



1. ULUSAL YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI ve ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ

İSTANBUL'DAKİ HASTANELERDEN TIBBİ ATIKLARIN TOPLANMASI İÇİN ARA TESİSE UĞRAMALI BİR ARAÇ ROTALAMA MODELİ

Deniz Aksen
Koç Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
Müge Güçlü
Koç Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü



AJANDA

- Problem Tanımı
- Mevcut Literatür
- Çözüm Yöntemi
- Test Sonuçları

5 Temmuz 2011

2

PROBLEM TANIMI

- Tıbbi atık yönetimi halk sağlığı açısından çok önemli.
- Atıkların yanlış yönetimi toplamada görevli kişilerin sağlığına etki ediyor.
- Anadolu ve Avrupa yakası için ayrı rotalama gerekiyor.
- Tıbbi atık araçları garaja geri dönmeden önce yakma merkezine uğruyor.
- Araçlar hangi hastaneleri hangi rotalarda ziyaret etsin?
- Amaç araçlar tarafından kat edilen toplam uzaklığı ve dolayısıyla araçların yakıt masrafını enküçükleme.
- Tahsis edilen araç filosunun CO₂ salınımını enküçükleme.

5 Temmuz 2011

3

LİTERATÜR TARAMASI

- Atık toplama araçlarının rotalanması – zaman penceresi ve birden fazla yakma merkezi. J.E. Beasley, A.M. Benjamin. Computers&OR 2007
- Atık motor yağlarının toplanması ve geri dönüşümü için web tabanlı karar destek sistemi. C.D. Tarantilis, G. Ioannou, P.P. Repoussis, D.C. Paraskevopoulos, G. Zobolas. EJOR 2009
- İstanbul'daki tıbbi atıkların toplanmasında en etkin yöntem karar verilmesi. A.Z. Alagöz, G. Kocasoy. Waste Management 2008
- İstanbul'daki tıbbi atıkların toplanması ve taşınmasında kullanılan rotalamanın iyileştirilmesi., A.Z. Alagöz, G. Kocasoy. Waste Management 2008
- Ara tesise uğramalı periyodik araç rotalama problemi. E. Angelelli, M.G. Speranza. European Journal of Operational Research 2002

5 Temmuz 2011

4

İMGELER

İndeks Kümeleri:

- IC** : hastane düğümleri
- IY** : yakma merkezleri
- I** : garaj dahil tüm noktalar ($IC \cup IY \cup \{0\}$)

İkili Karar Değişkenleri:

- X_{ij} : 1 eğer j noktası i noktasından sonra ziyaret edildiye, 0 diğer durumda. (i ve $j \in I, i \neq j$)

5 Temmuz 2011

5

İMGELER

Negatif Olmayan Sürekli Değişkenler:

- U_i : i lokasyonunu ziyaret eden bir aracın o lokasyondan ayrıldıktan sonraki yükü ($i \in I$)
- Y_i : i yakma merkezine giren/çıkan ark sayısı ($i \in IY$)
- A_i : i lokasyonunu ziyaret eden bir aracın o lokasyona varış zamanı ($i \in IC \cup IY$)

5 Temmuz 2011

6

Parametreler

- d : kullanıma uygun araç sayısı.
- k : yakma merkezi sayısı.
- v : birim araç işletim maliyeti.
- c_{ij} : i ve j düğümleri arasındaki mesafeyi kat etmek için araç yakıt masrafı. (i ve $j \in I$).
- t_{ij} : i ve j düğümleri arasındaki mesafeyi kat etmek için geçen süre (i ve $j \in I$).
- s_j : i düğümü servis süresi (i ve $j \in IC \cup ID$).
- TT : maksimum tur zamanı.
- M : Büyük-M sayısı. $\max_{(i,j) \in I \setminus \{0\}} \{TT + s_i + t_{ij}\}$
- Q : araç kapasitesi.
- q_i : i düğümündeki atık miktarı. ($i \in IC$).

5 Temmuz 2011

7

MATEMATİKSEL MODEL – Yükseltilmiş Millet-Tucker-Zemlin Eşitsizlikleri

$$\text{minimize } z = \sum_{i \in IC} (v + c_{0i}) X_{0i} + \sum_{i \in IC} \sum_{\substack{j \in IC \cup IY \\ i \neq j}} c_{ij} X_{ij} + \sum_{i \in IY} c_{i0} Y_i$$

$$\text{subject to: } \sum_{i \in IC} X_{0i} \leq d$$

$$\sum_{\substack{j \in IC \setminus \{0\} \\ i \neq j}} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in IC$$

$$\sum_{\substack{j \in I \setminus \{0\} \\ i \neq j}} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in IC$$

$$\sum_{j \in IC} X_{ij} = Y_i \quad \forall i \in IY$$

$$\sum_{i \in IC} X_{0i} = \sum_{j \in IY} Y_j$$

$$\sum_{i \in IC} X_{0i} = 0$$

$$\sum_{i \in IY} \sum_{j \in IC} X_{ij} = 0$$

5 Temmuz 2011

8

MATEMATİKSEL MODEL - Yükseltilmiş Millet-Tucker-Zemlin Eşitsizlikleri

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in I} X_{ij} = 0$$

$$X_{i0} \geq \frac{1}{d} Y_i \quad \forall i \in IY$$

$$X_{i0} \leq Y_i \quad \forall i \in IY$$

$$U_i - U_j + QX_{ij} + (Q - g_i - g_j)X_{ji} \leq Q - g_j \quad \forall (i,j) \in IC, i \neq j$$

$$g_i \leq U_i \leq Q \quad \forall i \in IC$$

$$A_j \leq A_i + s_i + t_{ij} + (1 - X_{ij})M \quad \forall i \in IC \cup \{0\}, \forall j \in IC \cup \{0\}, i \neq j$$

5 Temmuz 2011

9

MATEMATİKSEL MODEL - Yükseltilmiş Millet-Tucker-Zemlin Eşitsizlikleri

$$A_j \geq A_i + s_i + t_{ij} - (1 - X_{ij})M \quad \forall i \in IC \cup \{0\}, \forall j \in I \setminus \{0\}, i \neq j$$

$$A_i + s_i + t_{i0}X_{i0} - (1 - X_{i0})M \leq TT \quad \forall i \in IY$$

$$A_0 = 0$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in I$$

$$Y_i \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in IY$$

$$A_j \geq 0, U_i \geq 0 \quad \forall i \in IC$$

5 Temmuz 2011

10

İMGELER

İndeks Kümeleri:

IC : hastane düğümleri

IY : yakma merkezleri

I : garaj dahil tüm noktalar ($IC \cup IY \cup \{0\}$)

İkili Karar Değişkenleri:

X_{ij} : 1 eğer j noktası i noktasından sonra ziyaret edildiye, 0 diğer durumda. (i ve $j \in I, i \neq j$)

5 Temmuz 2011

11

İMGELER

Negatif Olmayan Sürekli Değişkenler:

F_{ij} : i düğümünden j düğümüne olan atık akışı

U_i : i lokasyonunu ziyaret eden bir aracın o lokasyondan ayrıldıktan sonraki yükü ($i \in I$)

Y_i : i yakma merkezine giren/çıkan ark sayısı ($i \in IY$)

A_i : i lokasyonunu ziyaret eden bir aracın o lokasyona varış zamanı ($i \in IC \cup IY$)

5 Temmuz 2011

12

Parametreler

- d : kullanıma uygun araç sayısı.
- k : yakma merkezi sayısı.
- v : birim araç işletim maliyeti.
- c_{ij} : i ve j düğümleri arasındaki mesafeyi kat etmek için araç yakıt masrafı. (i ve $j \in I$).
- t_{ij} : i ve j düğümleri arasındaki mesafeyi kat etmek için geçen süre (i ve $j \in I$).
- s_j : j düğümü servis süresi (i ve $j \in IC \cup ID$).
- TT : maksimum tur zamanı.
- M : Büyük-M sayısı. $\max_{(i,j) \in I \setminus \{0\}} \{TT + s_i + t_{ij}\}$
- Q : araç kapasitesi.
- q_i : i düğümündeki atık miktarı. ($i \in IC$).

5 Temmuz 2011

13

MATEMATİKSEL MODEL - Gavish-Graves Akış Değişkenli Model

$$\text{minimize } z = \sum_{i \in IC} (v + c_{0i}) X_{0i} + \sum_{i \in IC} \sum_{\substack{j \in IC \cup IY \\ i \neq j}} c_{ij} X_{ij} + \sum_{j \in IY} c_{j0} \sum_{i \in IC} X_{ij}$$

$$\text{subject to: } \sum_{\substack{j \in IC \cup \{0\} \\ i \neq j}} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in IC$$

$$\sum_{\substack{j \in I \setminus \{0\} \\ i \neq j}} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in IC$$

$$\sum_{\substack{j \in IC \cup \{0\} \\ i \neq j}} X_{ij} = \sum_{\substack{j \in I \setminus \{0\} \\ i \neq j}} X_{ij} \quad \forall i \in IY$$

$$\sum_{i \in IC} X_{0i} = \sum_{i \in IC} \sum_{j \in IY} X_{ij}$$

5 Temmuz 2011

14

MATEMATİKSEL MODEL - Gavish-Graves Akış Değişkenli Model

$$\sum_{j \in I} F_{ij} - \sum_{\substack{j \in IC \cup \{0\} \\ i \neq j}} F_{ji} = q_i \quad \forall i \in IC$$

$$q_i X_{ij} \leq F_{ij} \leq (Q - q_j) X_{ij} \quad \forall i \in IC \cup \{0\}, \forall j \in I, i \neq j$$

$$A_j \geq A_i + s_j + t_{ij} - (1 - X_{ij})M \quad \forall i \in IC \cup \{0\}, \forall j \in I \setminus \{0\}, i \neq j$$

$$Y_j \geq \frac{1}{|IC|} \sum_{i \in IC} X_{ij} \quad \forall j \in IY$$

$$A_j + s_j + t_{j0} \leq TT + (1 - Y_j)M \quad \forall j \in IY$$

$$A_0 = 0$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in I$$

$$Y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in IY$$

$$A_i \geq 0, F_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in IC \cup \{0\}$$

5 Temmuz 2011

15

MATEMATİKSEL MODEL - Gavish-Graves Akış Değişkenli Model

GAVISH-GRAVES GEÇERLİ EŞİTSİZLİKLERİ

$$\sum_{i \in IC} X_{0i} \leq d$$

$$A_j \geq t_{0j} X_{0j} \quad \forall j \in IC$$

$$X_{ij} + X_{ji} \leq 1 \quad \forall (i,j) \in IC, i \neq j$$

$$\sum_{\substack{j \in IC \cup \{0\} \\ i \neq j}} X_{ij} + \sum_{\substack{j \in I \setminus \{0\} \\ i \neq j}} X_{ij} = 2 \quad \forall i \in IC$$

5 Temmuz 2011

16

METASEZGİSEL ÇÖZÜM YÖNTEMİ: TABU ARAMASI

• KOMŞULUK ARAMASI

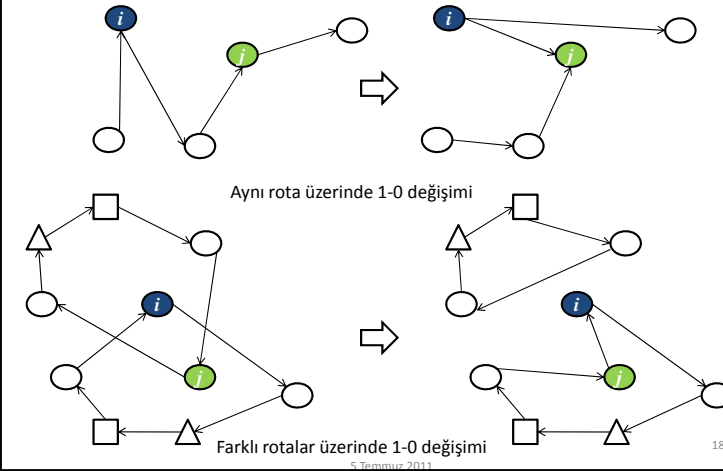
– ROTALAMA HAREKETLERİ

- 1-0 değişim
- 1-1 değişim
- 2-Opt
- 1-1-1 değişim
- Ardarda2 başarılı 1-0 değişim

5 Temmuz 2011

17

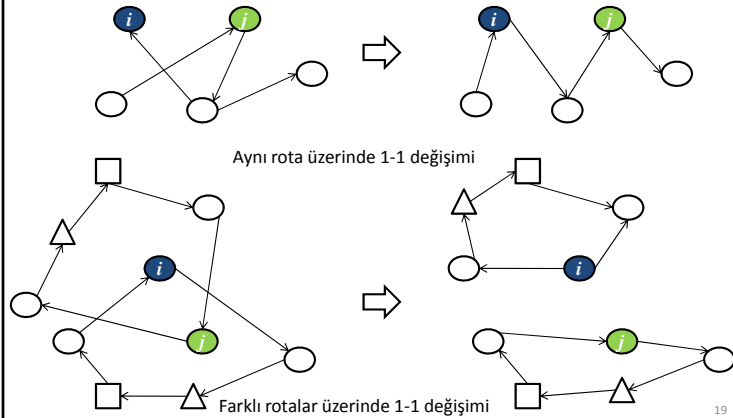
TABU ARAMASI KOMŞULUK YAPISI



5 Temmuz 2011

18

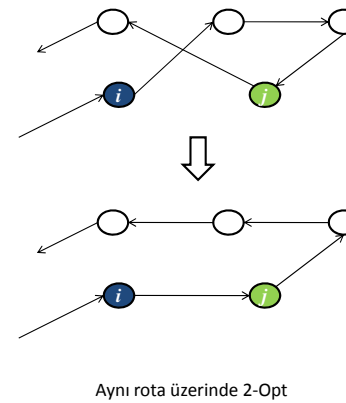
TABU ARAMASI KOMŞULUK YAPISI



5 Temmuz 2011

19

TABU ARAMASI KOMŞULUK YAPISI



5 Temmuz 2011

20

TABU ARAMASI KOMŞULUK YAPISI

Farklı rotalar üzerinde 2-Opt

5 Temmuz 2011 21

TABU ARAMASI KOMŞULUK YAPISI

CASE1:
 new R1 : D->B1->i->j+I->B4->YM->D
 new R2 : D->B3->j->i+I->B2->YM->D

CASE2:
 new R1 : D->B1->i->j->B'3->YM->D
 new R2 : D->B'2->i+I->j+I->B4->YM->D

5 Temmuz 2011 22

TABU ARAMASI KOMŞULUK YAPISI

CASE3:
 new R1 : D->B3->j->i->B'1->YM->D
 new R2 : D->B'2->i+I->j+I->B4->YM->D

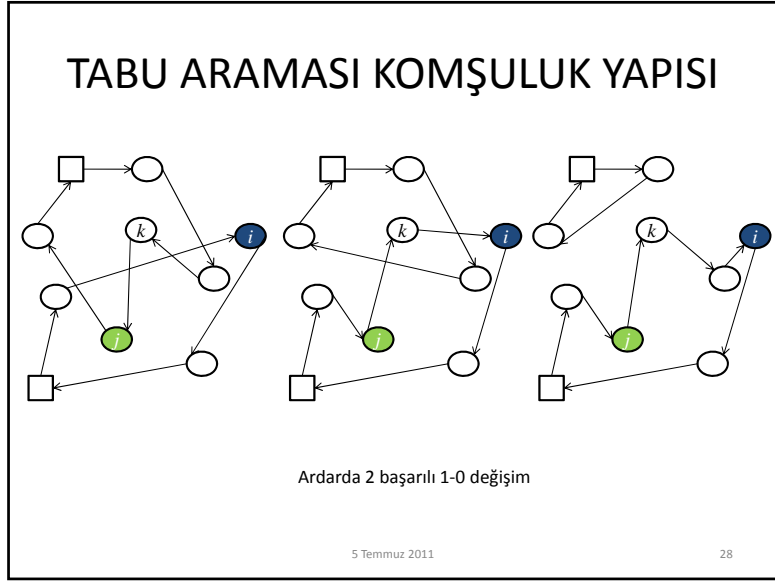
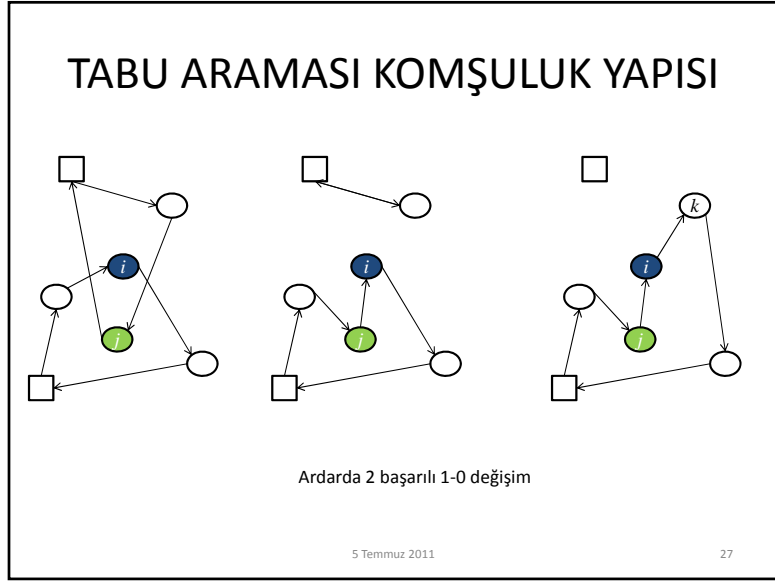
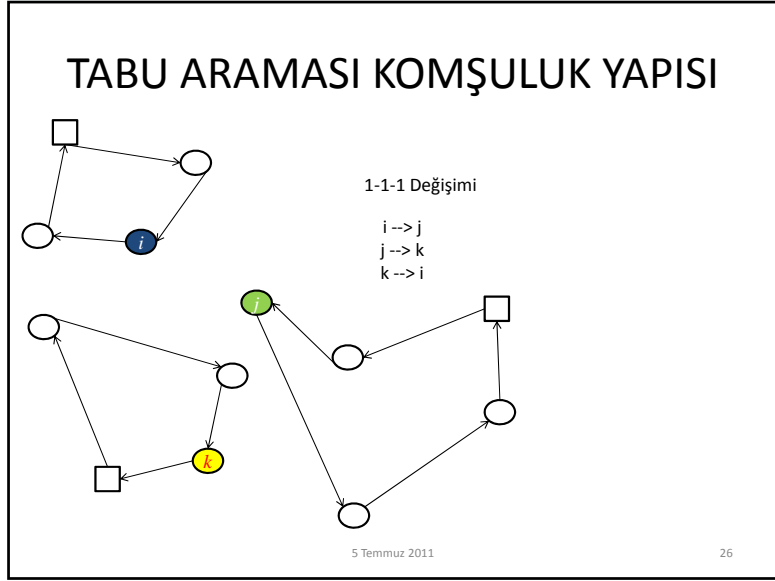
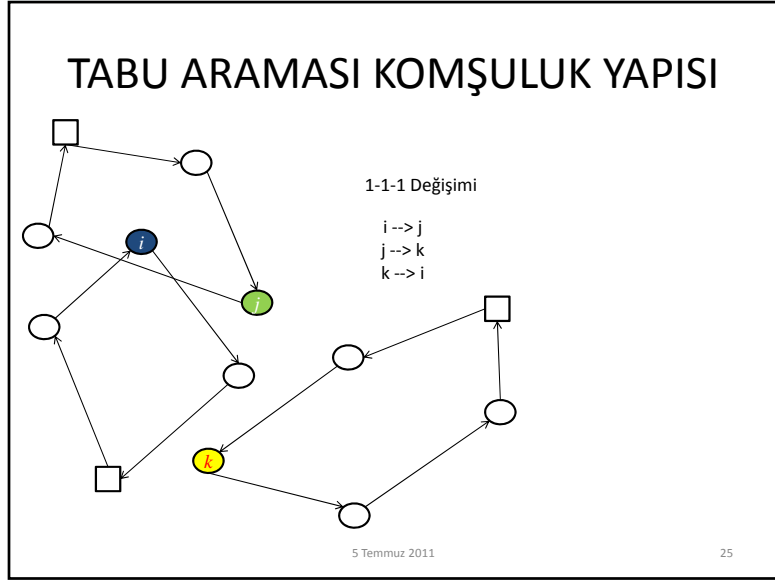
CASE4:
 new R1 : D->B1->i->j->B'3->YM->D
 new R2 : D->B'4->j+I->i+I->B2->YM->D

5 Temmuz 2011 23

TABU ARAMASI KOMŞULUK YAPISI

CASE5:
 new R1 : D->B3->j->i->B'1->YM->D
 new R2 : D->B'4->j+I->i+I->B2->YM->D

5 Temmuz 2011 24



TEST SONUÇLARI

Instance	Problem	Laporte-Semet CW-PSA	C&W PSA	C&W+LPO	TABU	Improvement TABU & Laporte- Semet
p01	E051-05e	584.64	584.64	560.46	560.46	4.14%
p02	E076-10e	900.26	907.39	896.3	887.71	1.39%
p03	E101-08e	886.83	886.83	879.21	878.43	0.95%
p04	D121-11c	1133.43	1133.43	1121.96	1121.96	1.01%
p05	D101-11c	1395.74	1395.74	1383.37	1383.37	0.89%
p06	E101-10c	618.4	618.39	609.58	608.87	1.54%
p07	E121-07c	975.46	975.46	967.52	967.52	0.81%
p08	E151-12c	973.94	973.94	964.25	961.42	1.29%
p09	E200-17c	1287.64	1287.64	1281.16	1280.49	0.56%
p10	D051-06c	1538.66	1538.66	1516.54	1516.54	1.44%
p11	D200-18c	1071.07	1071.07	1046.93	1046.57	2.29%
p12	D151-14c	833.51	833.51	821.29	821.11	1.49%
p13	D076-11c	1596.72	1592.26	1577.53	1571.13	1.60%
p14	D101-09c	875.75	875.75	867.76	867.34	0.96%
					Average Imp:	1.45%

LPO LIST	
1	1-0 move
2	1-1 exchange
3	2-opt
4	1-1-1 exchange
5	multiple 1-0 move

5 Temmuz 2011

29

SORU ve CEVAP

Türkçe-İngilizce Çevrimiçi Kaynakları

1. www.zargan.com
2. YAD (yad.org.tr) Sözlük:
http://karagoz.le.boun.edu.tr/yad_sozluk/
3. www.TeknikSozluk.com



30