

**AMBULANS YERLEŞİM NOKTALARININ
SEZGİSEL YÖNTEMLERLE OPTİMİZASYONU:
SİVAS ÖRNEĞİ**

Murat BOSTANCIOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
2007

**AMBULANS YERLEŞİM NOKTALARININ SEZGİSEL YÖNTEMLERLE
OPTİMİZASYONU: SİVAS ÖRNEĞİ**

Murat BOSTANCIOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
2007

Danışman: Yrd. Doç. Dr. M.Levent KOÇ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Bu çalışma, jürimiz tarafından, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı' nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç.Dr. Sahavat HANALİ

Üye : Doç.Dr. Işık YILMAZ

Üye : Yrd.Doç.Dr. M.Levent KOÇ

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

...../...../2007

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Prof.Dr. Hasan Hüseyin BAŞIBÜYÜK

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosunun 05.01.1984 tarihli toplantısında kabul edilen ve daha sonra 30.12.1993 tarihinde C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğünce hazırlanan ve yayınlanan “Yüksek Lisans ve Doktora tez yazım Kılavuzu” adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	ii
SUMMARY	iii
TEŞEKKÜR	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. ÇİFT STANDART MODELİ	3
3. SEZGİSEL OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ	5
3.1. Tabu Arama Yöntemi.....	5
3.2. Tavlama Benzetimi Yöntemi.....	5
3.3. Tepe Tırmanması Yöntemi.....	6
4. SEZGİSEL YÖNTEMLERİN AMBULANS YERLEŞİM PROBLEMİNE UYGULANMASI	7
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	21
6. KAYNAKLAR	22
7. ÖZGEÇMİŞ	25
8. EKLER	26

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AMBULANS YERLEŞİM NOKTALARININ SEZGİSEL YÖNTEMLERLE OPTİMİZASYONU: SİVAS ÖRNEĞİ

Murat BOSTANCIOĞLU

Cumhuriyet Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç.Dr. M.Levent KOÇ

Bu çalışmada, çift standart modeli (Double standard model) Sivas ili için uygulanmıştır. Bu model il optimum ambulans yerleşim noktalarının belirlenmesi amacıyla sezgisel yöntemler (tabu arama, tavlama benzetimi, tepe tırmanması) ve doğrusal programlama ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar sezgisel yöntemlerin ambulans yerleşim problemlerinin çözümünde kolay ve etkin kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca, tavlama benzetimi ve tepe tırmanması yöntemleri ile karşılaştırıldığında tabu arama yönteminin daha hızlı çözüme ulaştığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ambulans yerleşimi, sezgisel yöntemler, tabu arama, tavlama benzetimi, tepe tırmanması

SUMMARY

MSc Thesis

OPTIMIZATION OF AMBULANCE LOCATION POINTS BY HEURISTIC METHODS:
A CASE STUDY OF SIVAS

Murat BOSTANCIOĞLU

Cumhuriyet University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. M.Levent KOÇ

In this study, the double standard model was applied to the province of Sivas, Turkey. This model was solved by using three heuristic methods (tabu search, simulated annealing, hill climbing) and linear programming to determine the optimum location of ambulance stations throughout the province. The results indicate that the heuristic methods are simple in structure and convenient for solving the ambulance location problems. In addition, the tabu search results in a faster convergence in comparison with the simulated annealing and hill climbing.

Key words: Ambulance location, heuristic methods, tabu search, simulated annealing, hill climbing

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca her türlü bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım danışman hocam Yrd.Doç.Dr. M.Levent KOÇ'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca yüksek lisans tezimin hazırlanması süresince desteğini esirgemeyen eşim Sinem BOSTANCIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 4.1. Sivas ili ambulans sistemine ait talep noktaları.....	8
Şekil 4.2. Tabu arama yöntemi iterasyon süreci.....	9
Şekil 4.3. Tavlama benzetimi yöntemi iterasyon süreci.....	10
Şekil 4.4. Tepe tırmanması yöntemi iterasyon süreci.....	10
Şekil 4.5. Tabu arama, tavlama benzetimi ve tepe tırmanması yöntemlerinin çözüm sürelerine göre karşılaştırması.....	11
Şekil 4.6. Tabu arama yöntemi başlangıç çözümüne göre iterasyon süreci.....	12
Şekil 4.7. Tavlama benzetimi yöntemi başlangıç çözümüne göre iterasyon süreci.....	12
Şekil 4.8. Tabu arama yöntemi komşuluk sayısına göre iterasyon süreci.....	13
Şekil 4.9. Tavlama benzetimi yöntemi komşuluk sayısına göre iterasyon süreci.....	13
Şekil 4.10. Tabu arama yöntemi tabu listesi uzunluğuna göre iterasyon süreci.....	14
Şekil 4.11. Tavlama benzetimi yöntemi sıcaklık azaltma sabiti değişimine göre iterasyon süreci.....	14
Şekil 4.12. Tabu arama yöntemine ait akış diyagramı.....	16
Şekil 4.13. Tavlama benzetimi yöntemine ait akış diyagramı.....	17
Şekil 4.14. Tepe tırmanması yöntemine ait akış diyagramı.....	18
Şekil 4.15. ALP programı başlangıç menüsü.....	19
Şekil 4.16. ALP programı tabu arama yöntemi için ara yüzü.....	19
Şekil 4.17. ALP programı tavlama benzetimi yöntemi için ara yüzü.....	20
Şekil 4.18. ALP programı tepe tırmanması yöntemi için ara yüzü.....	20

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 4.1. Tabu arama, tavlama benzetimi, tepe tırmanması ve doğrusal programlama ile elde edilen optimum ambulans yerleşim noktaları.....	9
Çizelge 4.2. Tabu arama ve tavlama benzetimi yöntemleri başlangıç çözümüne göre amaç fonksiyonu değişimleri.....	12

SİMGELER DİZİNİ

d_i	: Herhangi bir talep noktasının toplam talebi, kişi
F	: Ambulans yerleşim modeli amaç fonksiyonu
$F(Z)$: Amaç fonksiyonun mevcut çözüm kümesi değeri
$F(Z')$: Amaç fonksiyonun komşu çözüm kümesi değeri
f_1	: Ambulans yerleşim modeli birinci kısıt fonksiyonu
f_2	: Ambulans yerleşim modeli ikinci kısıt fonksiyonu
$M1$: Amaç fonksiyonu cezalandırma katsayısı
$M2$: Amaç fonksiyonu cezalandırma katsayısı
$N(Z)$: Komşu çözümler kümesi
p	: Toplam ambulans sayısı, adet
p_j	: Bir ambulans istasyonuna yerleşecek maksimum ambulans sayısı, adet
r_1	: Çift standart modeli minimum kapsanma standardı
r_2	: Çift standart modeli maksimum kapsanma standardı
t_0	: Tavlama benzetimi yöntemi başlangıç sıcaklığı
$t_{i,n+j}$: Herhangi bir istasyon ile bir talep noktası arasındaki mesafe
V	: Talep noktaları kümesi
y_j	: Bir istasyondaki ambulans sayısı, adet
Z	: Mevcut çözüm kümesi
Z'	: En iyi komşu çözüm kümesi
W	: Ambulans yerleşim noktaları kümesi
x_i^k	: Herhangi bir talep noktası minimum kapsanma standardı içerisinde k kere kapsanıyor ise 1'e aksi takdirde 0'a eşit olan bir değişken
α	: Kapsanma oranı
δ	: Tavlama benzetimi yöntemi, daha kötü bir çözümün kabul edilme olasılığı
δ_{ij}	: Herhangi bir istasyon ile bir talep noktası arasındaki mesafe maksimum kapsanma standardından küçük ise 1'e eşit olan değişken
γ_{ij}	: Herhangi bir istasyon ile bir talep noktası arasındaki mesafe minimum kapsanma standardından küçük ise 1'e eşit olan değişken

1. GİRİŞ

Bir ambulans sistemi için en önemli performans ölçütü acil yardım çağrısının yapılmasından sonra ambulansın olay yerine ulaşması ve tıbbi müdahale yapılmasına kadar geçen ve “müdahale zamanı” olarak da adlandırılan süredir. Çünkü kaza veya hastalık sonucunda ölüm veya sürekli sakatlık hallerinin oluşma olasılığı tıbbi müdahale zamanının bir fonksiyonudur (Selim ve Özkarahan, 2003). Bu sürenin kısaltılması, araç sayısının artırılması veya mevcut araç yerleşim düzeninin geliştirilmesi ile sağlanır. Ancak araç sayısının artırılması yüksek maliyeti sebebiyle genellikle tercih edilmeyen bir yöntemdir (Araz ve Ark., 2007). Bu nedenle acil servis sistemleri planlanırken kısıtlı sayıda ambulansın, talep bölgeleri içinde, optimum veya optimuma yakın yerleşimine ihtiyaç duyulur. Optimum araç yerleşimi, kapsama ve araçların talep bölgelerine ortalama ulaşma mesafesi veya süresi gibi göstergelerin de kullanıldığı ambulans yerleşim modellerinin çözümüyle elde edilir. Burada, kapsama, bir aracın belirlenmiş bir zaman veya mesafe standardı içerisinde belli bir bölgedeki acil yardım çağrılarına ulaşabilmesi olarak tanımlanabilir.

Literatürde, kapsama tabanlı çok sayıda ambulans yerleşim modeli bulunmaktadır (Daskin, 1983; ReVelle and Hogan, 1989; Ball and Lin, 1993; Marianov and ReVelle, 1996; Gendreau ve Ark., 1997) ve bu modeller statik, dinamik ve olasılıksal modeller olmak üzere üç grupta sınıflandırılabilir. Statik ambulans yerleşim modellerinde (Eaton ve Ark., 1985; Marianov and ReVelle, 1992; Gendreau ve Ark., 1997) belirli sayıda ambulans ile hizmet verilen nüfusu maksimize etmek amaçlanır. Çift standart modeli (Double Standard Model) son yıllarda yaygın olarak kullanılan statik modellere örnek olarak verilebilir (Gendreau ve Ark., 1997). Bir ambulansın herhangi bir vakaya gönderildiğinde diğer çağrılara cevap veremeyecek şekilde meşgul olması durumu olasılıksal ambulans yerleşim modellerinde (Goldberg ve Ark., 1990) göz önüne alınır. Dinamik ambulans yerleşim modellerinde (Gendreau ve Ark., 2001; Rajagopalan ve Ark., 2007) ise ambulansların gün içinde sürekli yer değiştirmesi ile bütün bölgelere hizmet vermesi amaçlanır ve bu tip modellerde, ambulansların sürekli yer değiştirmesi problemin çözümünü zorlaştırır (Brotcorne ve Ark., 2003).

Ambulans yerleşim modelleri bir NP (non-deterministic polynomial)-tam (Saydam ve Ark., 1994) başka bir deyişle çokterimli (polinomsal) zamanda çözülebilen karmaşık yapısı nedeniyle ekonomik süreler içerisinde kesin çözümü zor problemlerdir. Ancak, son yıllarda, bu tip karar problemlerinin çözümü, kesin (exact) çözümler yerine yaklaşık çözümler veren sezgisel (heuristic) yöntemlerin gelişimi ve ileri bilgisayar teknolojileri sayesinde kolay bir hale gelmiştir (Augerat ve Ark., 1998; Jeon and Kim, 2004; Sun, 2006; Caballero ve Ark., 2007). Bir başlangıç çözümü ile başlayarak her iterasyonda mevcut çözümü bir komşuluk yapısı ile geliştirmeye çalışan tepe tırmanması (Hill Climbing); çözüm uzayındaki keşifler sırasında yersel optimuma yakalanmamak için tabu listesi adı verilen geçici bir hafıza kullanan tabu arama (Tabu Search) ve

metallerin fiziki tavlama işleminden esinlenerek oluşturulan ve sıcaklığı bir çözüm geliştirme parametresi olarak kullanılan tavlama benzetimi (Simulated Annealing) yöntemleri yaygın kullanılan sezgisel yöntemler olarak sayılabilir (Cantarella ve Ark., 2006; Lim ve Ark., 2006 Derigs and Kaiser, 2007; Nagy and Salhi, 2007).

Sezgisel yöntemler, ambulans yerleşim problemlerinin çözümünde ilk olarak Diaz ve Ark. (1996) tarafından kullanılmış ve bu çalışmada MCLP (Maximum Coverage Location Problem) tipi statik yerleşim modeli tabu arama yöntemiyle León (İspanya) örneği için çözülmüştür. Tabu arama yönteminin başka bir uygulaması Montreal (Canada) için çift standart modeli ve RP (Redeployment Problem) uygulanarak yapılmıştır (Gendreau ve Ark., 1997;2001). Rajagopalan ve Ark. (2007) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise bir MEXCLP (Maximum Expected Coverage Location Problem) ambulans yerleşim modeli tabu arama, tavlama benzetimi evrimsel (evolutionary) algoritma ve HH-C (Hybridized Hill-Climbing) yöntemleri kullanılarak çözülmüştür. Bu çalışmaların tümünde sezgisel yöntemlerin ambulans yerleşim problemlerinin çözümünde uygun ve ekonomik çözümler sağladığı ortaya konmuştur. Ancak, göz önüne alınan bir problem için uygun sezgisel yöntemin seçilmesi hala bir araştırma konusu olarak varlığını korumaktadır (Mayer ve Ark., 1998; Youssef ve Ark., 2001; Arostegui ve Ark., 2006). Bunun nedenleri sezgisel yöntemlerin seçilen probleme bağlı olarak farklı performanslar gösterebilmesi ve yöntemlere ait parametrelerin seçimindeki zorluklar olarak verilebilir.

Bu çalışmanın amacı, Sivas ili için ambulans yerleşim noktalarının belirlenmesi olup bu kapsamda çift standart modelinin çözümü tepe tırmanması, tabu arama ve tavlama benzetimi yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Tez çalışması içinde, ALP (Ambulance Location Program) programı acil servis sistem yöneticilerine ambulans yerleşim noktalarının belirlenmesinde yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar detaylı olarak ileriki bölümlerde verilmiş olup sezgisel yöntemlerin doğrusal programlama (Linear Programming) ile, performansa dayalı karşılaştırması yanında üç farklı sezgisel yöntemin parametrik değişimlere bağlı davranışına ait amprik bulgular ayrıca ortaya konmuştur. Bu tez çalışması, Türkiye'deki ilk uygulamalardan biri olmak üzere sezgisel yöntemlerin dünya literatürü ile paralel olarak uygulanmasını sağlamış olup uygun sezgisel yöntemin ve yöntemine ait parametrelerin seçilmesi yanında ambulans sistemlerinin daha etkin ve ekonomik işletilmesine katkıda bulunmayı da hedeflemiştir.

Bu çalışmanın kapsamında, ikinci bölümde çift standart modeli ayrıntılı olarak verilmiştir. Sezgisel arama yöntemlerinden olan tabu arama, tavlama benzetimi ve tepe tırmanması yöntemleri üçüncü bölümde özetlenmiştir. Dördüncü bölümü, söz konusu sezgisel yöntemlerin Sivas örneğinde ambulans yerleşim problemlerine uygulanması oluşturmuştur. Beşinci bölümde ise çalışmaya ait sonuçlar ve öneriler ortaya konmuştur.

2. ÇİFT STANDART MODELİ

Gendreau (1997) tarafından geliştirilen çift standart modelinde r_1 ve r_2 ($r_1 < r_2$) şeklinde iki adet kapsama standardı kullanılır. Modelde ambulans servisine gelen tüm acil yardım çağrılarına büyük kapsama standardı (r_2) içerisinde, tüm çağrılarının belirli bir α oranındaki kısmına ise küçük kapsama standardı (r_1) içerisinde hizmet verilmesi amaçlanır. Buna göre çift standart modeli aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\text{Maksimum } F = \sum_{i=1}^n d_i x_i^2 \quad (2.1)$$

Kısıtlılık fonksiyonları:

$$\sum_{j=1}^m \delta_{ij} y_j \geq 1 \quad (v_i \in V) \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=1}^n d_i x_i^1 \geq \alpha \sum_{i=1}^n d_i \quad (2.3)$$

$$\sum_{j=1}^m \gamma_{ij} y_j \geq x_i^1 + x_i^2 \quad (v_i \in V) \quad (2.4)$$

$$x_i^2 \leq x_i^1 \quad (v_i \in V) \quad (2.5)$$

$$\sum_{j=1}^m y_j = p \quad (2.6)$$

$$y_j \leq p_j \quad (v_{n+j} \in W) \quad (2.7)$$

$$x_i^1, x_i^2 \in \{0, 1\} \quad (v_i \in V) \quad (2.8)$$

$$y_j \text{ tamsayı} \quad (v_{n+j} \in W) \quad (2.9)$$

$$\text{Eğer } t_{i,n+j} \leq r_1 \text{ ise } \gamma_{ij} = 1 \text{ değilse } \gamma_{ij} = 0 \quad (2.10)$$

$$\text{Eğer } t_{i,n+j} \leq r_2 \text{ ise } \delta_{ij} = 1 \text{ değilse } \delta_{ij} = 0 \quad (2.11)$$

Burada, $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ ve $W = \{v_{n+1}, \dots, v_{n+m}\}$ sırasıyla talep ve ambulans yerleşim noktaları kümesini, y_j : tamsayı değişkeni $v_{n+j} \in W$ istasyonundaki ambulans sayısını, d_i : i . talep noktasının toplam talebini, p : toplam ambulans sayısını, p_j : j . istasyona yerleşecek maksimum ambulans sayısını $t_{i,n+j}$: i ve j noktaları arasındaki en kısa süre veya mesafeyi

göstermektedir. x_i^k değişkeni ise i . talep noktası r_1 kapsama standardı içerisinde k kere kapsanıyor ise 1'e aksi takdirde 0'a eşit olan bir değişkendir.

Bu modelde fayda fonksiyonu (2.1) r_1 kapsanma standardı içerisinde iki kez kapsanan nüfusu maksimize eder, (2.2) no'lu kısıtlılık fonksiyonu çift kapsanma talebini, (2.3) no'lu kısıtlılık α oranındaki talebin r_1 kapsanma standardında kapsanmasını belirtir. (2.4) no'lu kısıtlılık ise, fonksiyonun sağ tarafı 1 iken herhangi bir i talep noktasının r_1 kapsanma standardı içerisinde bir kez; fonksiyonun sağ tarafı 2 iken herhangi bir i talep noktasının r_1 kapsanma standardında iki kez kapsanmasını sağlar. (2.5) no'lu kısıtlılık herhangi bir i talep noktasının en az bir kez r_1 kapsanma standardında kapsanmadan iki kez kapsanamayacağını gösterirken; (2.6) no'lu kısıtta ambulans yerleşim noktalarındaki ambulans sayıları toplamının mevcut ambulans sayısına eşit olması gerekliliği ifade edilir.

3. SEZGİSEL OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ

3.1. Tabu Arama Yöntemi

Glover (1986) tarafından geliştirilen tabu arama yöntemi, iteratif olarak mevcut çözümün en iyi komşu çözümlerinin seçilmesi esasına dayanan bir arama tekniğidir ve ulaşılan çözümlerin bir döngü oluşturarak yersel optimuma yakalanmaması daha önce denenmiş çözümlerin bir tabu listesinde saklanması ile engellenir (Diaz and Rodriguez, 1996; Zhao ve Ark., 2007), yöntemde ayrıca, tabu olan bir çözümün aspirasyon kriteri sayesinde mevcut çözüm olarak kabul edilmesine izin verilir. Aspirasyon kriteri bir taşıma üzerindeki tabu durumunun etkisini iptal eden bir koşul olarak tanımlanır. Tabu arama yöntemi aşağıda verilen algoritma içinde gerçekleştirilebilir:

- 1.Adım- Bir S başlangıç çözümü seç ve $S_{EN\ IYI} = S$ olarak ata
- 2.Adım- Başlangıç olarak; $Tabu\ listesi = BOŞ$
- 3.Adım- Aşağıdaki çevrimi N defa tekrarla
 - S çözümünün komşu çözümlerini üret ve en iyi komşu çözümü S^* seç
 - Eğer $f(S^*) > f(S)$ veya $f(S^*) > Aspirasyon\ kriteri$ ise $S=S^*$ olarak ata
 - S çözümünü tabu listesine kaydet
 - Eğer $f(S) \geq f(S_{BEST})$ ise $S_{EN\ IYI} = S$ olarak ata
- 4.Adım- En iyi çözüm = $S_{EN\ IYI}$

3.2. Tavlama Benzetimi Yöntemi

Tavlama benzetimi yöntemi Kirkpatrick ve Ark. (1983) tarafından, şekilsiz bir katının kristal bir yapıya dönüşmesi için yavaş yavaş soğutulması işleminden esinlenerek geliştirilmiştir. Tavlama benzetimi yönteminin perturbasyon ve tavlama şeklinde iki önemli özelliği vardır. Perturbasyon özelliği mevcut çözümden yeni çözümler üretmek için kullanılır, tavlama özelliği ise sıcaklığın azaltılma oranını kontrol eder. En çok kullanılan tavlama yöntemi ekspanansiyel soğutma olarak adlandırılır (ReVelle and Hogan, 1989) Ekspanansiyel soğutma işlemi bir başlangıç sıcaklığı ile başlar ve sıcaklığı her iterasyonda veya belirli sayıda iterasyon sonunda $T_{i+1} = \alpha T_i$ şeklinde azaltır, burada α parametresi 0-1 aralığında değişen bir sıcaklık azaltma faktörüdür. Tavlama benzetimi yöntemi sıcaklık belirli bir son değere ulaştığında veya önceden belirlenmiş bir durdurma koşulu ile karşılaşıldığında sonlandırılır (Drezner and Wesolowsky, 2003). Tavlama benzetimi yöntemi yersel optimumlara yakalanmamak için fayda fonksiyonu ve sıcaklık parametrelerine bağlı bir olasılık fonksiyonu kullanır. Tavlama benzetimi yöntemi algoritmik olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir:

- 1.Adım: Bir başlangıç sıcaklığı T ve bir başlangıç çözümü S seç ve $S_{EN\ IYI} = S$ olarak ata
- 2.Adım: Son sıcaklık değerine kadar aşağıdaki çevrimi N defa tekrarla
 - S çözümünün komşu çözümlerini üret ve en iyi komşu çözümü S^* seç
 - $\Delta = f(S^*) - f(S)$ değerini hesapla
 - Eğer $\Delta < 0$ ise $S = S^*$ olarak ata
 - Eğer $\Delta \geq 0$ ise $S = S^*$ olarak $exp(-\Delta/T)$ olasılığı ile ata
 - Eğer $f(S) \geq f(S_{EN\ IYI})$ ise $S_{EN\ IYI} = S$ olarak ata
 - $T_{i+1} = \alpha T_i$
- 3.Adım: En iyi çözüm = $S_{EN\ IYI}$

3.3. Tepe Tırmanması Yöntemi

Tepe tırmanması yöntemi seçilen bir başlangıç çözümü ile çözüm uzayında aramalar yapan ve her iterasyonda mevcut çözümün komşularına taşımalar yaparak mevcut çözümü geliştirmeyi amaçlayan sezgisel bir yöntemdir. Yapısında, yersel optimumlara yakalanmamak için diğer iki sezgisel yöntem gibi stratejiler bulundurmeyen tepe tırmanması yöntemi aşağıda verilen algoritma ile tanımlanabilir (Dunn, 1997; Polgar ve Ark., 2000):

- 1.Adım- Bir S başlangıç çözümü seç ve $S_{BEST} = S$ olarak ata
- 2.Adım- Aşağıdaki çevrimi N defa tekrarla
 - S çözümünün komşu çözümlerini üret ve en iyi komşu çözümü S^* seç
 - Eğer $f(S^*) > f(S)$ ise $S=S^*$ olarak ata
 - Eğer $f(S) \geq f(S_{EN\ IYI})$ ise $S_{EN\ IYI} = S$ olarak ata
- 4.Adım- En iyi çözüm = $S_{EN\ IYI}$

4. SEZGİSEL YÖNTEMLERİN AMBULANS YERLEŞİM PROBLEMİNE UYGULANMASI

Bu çalışmada, Sivas ili merkezine hizmet veren acil servis sisteminin ambulans yerleşim problemi, tabu arama (TA), tavlama benzetimi (TB) ve tepe tırmanması (TT) yöntemleri kullanılarak çözümlenmiş ve elde edilen sonuçlara bağlı olarak sezgisel arama yöntemleri doğrusal programlama (Öziş ve Ark., 2000) tekniği ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ayrıntıları aşağıda özetlenmiştir:

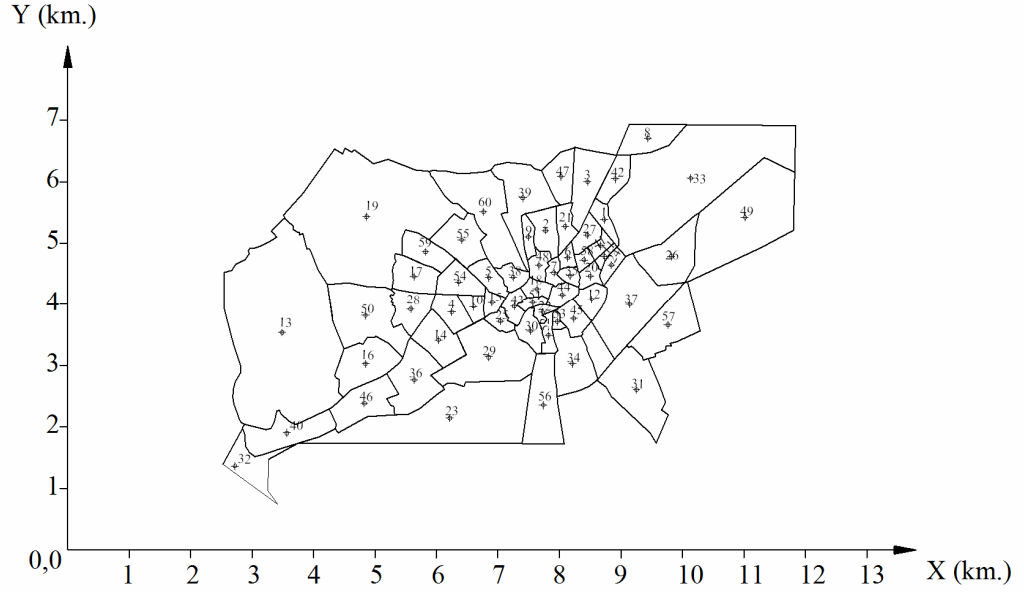
Ambulans yerleşim problemi, çift standart modeli ile tanımlanmış olup her bölgenin potansiyel bir talep noktası ve potansiyel bir ambulans yerleşim noktası olduğu kabul edilmiştir. Bölgeler arası mesafeler her bölgenin geometrik merkezine göre öklit mesafesi olarak hesaplanmıştır. Talep noktalarının geometrik merkezleri Şekil 4.1'de verilen koordinat düzleminde tanımlanmıştır. Problemin çözümünde EK 1'de talep noktalarına bağlı olarak verilen nüfus değerlerinden yararlanılmıştır. Problemde minimum ve maksimum kapsanma standartları mesafe olarak sırasıyla 1.5 km ve 4.0 km olarak hesaplanmıştır. Burada kabul edilen ambulans hızı 40 km/saat olup her iki standart değerinin zaman olarak karşılıkları sırasıyla 2.5 dk ve 6 dk'dır. α kapsanma oranı 0.75 olarak belirlenmiştir. Söz konusu problem, tanımlanan tüm talep noktalarına, Sivas ili Acil Sağlık Hizmetleri Müdürlüğü kullanımında bulunan 6 adet acil yardım ambulansı ile hizmet verilecek ve her bir istasyona en fazla bir adet ambulans yerleştirilecek şekilde çözülmüştür. Probleme ait amaç fonksiyonu (2.1), ikinci bölümde tanımlanan 2.2 ve 2.3 numaralı kısıtlılık fonksiyonları cezalandırılarak aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$F = \sum_{i=1}^n d_i x_i^2 - M_1 f_1 - M_2 f_2 \quad (2.12)$$

$$f_1 = \left\| \left\{ v_i \in V: \sum_{j=1}^m \delta_{ij} y_j \geq 1 \right\} \right\| \quad (2.13)$$

$$f_2 = \min \left\{ \alpha, \frac{\sum_{i=1}^n d_i x_i^2}{\sum_{i=1}^n d_i} \right\} \quad (2.14)$$

Burada, cezalandırma katsayıları M_1 ve M_2 sırasıyla 20001 ve 20000 olarak alınmıştır.



Şekil 4.1. Sivas ili ambulans sistemine ait talep noktaları

Sezgisel yöntemlerin ambulans yerleşim problemine uygulanmasında, yöntemlere ait parametrelerin uygun değerleri deneme yanılma yoluyla belirlenmiş ve aşağıda verilmiştir:

TA yöntemi için:

İterasyon sayısı: 500

Tabu listesi uzunluğu: 200

Komşuluk sayısı: 10

Daha iyi bir çözüme ulaşılamadığında iterasyon devam sayısı: 30

TB yöntemi için:

Başlangıç sıcaklığı: 100

Son sıcaklık: 1.0

Sıcaklık azaltma katsayısı: 0,95

Komşuluk sayısı: 10

TT yöntemi için:

İterasyon sayısı: 500

Komşuluk sayısı: 10

Ayrıca, komşu çözümlerin üretilmesinde (perturbasyon) bölgeler arası en yakın komşuların değişimi (adjacent interchanged method) dikkate alınmış (Sridhar and Rajendran,1993) ve çözüm oluşturan her bir talep noktasındaki ambulans sırasıyla o bölgenin en yakın öklit mesafesindeki komşularına aktarılmıştır. Bu çalışmada p adet ambulansın nüfus bakımından en yüksek p adet bölgeye yerleştirilmesiyle elde edilen başlangıç çözümü kullanılmıştır.

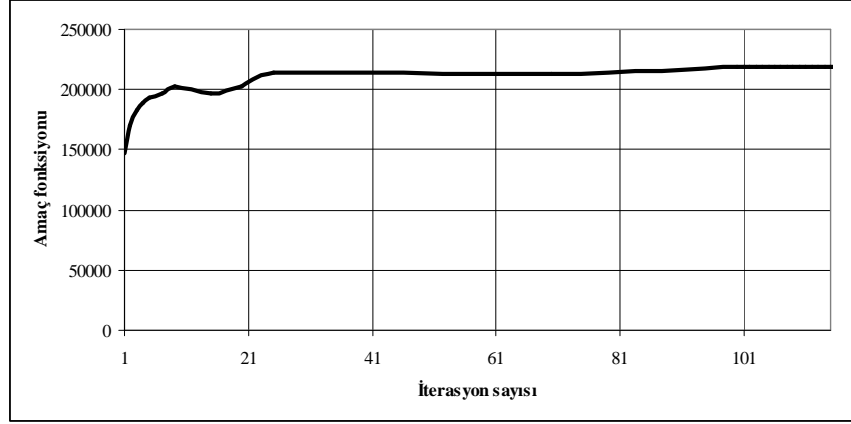
Problemin TA, TB, TT ve doğrusal programlama (DP) yöntemleri ile çözümlenmesinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’de TA,TB ve TT yöntemlerine ait iterasyon süreçleri ise sırasıyla Şekil 4.2-4’te verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tabu arama, tavlama benzetimi, tepe tırmanması ve doğrusal programlama ile elde edilen optimum ambulans yerleşim noktaları

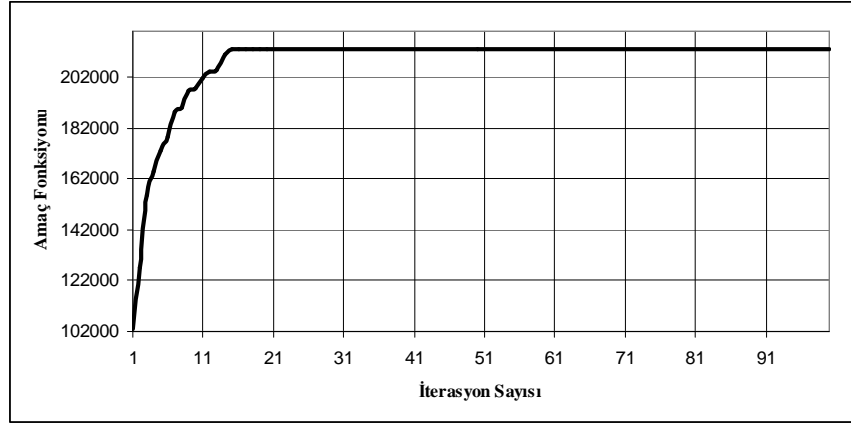
Yöntem	Amaç Fonksiyonu (F)	Kapsanma (%)	Çözüm Kümesi (Ambulans yerleşim noktaları)	Süre (sn)
TA	218614	77	5,16,27,38,50,58	46
TB	218614	77	15,16,40,50,54,58	145
TT	212903	75	2,6,14,15,41,46	21
DP	186728	66	5,12,14,29,58,59	-



Şekil 4.2. Tabu arama yöntemi iterasyon süreci



Şekil 4.3. Tavlama benzetimi yöntemi iterasyon süreci

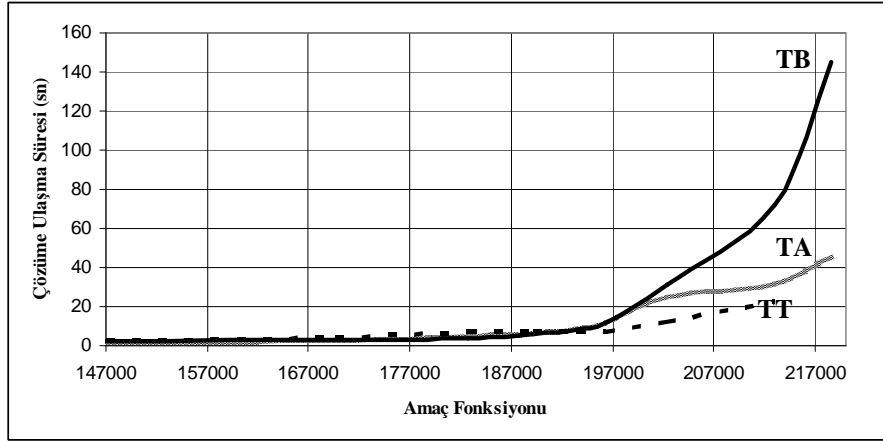


Şekil 4.4. Tepe tırmanması yöntemi iterasyon süreci

Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, sezgisel arama yöntemleri ile elde edilen çözümlerin (amaç fonksiyonu) doğrusal programlama tekniğine kıyasla yaklaşık % 15 daha yüksek değer aldığı gözlenmiştir. Bu durum, sezgisel optimizasyon yöntemlerinin, kombinasyonel optimizasyon problemlerinin çözümünde, klasik optimizasyon yöntemlerine göre daha başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Tabu arama ve tavlama benzetimi yöntemlerinin daha yüksek bir performans göstermesinin nedenleri ise arama uzayında rassal keşifler yapabilmesi ve elde edilen çözümleri yerel optimum noktalara yakalanmadan geliştirebilme yetenekleri olarak verilebilir (Tarantilis ve Ark., 2005; Jeon and Kim, 2004; Arostegui ve Ark., 2006). Tepe tırmanması yönteminin diğer iki sezgisel yöntemle göre başarısız olması ise yöntemin yerel optimum noktalara yakalanmadan çözüm üretme yeteneğinden yoksun olmasıyla açıklanabilir (Cantarella ve Ark., 2006).

Sezgisel arama yöntemlerinin iterasyon süreçleri göz önüne alındığında tabu arama yönteminin optimum çözüme tavlama benzetimi yöntemine kıyasla daha hızlı ulaştığı söylenebilir (Şekil 4.2-5). Burada, tabu arama yönteminin optimum çözüme daha kısa sürede ulaşması, denenen tüm çözüm noktalarının kısa süreli bir hafızada (tabu listesi) tutularak tekrar ziyaret

edilmemesi ile açıklanabilir. Ancak, başlangıç çözümü, başlangıç sıcaklığı, sıcaklık azaltma katsayısı ve son sıcaklık parametrelerinin tavlama benzetimi yönteminin performansını önemli miktarda değiştireceği (Bosio and Righini, 2007; Paik and Soni, 2007) ve bu parametrelerin deneme yanılma yoluyla seçilmesinin yöntemin performansını azaltabileceği göz önüne alınmalıdır.



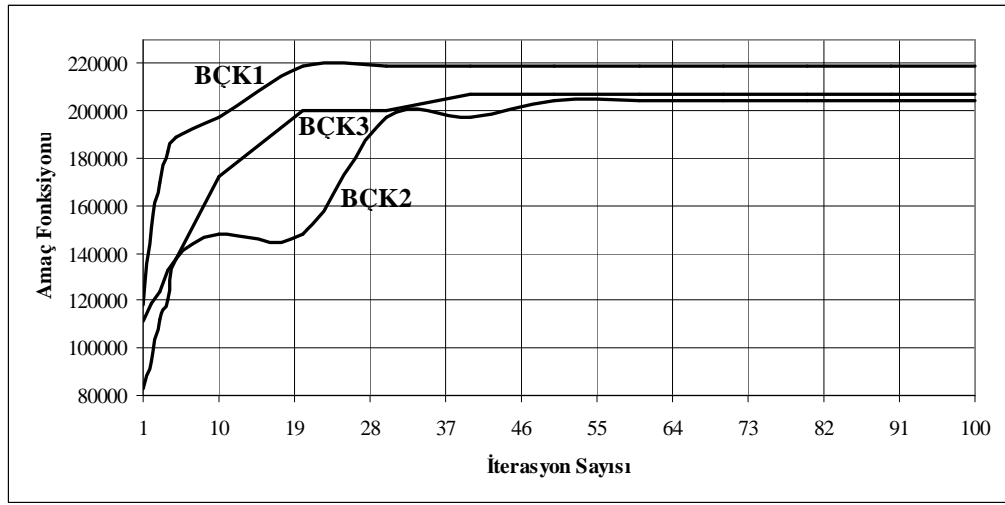
Şekil 4.5. Tabu arama, tavlama benzetimi ve tepe tırmanması yöntemlerinin çözüm sürelerine göre karşılaştırması

Sezgisel arama yöntemlerinin performansı esas olarak yöntemlere ait parametrelerin seçimine bağlı olup bu konuda verilen ampirik bulgular yeterli olmadığı gibi göz önüne alınan probleme göre de değişebilmektedir (Arostegui ve Ark., 2006). Bu nedenle, yapılan çalışmada tabu arama ve tavlama benzetimi yöntemlerinin performansı temel parametrelere (tabu listesi uzunluğu, başlangıç çözümü, komşuluk sayısı ve sıcaklık azaltma sabiti) bağlı olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

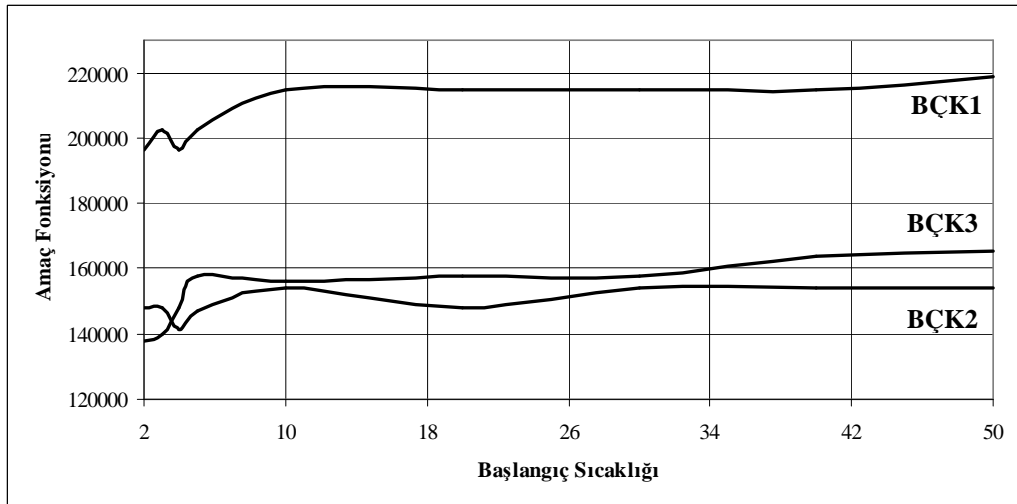
Başlangıç çözümünün yöntemlerin performansına etkisi en iyi (BÇK1), rassal (BÇK3) ve en kötü (BÇK2) olmak üzere seçilen üç farklı çözüm vektörü dikkate alınarak incelenmiş ve elde edilen optimum çözümler Çizelge 4.2'de; iterasyon süreçleri ise Şekil 4.6-7'de verilmiştir. Her iki yöntemde başlangıç çözümlerinin yöntemlerin performansını büyük ölçüde etkilediği; başlangıçta en iyi çözümün seçilmesinin optimum çözüme ulaşılmasını sağladığı görülmüştür. Ancak, başlangıç çözümü, her iki yöntemde iterasyon sürecini aynı düzeyde etkilememiştir (Şekil 4.6-7). Tabu arama yönteminde BÇK1 için elde edilen optimum çözümle BÇK2 ve BÇK3'e bağlı çözümler arasındaki fark sırasıyla % 6.6 ve % 5.3 olup bu oranlar tavlama benzetimi için % 29.4 ve % 24.3 olarak elde edilmiştir. Bu durum, tabu arama yönteminin başlangıç çözümlerine daha az duyarlı deterministik yapısına karşın tavlama benzetimi yönteminin rassal yapısıyla açıklanabilir.

Çizelge 4.2. Tabu arama ve tavlama benzetimi yöntemleri başlangıç çözümüne göre amaç fonksiyonu değişimleri

Başlangıç Çözüm Kümesi	Çözüm Vektörü	Tanımlama	Amaç Fonksiyonu	
			TA	TB
BÇK1	13,16,19,37,41,55	Nüfus bakımından en yüksek altı bölge	218614	218614
BÇK2	11,18,22,53,57,58	Nüfus bakımından en düşük altı bölge	204112	154264
BÇK3	7,11,18,21,43,51	Rassal seçilmiş altı bölge	206897	165390

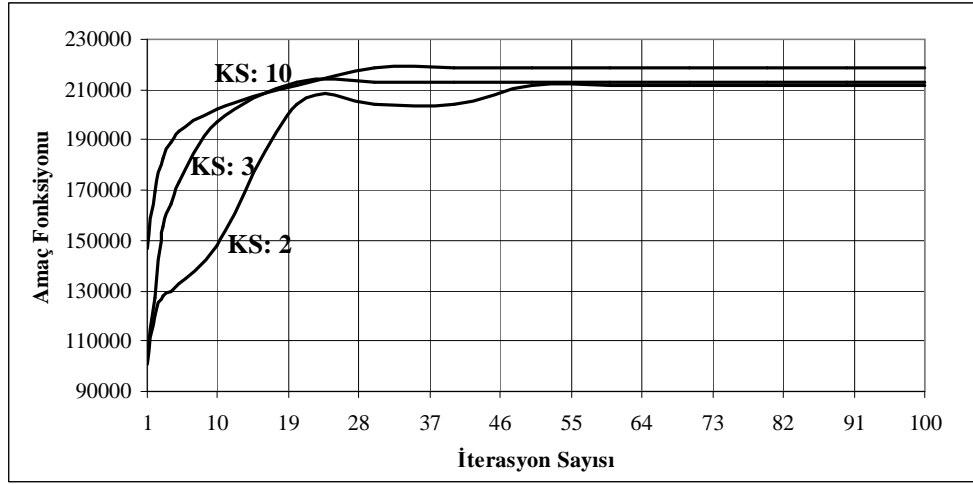


Şekil 4.6. Tabu arama yöntemi başlangıç çözümüne göre iterasyon süreci

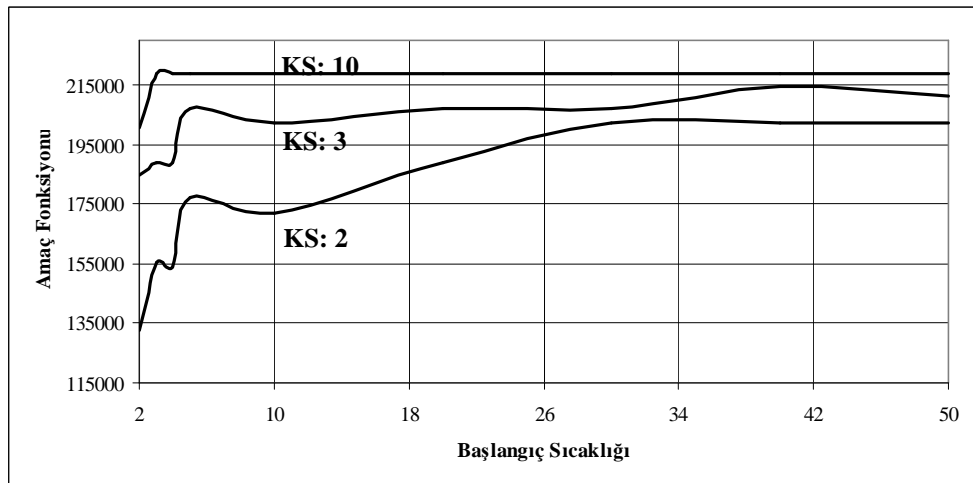


Şekil 4.7. Tavlama benzetimi yöntemi başlangıç çözümüne göre iterasyon süreci

Bu çalışmada, her iterasyonda ulaşılan en iyi çözüm farklı komşuluk sayıları (üretilen çözüm sayısı) kullanılarak geliştirilmiş ve yöntemlerin performansı komşuluk sayısının (KS) değişimine bağlı olarak Şekil 4.8-9'da verilmiştir. Komşuluk sayısının uygun değeri her iki yöntem için deneme yanılma yoluyla 6.0 olarak seçilmiştir. Komşuluk sayısının düşük değerler alması halinde optimum çözüme ulaşılmazken komşuluk sayısının artması optimum çözümü sağlamıştır. Örneğin, komşuluk sayısının 2.0'den 6.0'ya çıkarılması tabu araması ve tavlama benzetimi yöntemlerinin performansını amaç fonksiyonlarına bağlı olarak iterasyon süreçlerinin sonunda sırasıyla % 3.2 ve % 7.4 oranlarında artırmıştır. Bu değerler iterasyon sürecinin başında (iterasyon sayısı 10) % 26.9 ve % 24.7 olarak hesaplanmıştır.

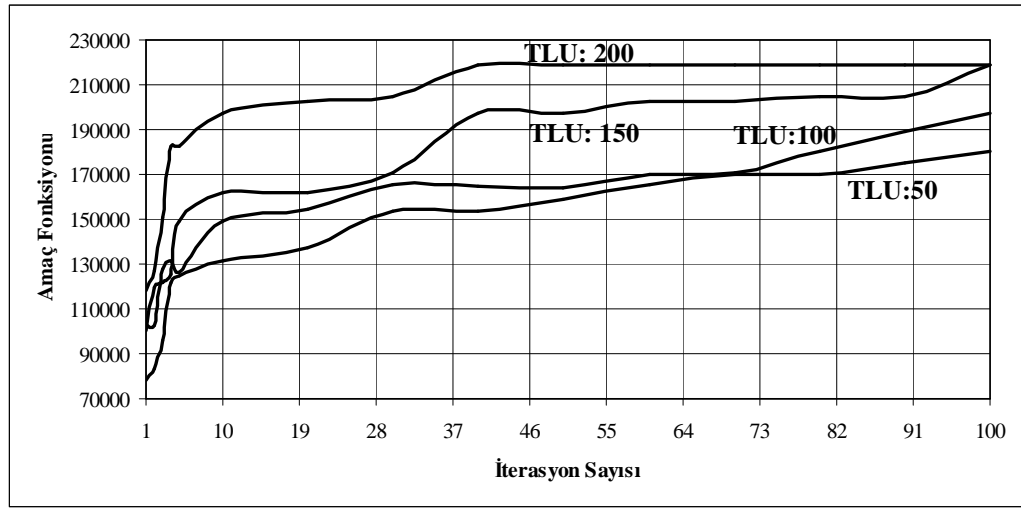


Şekil 4.8. Tabu arama yöntemi komşuluk sayısına göre iterasyon süreci

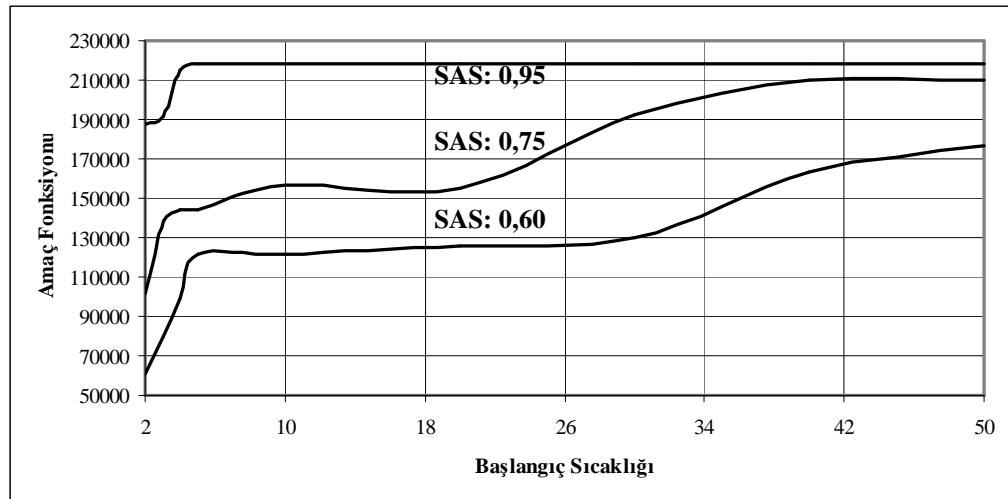


Şekil 4.9. Tavlama benzetimi yöntemi komşuluk sayısına göre iterasyon süreci

Tabu listesi uzunluğu ve sıcaklık azaltma sabiti, tabu arama ve tavlama benzetimi yöntemlerinin yukarıda verilen parametrelere ilave olarak performansını etkileyen diğer önemli parametlerdir. Tabu listesi uzunluğu, kısa süreli bir hafızaya karşılık gelmekte olup tabu listesi uzunluğunun (TLU) yöntemin performansına etkisi Şekil 4.10'da verilmiştir. Burada, TLU'nun 50'den 200'e çıkarılması halinde amaç fonksiyonuna bağlı olarak tabu arama yönteminin performansı (iterasyon sürecinin sonunda) % 17.6 artmıştır. Sıcaklık azaltma sabitinin (SAS) 0.6'dan 0.95'e çıkması halinde ise tavlama benzetimi yöntemi % 19.2 daha yüksek bir performans göstermiştir (Şekil 4.11).



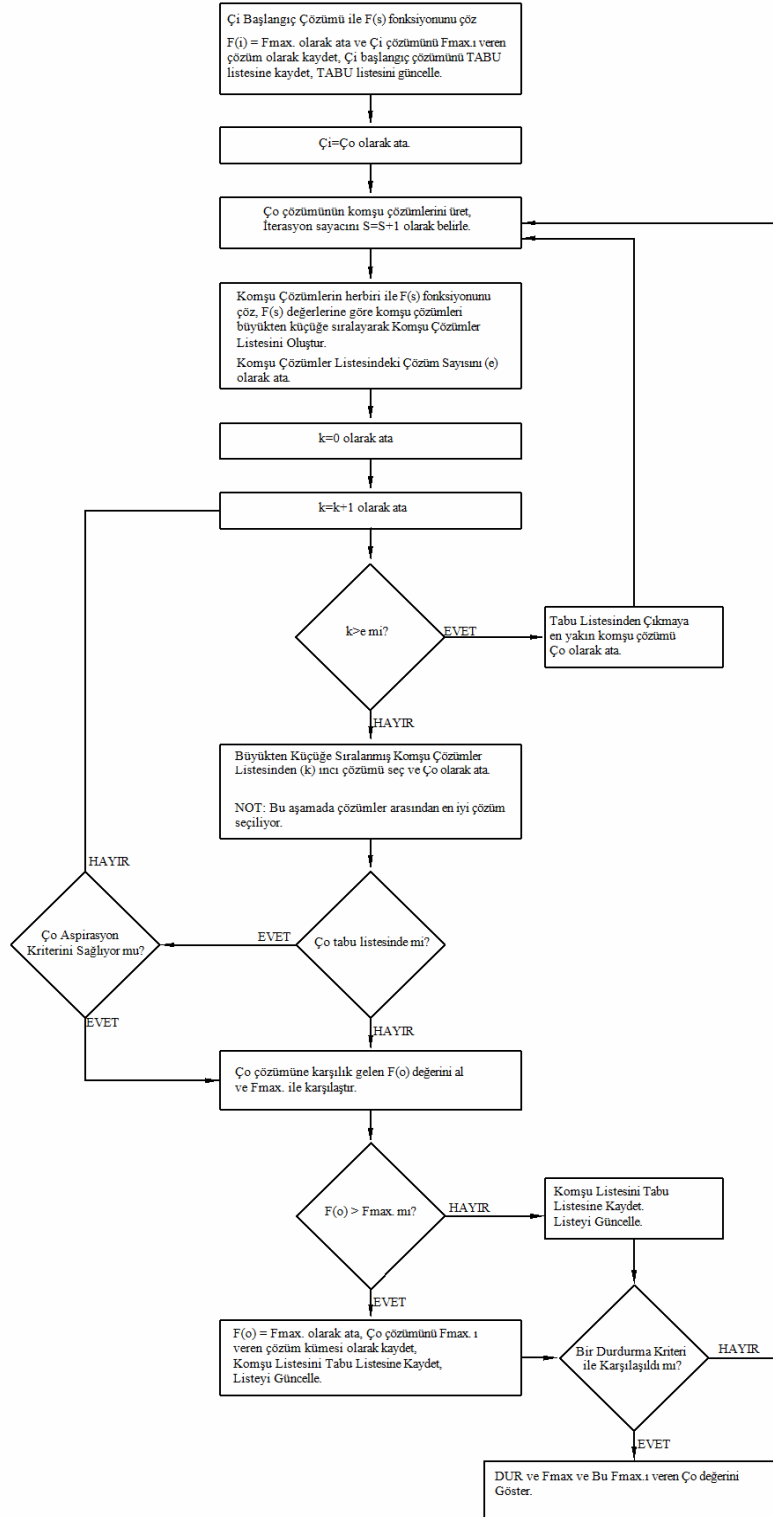
Şekil 4.10. Tabu arama yöntemi tabu listesi uzunluğuna göre iterasyon süreci



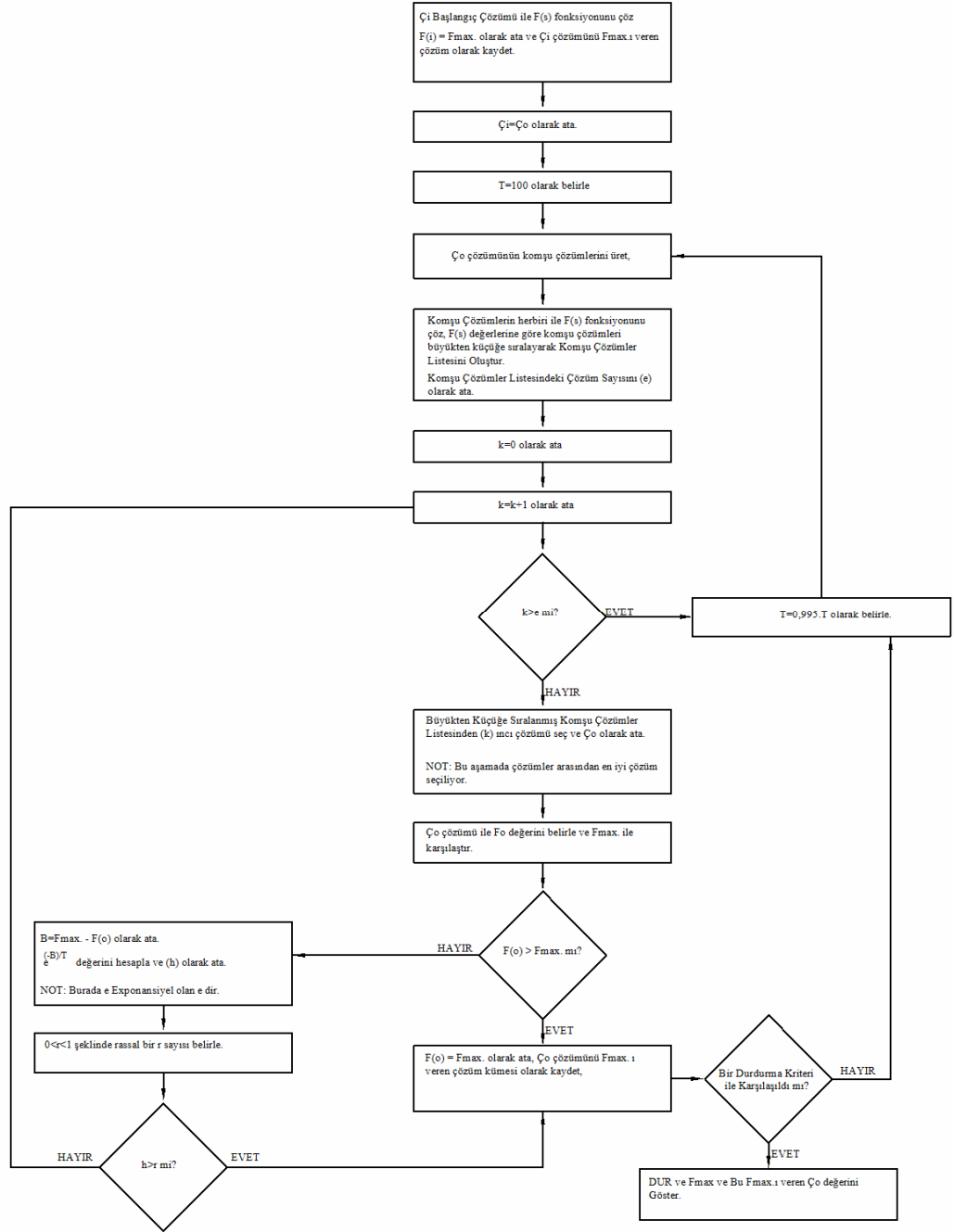
Şekil 4.11. Tavlama benzetimi yöntemi sıcaklık azaltma sabiti değişimine göre iterasyon süreci

Tabu arama, tavlama benzetimi ve tepe tırmanması yöntemlerinin uygulanmasına ait akış diyagramları (Şekil 4.12-14) Delphi 7.0 ortamında geliştirilen ALP (Ambulance Location Program) programı yardımıyla uygulanmış ve çözümler programın Intel Core-Solo 1.86 GHz işlemcili bir bilgisayarda yürütülmesiyle elde edilmiştir. Problemin doğrusal programlama yöntemi ile çözümlenmesinde Lindo 6.1 paket programı kullanılmıştır. ALP programı başlangıç menüsü ve yöntemlere ait ara yüzler ise Şekil 4.15-18'de verilmiştir. Burada, ALP programı arayüzleri, acil servis sistem yöneticilerinin ambulans yerleşim noktalarına karar vermesinde kolaylıkla kullanılabilir şekilde düzenlenmiştir: Şekil 4.15'te görüldüğü gibi program, başlangıç menüsünde yöntemin seçilmesini sağlamak ve daha sonra seçilen yönteme bağlı olarak probleme ve yönteme ait verilerin girilmesiyle çözüme başlamaktadır. Örneğin, başlangıç menüsünde tabu arama yönteminin seçilmesi halinde (Şekil 4.16) sırasıyla talep noktası ve nüfus bilgileri, kapsama standartları, iterasyon sayısı, tabu listesi uzunluğu, cezalandırma katsayıları, toplam ve talep noktalarına atanacak maksimum ambulans sayıları, kapsama oranı, komşuluk sayısı ve başlangıç çözümü değerlerinin verilmesiyle problemin çözümü (kapsanan nüfus, toplam kapsama oranı ve optimum ambulans yerleşim noktaları) ve çözüm süresi elde edilmektedir.

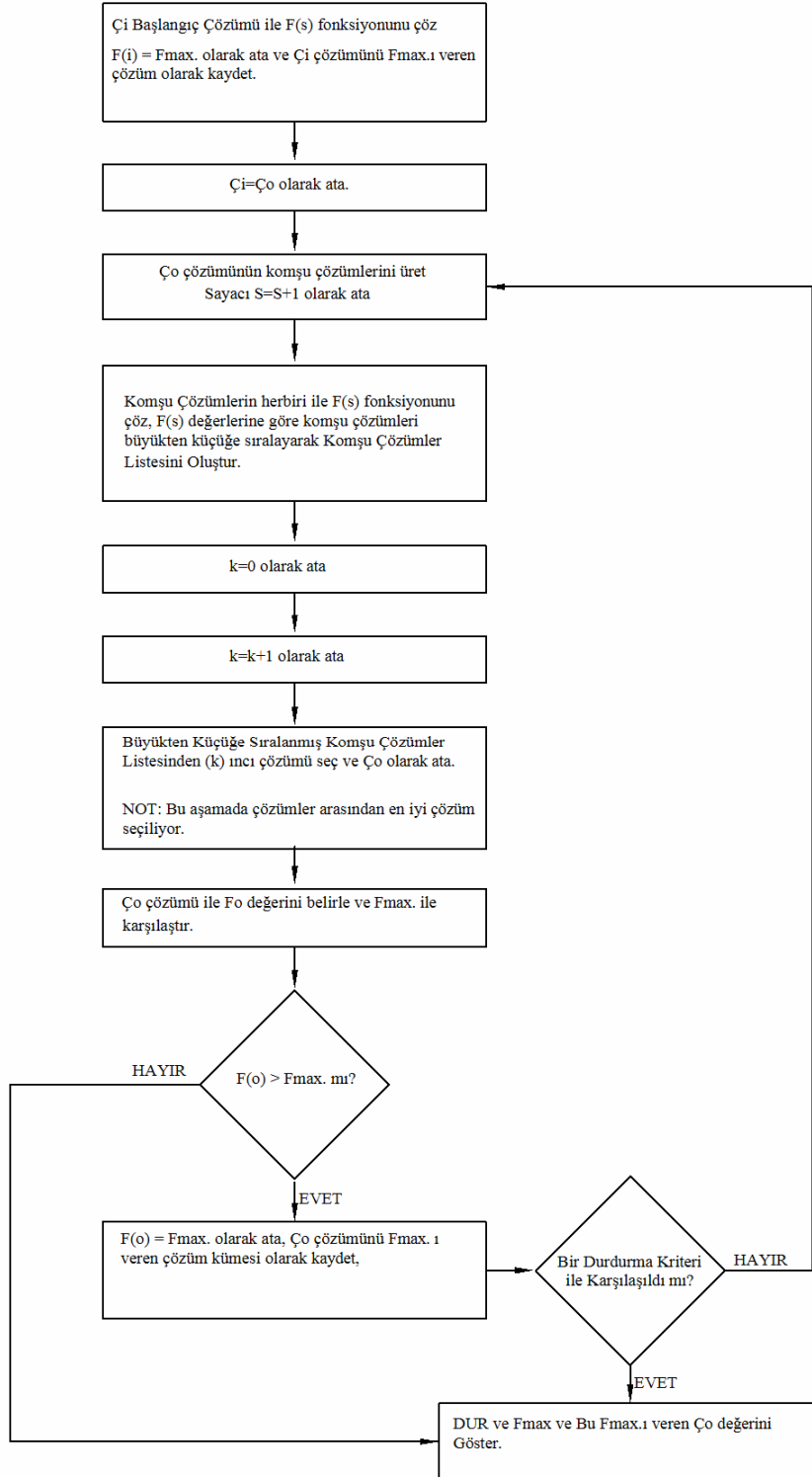
Ambulans yerleşim problemi, bir kombinasyonel optimizasyon problemi olup problemin türev bilgisine sahip olmaması ve çözüm uzayının düzgün (smooth) bir yapı göstermemesi doğrusal programlama gibi klasik optimizasyon yöntemlerinin uygulanmasını zorlaştırmaktadır (Sarıaslan, 1990; Tunç, 2003). Bu durum, yaygın olarak kullanılan doğrusal programlama yanında sezgisel optimizasyon yöntemlerinin de kullanılmasını gerektirmektedir. Yukarıda verilen sonuçlar, sezgisel optimizasyon yöntemlerinin ambulans yerleşim problemlerinin çözümünde doğrusal programlamadan daha etkin (robust) bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Ancak, uygulamada bu yöntemlerin, çözümü garanti etmemesi, çok sayıda ve göz önüne alınan probleme özgü parametreye bağlı olması ve bu parametrelerin seçilmesinde kesin kurallar bulunmaması gibi zorlukları da olduğu göz önüne alınmalıdır.



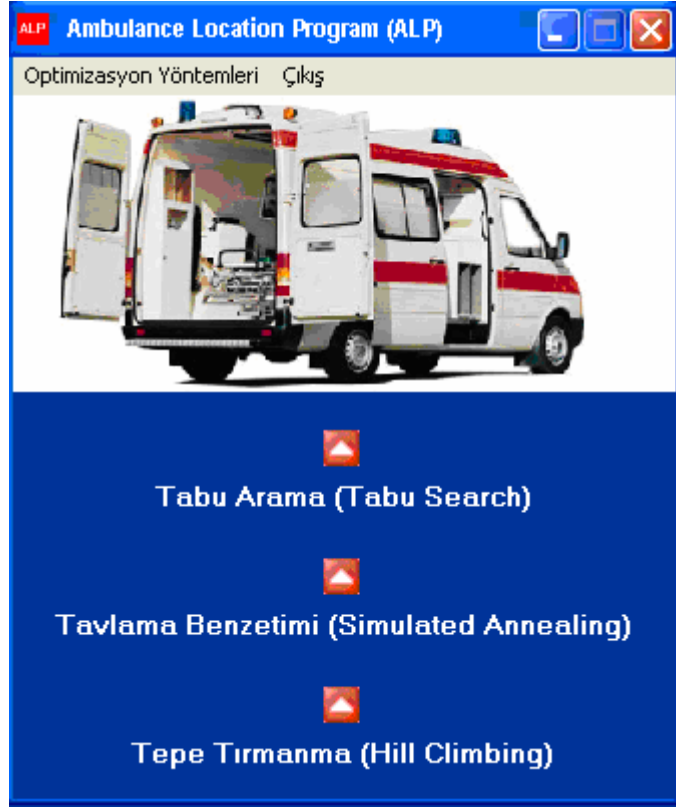
Şekil 4.12. Tabu arama yöntemine ait akış diyagramı



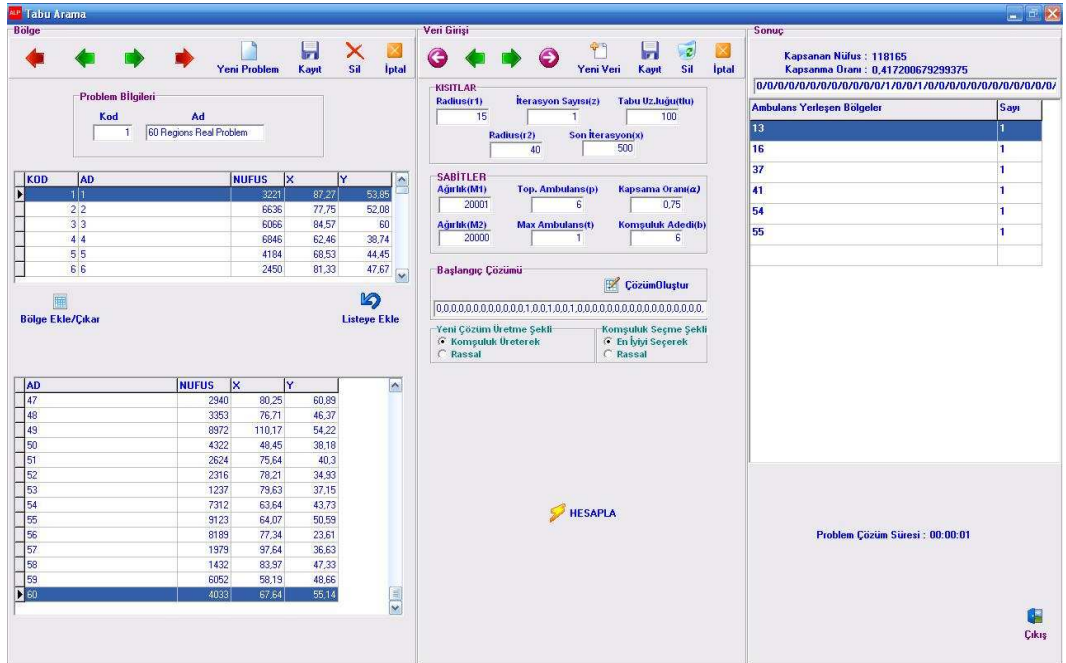
Şekil 4.13. Tavlama benzetimi yöntemine ait akış diyagramı



Şekil 4.14. Tepe tırmanması yöntemine ait akış diyagramı



Şekil 4.15. ALP programı başlangıç menüsü



Şekil 4.16. ALP programı tabu arama yöntemi için ara yüzü

Tavlama Benzetimi

Bölge

Problem Bilgileri
Kod: 1 Ad: 60 Regions Real Problem

KOD	AD	NUFUS	X	Y
1	1	3221	87.27	53.85
2	2	6636	77.75	52.08
3	3	6066	84.57	60
4	4	6846	62.46	38.74
5	5	4184	68.53	44.45
6	6	2450	81.33	47.67

Veri Girişi

KISITLAR
 Radius(r1): 15 Başlangıç Sicaklığı: 1,1 Sicaklık Azaltma Sabiti: 0,95
 Radius(r2): 40 Son Sicaklık: SAİS

SABIHLER
 Ağırlık(M1): 20001 Top. Ambulans(p): 6 Kapsama Oranı(α): 0,75
 Ağırlık(M2): 20000 Max Ambulans(t): 1 Komşuluk Aded(i): 6

HESAPLA

Sonuç

Kapsanan Nüfus : 150979
 Kapsama Oranı : 0,533055823297427

Ambulans Yerleşen Bölgeler	Sayı
13	1
16	1
37	1
38	1
41	1
54	1

Problem Çözüm Süresi : 00:00:02

Şekil 4.17. ALP programı tavlama benzetimi yöntemi için ara yüzü

Tepe Tırmanma

Bölge

Problem Bilgileri
Kod: 1 Ad: 60 Regions Real Problem

KOD	AD	NUFUS	X	Y
1	1	3221	87.27	53.85
2	2	6636	77.75	52.08
3	3	6066	84.57	60
4	4	6846	62.46	38.74
5	5	4184	68.53	44.45
6	6	2450	81.33	47.67

Veri Girişi

KISITLAR
 Radius(r1): 15 Radius(r2): 40 Rerasyon Sayısı: 1

Duruma Kogulu
 İterasyon Sayısı Açılıncaya
 Çözüm Gelişilmezince

SABIHLER
 Ağırlık(M1): 20001 Top. Ambulans(p): 6 Kapsama Oranı(α): 0,75
 Ağırlık(M2): 20000 Max Ambulans(t): 1 Komşuluk Aded(i): 6

HESAPLA

Sonuç

Kapsanan Nüfus : 119155
 Kapsama Oranı : 0,417200679299375

Ambulans Yerleşen Bölgeler	Sayı
13	1
16	1
37	1
41	1
54	1
55	1

Problem Çözüm Süresi : 00:00:01

Şekil 4.18. ALP programı tepe tırmanması yöntemi için ara yüzü

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tabu arama, tavlama benzetimi ve tepe tırmanması yöntemleri son yıllarda kombinasyonel optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan sezgisel arama yöntemleridir. Bu çalışmada, sezgisel yöntemler, Sivas ili ambulans yerleşim problemine, geliştirilen Ambulance Location Programı (ALP) yardımı ile başarıyla uygulanmış olup elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca verilmiştir:

1) Sezgisel arama yöntemleri doğrusal programlamaya kıyasla daha başarılı bulunmuştur. Sonuçlar, kombinasyonel optimizasyon problemlerinde yaygın olarak kullanılan doğrusal programlama yönteminin geniş arama uzaylarında optimum çözüme ulaşacak keşifler yapmakta yetersiz kaldığını buna karşın tabu arama, tavlama benzetimi ve tepe tırmanması yöntemlerinin daha etkin keşifler yapabildiğini göstermiştir.

2) Tabu arama ve tavlama benzetimi yöntemleri işlem sürelerine göre kıyaslandıklarında tabu arama yönteminin optimum çözüme daha hızlı ulaştığı gözlenmiştir. Tepe tırmanması yöntemi ise amaç fonksiyonu değerleri (optimum çözüm) bakımından diğer iki yöntemden daha az başarılı bulunmuştur. Bu durum, tabu arama yönteminin geçici bir hafıza kullanarak denenen çözümlere tekrar dönmemesi ile açıklanabilirken (Filho and Galvao, 1998; Michel and Hentenryck, 2004); tepe tırmanması yönteminin ise yersel optimumlara yakalanmasını (Bosio and Righini, 2007) engelleyecek yaklaşımlarla geliştirilmesi (Muyil ve Ark., 2004; Rajagopalan ve Ark., 2007) gerektiğini ortaya koymuştur.

3) Sezgisel optimizasyon yöntemlerinin başarısı, başlangıç çözümü, komşuluk sayısı, tabu listesi uzunluğu ve sıcaklık azaltma katsayısı gibi yöntem parametrelerinin uygun değerlerinin seçilmesine bağlıdır. Uygun bir başlangıç çözümü ve çözüm uzayının daha etkili keşfedilmesi için komşuluk sayısının artırılması tabu arama ve tavlama benzetimi yöntemlerinin performansını artıran önemli parametrelerdir. Tabu listesi uzunluğu ve sıcaklık azaltma katsayısı sırasıyla tabu arama ve tavlama benzetimi yöntemlerinin performansına etki eden diğer önemli parametrelerdir. Ancak, söz konusu parametrelerin seçilmesinde kesin kurallar bulunmaması sezgisel arama yöntemlerinin uygulanmasında karşılaşılan zorluklardır. Bu çalışmada parametrik değişimlerin yöntemlerin performansına etkisi araştırılmış ve elde edilen ampirik bulgular ortaya konmuştur. Bu konuda yapılacak yeni çalışmalar parametrelerin seçiminde belirli yaklaşımların geliştirilebilmesine yardımcı olacaktır.

4) Bu çalışmada kullanılan statik ambulans yerleşim modeli, Sivas ili ambulans hizmetinin sağlanmasında yeterli görünmesine karşın gelecekteki uygulamalarda ambulans yerleşimlerinin, her bölgenin ambulans talebinin eşit olmadığı ve ambulansların meşgul olması durumlarını göz önüne alan olasılıksal ve/veya dinamik ambulans yerleşim modelleri ile tanımlanması daha gerçekçi çözümler sağlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

Araz, C., Selim, H., Ozkarahan I., 2007, A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services: *Computers and Operations Research*, 34, 705-726.

Arostegui, Jr. M.A., Kadipasaoglu, S.N., Khumawala, B.M., 2006, An empirical comparison of tabu search, simulated annealing and genetic algorithms for facilities location problems: *International Journal of Production Economics*, 103, 742-754.

Augerat, P., Belenguer, J.M., Benavent, E., Corberan, A., Naddef, D., 1998, Separating capacity constraints in the CVRP using tabu search: *European Journal of Operational Research*, 106, 546-557.

Ball, M. and Lin, F., 1993, A reliability model applied to emergency service vehicle location: *Operations Research*, 4, 18-36.

Brotcorne, L., Laporte, G., Semet, F., 2003, Ambulance location and relocation models: *European Journal of Operational Research*, 147, 451-463.

Bosio, S. and Righini, G., 2007, Computational approaches to a combinatorial optimization problem arising from text classification: *Computers & Operations Research*, 34, 1910-1928.

Caballero, R., Gonzalez, M., Guerrero, F.M., Molina, J., Paralara, C., 2007, Solving a multiobjective location routing problem with a metaheuristic based on tabu search. Application to a real case in Andalusia: *European Journal of Operational Research*, 177, 1751-1763.

Cantarella, G.E., Pavone, G., Vitetta, A., 2006, Heuristics for urban road network design: lane layout and signal settings: *European Journal of Operational Research*, 175, 1682-1695.

Daskin, M., 1983, The maximal expected covering location model: formulation, properties, and heuristic solution: *Transportation Science*, 17, 48-70.

Derigs, U. and Kaiser, R., 2007, Applying the attribute based hill climber heuristic to the vehicle routing problem: *European Journal of Operational Research*, 177, 719-732.

Diaz, A. and Rodriguez, F. 1996, A simple search heuristic for the MCLP: Application to the location of ambulance bases in rural region: *Omega, Int. J. Mgmt. Sci.* 25, 181-187.

Drezner, Z. and Wesolowsky, G.O., 2003, Network design: selection and design of links and facility location: *Transportation Research Part A*, 37, 241-256.

Dunn, S.A., 1997, The use of genetic algorithms and stochastic hill-climbing in dynamic finite element model identification: *Computers & Structures*, 66, 489-497.

Eaton, D.J., Daskin, M.S., Simmons, D., Bulloch, B., Jansma, G., 1985, Determining emergency medical deployment in Austin, Texas: *Interfaces* 15 (1), 96-108.

Filho, V.J.M.F. and Galvao, R.D., 1998, A tabu search heuristic for concentrator location problem: *Location Science*, 6, 189-209.

Gendreau, M., Laporte, G., Semet, F., 1997, Solving an ambulance location model by tabu search: *Location Science*, No. 2, 75-88.

Gendreau, M., Laporte, G., Semet, F., 2001, A dynamic model and parallel Tabu search heuristic for real-time ambulance relocation: *Parallel Computing*, 27, 1641-1653.

- Glover, F., 1986, Future paths for integer programming and links to artificial intelligence: *Computers & Operations Research*, 13, 533-549.
- Goldberg, J., Dietrich, R., Chen, J.M., Mitwasi, M.G., 1990, Validating and applying a model for locating emergency medical services in Tucson, AZ: *European Journal of Operational Research*, 49, 308-324.
- Jeon, Y.J. and Kim, J.C., 2004, Application of simulated annealing and tabu search for loss minimization in distribution systems: *Electrical Power and Energy Systems*, 26, 9-18.
- Kirkpatrick, F., Gelatte, C.D., Vecchi, M.P., 1983, Optimization by simulated annealing: *Science*, 220, 671-780.
- Lim, A., Rodrigues, B., Zhang, X., 2006, A simulated annealing and hill-climbing algorithm for the traveling tournament problem: *European Journal of Operational Research*, 174, 1459-1478.
- Marianov, V. and ReVelle, C.S., 1992, The capacitated Standard response fire protection siting problem: deterministic and probabilistic models: *Annals of Operational Research*, 40, 303-322.
- Marianov, V. and ReVelle, C., 1996, The queuing maximal availability location problem: a model for the siting of emergency vehicles: *European Journal of Operational Research*, 93, 110-120.
- Mayer, D.G., Belward, J.A., Burrage, K., 1998, Tabu search not an optimal choice for models of agricultural systems: *Agricultural Systems*, 58, 243-251.
- Michel, L. and Hentenryck, P.V., 2004, A simple tabu search for warehouse location: *European Journal of Operational Research*, 157, 576-591.
- Muyil, F., Dumas, L., Herbert, V., 2004, Hybrid method for aerodynamic shape optimization in automotive industry: *Computers & Fluids*, 33, 849-858.
- Nagy, G. and Salhi, S., 2007, Location-routing: Issues, models and methods: *European Journal of Operational Research*, 177, 649-672.
- Öziş, Ü., Harmançioğlu, N., Türkman, F., 2000, Mühendislik Sistemlerinin Ekonomik Analizi: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Paik, C. and Soni, S., 2007, A simulated annealing based solution approach for two-layered location registration and paging areas partitioning problem in cellular mobile networks: *European Journal of Operational Research*, 178, 579-594.
- Polgar, O., Fried, M., Lohner, T., Barsony, I., 2000, Comparison of algorithms used for evaluation of ellipsometric measurements Random search, genetic algorithms, simulated annealing and hill climbing graph-searches: *Surface Science*, 457, 157-177.
- Rajagopalan, H.K., Vergara, F.E., Saydam, C., Xiao, J., 2007, Developing effective meta-heuristics for probabilistic location model via experimental design: *European Journal of Operational Research*, 177, 83-101.
- ReVelle, C. and Hogan, K., 1989, The maximum availability location problem: *Transportation Science*, 23, 192-200.
- Sariaslan, H., 1990, Kaynak Dağılımında Doğrusal Programlama: Turhan Kitabevi, Ankara.

Saydam, C., Repede, J., Burwell, T., 1994, Accurate estimation of expected coverage: A comparative study: *Socio-Economic Planning Sciences*, 28 (2), 113-120.

Selim, H. ve Özkarahan, İ., 2003, Acil servis araçları yerleşiminin belirlenmesinde yeni bir model: *Endüstri Mühendisliği*, 1.

Sridhar, J., Rajendran, C., 1993, Scheduling in cellular manufacturing system: a simulated annealing approach: *Int. J Prod Res.*, 31-12, 2927-2945.

Sun M., 2006, Solving the uncapacitated facility location problem using tabu search: *Computers & Operations Research*, 33, 2563-2589.

Tarantilis, C.D., Ioannou G., Prastacos, G., 2005, Advanced vehicle routing algorithms for complex operations management problems: *Journal of Food Engineering*, 70, 455-471.

Tunç, A., 2003, *Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları: Asil Yayın Dağıtım*, Ankara.

Youssef, H. Sait, S.M., Adiche, H., 2001, Evolutionary algorithms, simulated annealing and tabu search: a comparative study: *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 14, 167-181.

Zhao, Q.H., Wang, S.Y., Lai, K.K., 2007, A partition approach to the inventory/routing problem: *European Journal of Operational Research*, 177, 786-802.

7. ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Kırıkkale’de doğdu. İlk orta ve lise öğrenimlerini Kırıkkale’de tamamlayarak 1999 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne girdi ve bu bölümden 2003 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2003-2004 yılları arasında Ankara’da askerliğini tamamladı. 2004 yılında Ankara’da özel bir şirkette Yardımcı Kontrol Mühendisi olarak çalıştı, 2004 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne Araştırma Görevlisi olarak girdi ve halen bu göreve devam etmektedir.

8. EKLER

EK 1. Sivas ili için talep noktalarına ait nüfus bilgileri

No	Talep noktası	X (km)	Y (km)	Nüfus
1	Abdulvahabgazi	8,727	5,385	3221
2	Akdeğirmen	7,775	5,208	6636
3	Alibaba	8,457	6,000	6066
4	Altuntabak	6,246	3,874	6846
5	Aydoğan	6,853	4,445	4184
6	Bahtiyarbostan	8,133	4,767	2450
7	Çarşıbaşı	7,906	4,523	2237
8	Çayboyu	9,442	6,708	2738
9	Çayyurt	7,495	5,107	2776
10	Çiçekli	6,603	3,966	3166
11	Dedebalı	8,736	4,786	1888
12	Demircilerardı	8,522	4,082	2755
13	Diriliş	3,487	3,538	10143
14	Dörteylül	6,032	3,416	7199
15	Ece	6,905	4,028	4295
16	Emek	4,842	3,029	10885
17	Esentepe	5,634	4,463	5387
18	Eskikale	7,63	4,259	855
19	Fatih	4,861	5,434	10510
20	Ferhatbostan	8,497	4,468	2457
21	Gökçebostan	8,09	5,277	3379
22	Gökmedrese	7,728	3,871	1287
23	Gültepe	6,215	2,144	6432
24	Gülyurt	8,846	4,651	3285
25	Halilrifatpaşa	7,038	3,724	3367
26	Huzur	9,819	4,787	4637
27	İnönü	8,448	5,136	4739
28	İstiklal	5,578	3,924	4966
29	Kadıburhanettin	6,847	3,137	4225
30	Kaleardı	7,532	3,561	3042

EK 1. Sivas ili için talep noktalarına ait nüfus bilgileri (Devamı)

No	Talep noktası	X (km)	Y (km)	Nüfus
31	Kardeşler	9,255	2,605	2905
32	Karşıyaka	2,72	1,368	3915
33	Kılavuz	10,136	6,059	5057
34	Kızılırmak	8,206	3,031	2182
35	Küçükminare	8,172	4,472	2998
36	Kümbet	5,636	2,767	7673
37	Mehmet Akif Ersoy	9,142	3,998	9103
38	Mehmetpaşa	7,244	4,453	4523
39	Mevlana	7,403	5,738	8621
40	Mimarsinan	3,565	1,904	11740
41	Mısmırlamak	8,67	4,964	2339
42	Orhangazi	8,906	6,051	2460
43	Örtülüpınar	7,264	3,969	6085
44	Paşabey	8,044	4,161	2357
45	Pulur	8,23	3,769	3332
46	Selçuklu	4,826	2,388	8006
47	Seyrantepe	8,025	6,089	2940
48	Sularbaşı	7,671	4,637	3353
49	Şeyhşamil	11,017	5,422	8972
50	Tuzlugöl	4,845	3,818	4322
51	Ulanak	7,564	4,03	2624
52	Üçlerbey	7,821	3,493	2316
53	Yahyabey	7,963	3,715	1237
54	Yenimahalle	6,364	4,373	7312
55	Yenidoğan	6,407	5,059	9123
56	Yenişehir	7,734	2,361	8189
57	Yeşilyurt	9,764	3,663	1979
58	Yiğitler	8,397	4,733	1432
59	Yunusemre	5,819	4,866	6052
60	Yüceyurt	6,764	5,514	4033