakları ve birbirlerine olan uzaklıkları dijital haritadan hesaplanmıştır.

Servislerin değişken ve kısıtların sayıları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Servislerin değişken ve kısıt sayıları

Servisler	Değişken sayısı	Kısıt sayısı
ASML	794	223
MKE	624	223
KAL	436	160
ÖKİO	624	223

Problem GAMS 23.5.1 paket programında INTEL COREi5 2.53 GHZ işlemcili,4GB RAM'li Win7 HomeBasic işletim sistemli bilgisayarda çözdürülmüştür. Problemin GAMS 23.5'de çözdürüldükten sonraki mevcut ve optimal rotaların karşılaştırılması Tablo 5'de verilmiştir. Tablo 5'de görüldüğü gibi MKE ve KAL'da 9 durak ASML ve ÖKİO'da 12 durak mevcuttur. MKE ve ÖKİO'da mevcut durumda optimal durum aynı olduğu görülmüştür. ASML'de %21.06'lık bir iyileşme ve KAL'de % 3.21'lik iyileşme görülmüştür.

Tablo 5. Mevcut ve optimal rotalama ve mevcut durumun iyileşme oranı

Güzergah	Mevcut rota	Optimal rota	İyileşme oranı (%)
ASML	0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	0-1-10-9-8-6-7-5-4-3-2-11	21.06
MKE	0-1-2-3-4-5-5-6-7-8	0-1-2-3-4-5-6-7-8	0
KAL	0-1-2-3-4-5-6-7-8	0-1-5-4-3-2-6-7-8	% 3.21
ÖKİO	0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	0

4.SONUÇ ve ÖNERİLER

Okul servisi rotalama problemleri, günlük hayatta genellikle kişilerin sezgi veya tecrübelerine dayanarak yapılmakta, ancak ortaya çıkan planlar, maliyet veya süre açısından istenilen düzeyde olmamaktadır. Literatürde incelenen okul servisi rotalama problemleri ise, büyük boyutlu olmasından dolayı genellikle sezgisel yöntemler kullanılarak çözülmüş, bu durumda bile mevcut uygulamalara kıyasla çok daha iyi çözümler elde edilmiştir.

Bu çalışmada Kırıkkale’de servis hizmeti göre bir firmada 4 yer için incelenmiş ve iki yerin mevcut durumla aynı olduğu görülmüştür. Önerilen güzergahla ASML’de % 21.06 ve KAL’da ise %3.21’lik iyileşme olduğu gösterilmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda okulun veya fabrikanın tüm servisleri için problem incelenebilir. Bu durumda, problem büyük boyutlu olacağından dolayı optimal çözüme ulaşmak mümkün olmayabilir. Böyle bir durumda optimal olmasa bile optimale yakın çözümler sunabilen sezgisel yöntemler kullanılabilir.

5.KAYNAKLAR

- [1] J. Braca, J. Bramel, B. Posner, D. Simchi-Levi, “A computerized approach to the New York city school bus routing problem”, IIE Trans 29: 693-702, 1997.
- [2] J. Xu, J. Kelly, “A network flow-based tabu search heuristic for the vehicle routing problem”, Journal of Heuristics, 129-146, 1996.
- [3] E. Demir, “Okul taşıtları rotalama problemi için tamsayılı karar modelleri”, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, 2008.
- [4] R. Newton, W. Thomas “Design of school bus routes by computer”, Socio-Economic Planning Science, Vol. 3, 75-85, 1969.
- [5] R. Angel, W. Claude, R. Noonan, A. Whinston, “Computer assisted school bus scheduling”, Management Science, Vol.18, 279-288, 1972.
- [6] R. Newton, W. Thomas, “Bus routing in a multischool system”, Comput. Opns. Res: 213-222 , 1974.
- [7] L. Bodin, L. Berman , “Routing and scheduling of school busses by computer” , Transport Sci 24: 113-129 , 1979.
- [8] A. Swersey, W. Ballard, “Scheduling school busses , Management Science”, Vol.30, No.7, 844-853, 1984.
- [9] D. Chen, H. Kallsen, R. Snider, “School bus routing and scheduling: an expert system approach”, Comput IE 15: 179-183, 1988.
- [10] R. Bowerman, B. Hall, P. Calamai, “A multiobjective optimization approach to urban school bus routing: formulation and solution method”, Transport Res 29A: 107-123, 1995.
- [11] J. Braca, J. Bramel, B. Posner, D. Simchi-Levi, “A computerized approach to the New York city school bus routing problem”, IIE Trans 29: 693-702, 1997
- [12] C. Serna, J. Bonrosto, “Minmax vehicle routing problems: application to school transport in the provience of burgos(SPAIN)”, Teknik Rapor, 2001.
- [13] A. Corberan, E. Fernandez, M. Laguna, R. MArti, “Heuristic solutions to the problem of routing school buses with multiple objectives , Journal of the Operational Research Society”, 53: 427-435 , 2002.
- [14] M. Spada, M. Bierlaire, T. Liebling, “Decision-aid methodology for the school bus routing and scheduling problem”, 3rd Swiss Transport Research Conference , 2003.
- [15] Z Geem, “School bus routing using harmony search”, GECCO 2005.
- [16] J. Pacheo, R. Marti, “Tabu search for multi-objective routing problem”, Journal of the Operational Research Society, 57: 29-37, 2006.
- [17] J. Ledesma, J. Gonzales, “Solving a school bus routing problem” , Tenerife, SEIO, 2006.
- [18] T. Bektaş, S. Elmastaş, “Okul Araç Rotalama Probleminin Tamsayılı Programlama ile Çözümü”, YA/EM 2004.
- [19] A. Fügenschuh, “Solving a school bus scheduling problem with integer programming”, European Journal of Operational Research, 193 (3), 867–884, 2009.
- [20] J. Ledesma, J. Gonzales, “J. Ledesma, J. Gonzales, “Solving school bus routing using the multiple vehicle traveling purchaser problem: A branch-and-cut approach” Computers & Operations Research 39 (2), 391–404, 2012.
- [21] J. Euchi, R. Mraih, “The urban bus routing problem in the Tunisian case by the hybrid artificial ant colony algorithm”, Swarm and Evolutionary Computation, 15–24, 2012.