

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TIBBİ ATIK LOJİSTİĞİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ
SÜREÇLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Emre EREN

DOKTORA TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı Programı

Danışman
Prof. Dr. Umut Rifat TUZKAYA

Temmuz, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TIBBİ ATIK LOJİSTİĞİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ
SÜREÇLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Emre EREN tarafından hazırlanan tez çalışması 22.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Umut Rıfat TUZKAYA

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Umut Rıfat TUZKAYA

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Semih ÖNÜT, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Emre ÇEVİKCAN, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Doğan ÖZGEN, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Sabahattin Kerem AYTULUN, Üye

Beykent Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Umut Rıfat TUZKAYA sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Tıbbi Atık Lojistiğinde İş Sağlığı ve Güvenliği Süreçlerinin İyileştirilmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Emre EREN

İmza

Aileme

ve

biricik kızım Sare İpek ve biricik oğlum Mert Efe'ye

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca ilminden faydalandığım, karşılaştığım her engelde yardımını esirgemeyen, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli danışman hocam, Prof. Dr. Umut Rıfat TUZKAYA' ya,

Tez çalışmam boyunca değerli önerilerini esirgemeyen ve çalışmamın şekillenmesine katkı sunan değerli hocalarım Prof. Dr. Semih ÖNÜT ve Doç. Dr. Emre ÇEVİKCAN' a

Çalışmamda kullandığım verilerin oluşması için yönlendirdiğim sorulara değerli zamanlarını ayırarak içtenlikle verdikleri cevaplar için İSTAÇ A.Ş.' nin değerli çalışanlarına ve incelediğim bölgedeki hastanelerin değerli çalışanlarına,

Bu günlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme,

teşekkürlerimi sunarım.

Emre EREN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	VII
KISALTMA LİSTESİ	VIII
ŞEKİL LİSTESİ	IX
TABLO LİSTESİ.....	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XIII
1 Giriş.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	13
1.3 Hipotez	13
2 Problemin Tanımı ve Kapsamı	16
2.1 Tıbbi Atık.....	16
2.1.1 Enfeksiyöz Atık	18
2.1.2 Patolojik Atık.....	18
2.1.3 Kesici Atık	19
2.1.4 Tıbbi Atık Oluşturan Sağlık Kuruluşları	19
2.2 Tıbbi Atık Lojistiği.....	22
2.2.1Tıbbi Atıkların Toplanması	22
2.2.2 Tıbbi Atıkların Geçici Depolanması.....	27
2.2.3 Tıbbi Atıkların Bertaraf Alanına Taşınması	29
2.2.4 Tıbbi Atıkların Bertarafı	30
3 Çözüm Yaklaşımları	34

3.1	Analitik Hiyerarşi Prosesi.....	34
3.1.1	Problem Tanımı ve Hiyerarşinin Oluşturulması.....	34
3.1.2	Kriterlerin Birbirleriyle Karşılaştırılması.....	35
3.1.3	Kriterlerin Ağırlıklarının Belirlenmesi	37
3.1.4	Tutarlılık Oranı.....	38
3.1.5	Alternatiflerin Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	39
3.1.6	Alternatiflerin Öncelik Derecelerinin Bulunması	39
3.2	Gezgin Satıcı Problemi.....	40
3.2.1	Simetrik ve Asimetrik Gezgin Satıcı Problemi	42
3.2.2	Gezgin Satıcı Problemi Algoritmaları	43
3.2.3	Gezgin Satıcı Problemi Uygulama Alanları.....	46
3.3	Üyelik Fonksiyonu	47
3.3.1	Üçgen Üyelik Fonksiyonu.....	48
3.3.2	Yamuk Üyelik Fonksiyonu	49
3.3.3	Gauss Üyelik Fonksiyonu	52
4	Uygulama	53
4.1	İstanbul İlinde Tıbbi Atık Lojistiği.....	53
4.2	Tıbbi Atık Lojistiğine AHP Uygulaması.....	60
4.3	Gezgin Satıcı Probleminde Mesafe ve Güvenlik Odaklı Güzergahlar	68
4.4	Üyelik Fonksiyonu ile Optimizasyon	71
4.5	Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi	76
5	Sonuç ve Öneriler	82
	Kaynakça.....	85
A	Gams Sonuçları.....	92
	Tezden Üretilmiş Yayınlar	127

SİMGE LİSTESİ

A	Kıyas matrisi
$(AW)_i$	Sütun vektörü
CI	Tutarlılık göstergesi
CR	Tutarlılık oranı
G	Hastane güvenlik skoru
K	Karar matrisi
kg	Kilogram
Km	Kilometre
L	Sütun vektörü
m	Boyut
m ³	Metreküp
n	Boyut
RI	Rassallık göstergesi
W	Öncelik matrisi
x	Yol
X	Klasik küme
Z_{1min}	1.amaç fonksiyonu
Z_{2max}	2.amaç fonksiyonu
%	Yüzde
\$	Dolar
°C	Santigrat
$\mu(x)$	Üyelik fonksiyonu
λ	Üyelik derecesi

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliđi
AGSP	Asimetrik Gezgin Satıcı Problem
AHP	Analitik Hiyerarşı Prosesi
FAHP	Fuzzy Analitik Hiyerarşı Prosesi
GSP	Gezgin Satıcı Problemi
İSTAÇ A.Ş.	İstanbul Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme Sanayi ve Ticaret A.Ş.
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life Cycle Cost
SGSP	Simetrik Gezgin Satıcı Problem
TAKY	Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
TAL	Tıbbi Atık Lojistiği
WHO	World Health Organization

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Patolojik atık toplama kovası.....	18
Şekil 2.2	Tıbbi atık toplama torbası.....	24
Şekil 2.3	Kesici tıbbi atık kapları.....	25
Şekil 2.4	Tıbbi atık toplama konteyneri.....	26
Şekil 2.5	Tıbbi atık toplama kıyafeti.....	26
Şekil 2.6	Geçici tıbbi atık deposu	28
Şekil 2.7	Lisanslı tıbbi atık taşıma aracı.....	29
Şekil 2.8	Tıbbi atık sterilizasyon tesisi	32
Şekil 2.9	Tıbbi atık yakma tesisi.....	33
Şekil 3.1	AHP hiyerarşisi.....	35
Şekil 3.2	Gezgin satıcı problemi	40
Şekil 3.3	Üçgen üyelik fonksiyonu.....	49
Şekil 3.4	Yamuk üyelik fonksiyonu	50
Şekil 3.5	R-fonksiyonları.....	50
Şekil 3.6	L-fonksiyonları	51
Şekil 3.7	Gauss üyelik fonksiyonu	52
Şekil 4.1	Avrupa yakası tıbbi atık toplama şefliği toplanan tıbbi atık miktarlarının aylara göre dağılımı	54
Şekil 4.2	Avrupa yakası tıbbi atık toplama şefliği toplanan tıbbi atık miktarlarının saat bazında dağılımı.....	54
Şekil 4.3	Tıbbi atık toplama aracının haftalık uğradığı 15 hastanenin ve bertaraf tesisinin harita üzerindeki konumları.	55
Şekil 4.4	Tıbbi atık lojistiği özet diyagramı	59
Şekil 4.5	Tıbbi atık lojistiği hiyerarşisi	60
Şekil 4.6	Tıbbi atık toplama aracının minumum mesafe esaslı izlediği rota	69
Şekil 4.7	Tıbbi atık toplama aracının maksimum güvenlik esaslı izlediği rota	71
Şekil 4.8	Z_{1min} için üyelik fonksiyonu grafiği	73
Şekil 4.9	Z_{2max} için üyelik fonksiyonu grafiği	74
Şekil 4.10	Tıbbi atık toplama aracının optimum turu	76
Şekil 4.11	Kısıt (4.18) analizi	80
Şekil 4.12	Kısıt (4.19) analizi	81

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1	Literatür özeti	7
Tablo 2.1	Sağlık kuruluşu atıkları	16
Tablo 2.2	Tıbbi atık üreten sağlık kuruluşları	20
Tablo 2.3	Türkiye ve diğer ülkelerde olşan tıbbi atık miktarı.....	21
Tablo 3.1	Farklı kriterler için kıyaslama ölçeğı	36
Tablo 3.2	Farklı kıyaslama matrisleri için rassallık göstergeleri.....	38
Tablo 3.3	GSP problemlerini çözüm parametreleri.....	43
Tablo 4.1	Hastane mesafeleri.....	56
Tablo 4.2	Kriterlerin ikili karşılaştırılması.....	61
Tablo 4.3	Toplama alt kriterlerin ikili karşılaştırılması	61
Tablo 4.4	Geçici depolama alt kriterlerin ikili karşılaştırılması	62
Tablo 4.5	Taşıma alt kriterlerin ikili karşılaştırılması	62
Tablo 4.6	Alt kriterlerin ağırlığı, genel ağırlığı ve tutarlılık oranları.....	63
Tablo 4.7	Anket soruları	64
Tablo 4.8	Güvenlik skorları ile AHP sonuçlarının ilişkilendirilmesi.....	66
Tablo 4.9	Amaç fonksiyonları optimum değerleri ve diğer amaç fonksiyonundaki sonuçları.....	71
Tablo 4.10	Optimum değerler	75

Tıbbi Atık Lojistiğinde İş Sağlığı ve Güvenliği Süreçlerinin İyileştirilmesi

Emre EREN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Umut Rıfat TUZKAYA

Dünyada teknolojinin hızla ilerlemesine bağlı olarak sağlık alanında da her geçen gün yeni gelişmeler görülmesiyle birlikte artan nüfus ve hızlı kentleşme sebebiyle sağlık hizmetlerine olan talep de giderek artmaktadır. Bu trende paralel olarak ortaya çıkan tıbbi atık miktarı ve çeşitliliği de hızla artmaktadır. Bu doğrultuda, özellikle büyük şehirlerde tıbbi atıkların etkin bir şekilde toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesi kentsel lojistik kapsamında ele alınan ve güvenlik açısından önem arz eden bir konu olmuştur. Bu çalışmanın amacı, tıbbi atık lojistiği için iş sağlığı ve güvenliği açısından en güvenli ve en kısa mesafede tıbbi atık toplama araçlarının rotalarının belirlenmesidir. Bu çalışmada öncelikle tıbbi atık lojistiği aşamaları belirlenmiş, hiyerarşik bir yapı oluşturulmuş ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile hiyerarşik yapı içindeki kriterler ağırlıklandırılmıştır. Daha sonra bu kriterlerin hastanelerde ne derece sağlandığı, hastanelerin tıbbi atık sorumluları tarafından değerlendirilmiş ve AHP yöntemi ile elde edilen ağırlıklar ile ilişkilendirilerek her hastane için güvenlik skorları elde edilmiştir. Elde edilen güvenlik skorları, çok amaçlı hale getirilen gezgin satıcı problemi içerisinde kullanılarak tıbbi atık lojistiğinin güvenliği ve toplam taşıma mesafesi

optimizasyonunu esas alan iki amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu doğrusal programlama modeli çözülerek uzlaşık bir çözüm elde edilmiştir. İstanbul'da karşılaşılan ve sağlık kuruluşlarından kaynaklanan tıbbi atık lojistiğinin çözümüne yönelik olarak önerilen bu model spesifik bir bölge için uygulanmış, çıkan sonuçlar analiz edilmiş ve tıbbi atık toplama araçlarının rotalanmasına dair önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelime: Analitik Hiyerarşi Prosesi, Tıbbi Atık, Tıbbi Atık Lojistiği, Üyelik Fonksiyonu, Gezgin Satıcı Problemi



Improvement of Occupational Health and Safety Processes in Medical Waste Logistics

Emre EREN

Department of Industrial Engineering

PhD. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Umut Rifat TUZKAYA

The outstanding pace of technological development around the world coupled with increasing population and rapid urbanization have brought along an ever-increasing demand for healthcare services. This trend results in an increasing amount and variety of medical wastes. In this regard, the issue of effective collection, transportation and disposal of medical wastes, specifically in large cities, has become a critical concern from the viewpoint of urban logistics and holds great importance in terms of safety. The aim of this research is to determine the safest and shortest transportation routes for medical waste vehicles within the frame of occupational health and safety regulations. The study involves the determination of the stages of medical waste logistics, establishment of a hierarchical structure, and weighting of the criteria within the established hierarchical structure by means of Analytic Hierarch Process (AHP). Afterwards, the extent to which these criteria are complied in hospitals was evaluated by the medical waste officers of hospitals, and safety scores were obtained for each hospital through associating the results with the weighted values obtained by AHP. The resulting safety scores were used in a multi-purpose travelling salesman problem for deriving two objective functions which are based on medical waste logistics safety and total transportation distance. A conciliating solution was obtained by solving this linear programming model. The

model proposed for medical waste logistics problem encountered by healthcare institutions in İstanbul was implemented for a specific region of Istanbul province, the obtained results were analyzed and recommendations as to the routing for medical waste vehicles were proposed.

Keywords: Analytic Hierarchy Process, Medical Waste, Medical Waste Logistic, Membership Function, Traveling Salesman Problem



Bütün sektörlerde olduğu gibi sağlık sektöründe de teknolojik ilerleme ve nüfus artışına paralel olarak, atık miktarı ve çeşitliliği her geçen gün hızla artmaktadır (Gusca ve ark., 2015; Qi ve ark., 2018; Windfeld ve Brooks, 2015). Sağlık sektöründe ortaya çıkan bu atıklar, diğer atıkların dışında toprakta, suda ve havada kalıcı etkiler göstermekte, içeriğinde yer alan virüsler ve enfeksiyon ajanları da göz önüne alındığında, çevre açısından ciddi riskler taşımaktadır (Birpınar ve ark., 2009; Patwary ve ark., 2011; Qi ve ark., 2018). Bu atıkların çevreye verdikleri etkilerin dışında başta sağlık personelleri olmak üzere insan sağlığı ve güvenliği açısından da önemli riskler oluşturmaktadır (Birpınar ve ark., 2009). Bu nedenlerle tıbbi atıkların toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesine ilişkin özel önlemler alınması gerekmektedir (He ve ark., 2016; Patwary ve ark., 2011; Su ve Chen, 2018).

1.1 Literatür Özeti

Tıbbi atık lojistiği popüler bir konu olması sebebi ile geniş bir literatüre sahiptir. Konu kavramsal, uygulamaya dönük, matematiksel modeller içeren, istatistik tabanlı ya da çok kriterli karar verme kapsamında, çok farklı şekillerde ele alınmıştır. (Coelho ve ark., 2017; Delmonico ve ark., 2018). Bu bölümde her bir alana örnekler verilerek geniş bir literatür incelemesi yapılmıştır.

Birpınar ve ark. (2009) tarafından tıbbi atıkların yönetimi üzerine yapılan çalışmada, 192 hastanede oluşan tıbbi atık miktarının belirlenmesi, toplanması ve geçici depolanması süreçleriyle ilgili 14 soruluk bir anket hazırlanmıştır. Bu anket sonucunda hastanelerden gelen atıkların yaklaşık 22 ton/gün olduğu ve ortalama tıbbi atık üretim oranı 0,63 kg/(yatak.gün) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca hastanelerin %75'inde tıbbi atıkların toplanmasında uygun kapların kullanıldığı, hastane personelinin yaklaşık %77'sinde tıbbi atık toplama için uygun ekipman kullandığı, hastanelerin %63'ünde geçici tıbbi atık depolarına sahip olduğu tespitlerinde bulunmuşlardır.

Alagöz ve Kocasoy (2008a), yapmış oldukları çalışmada İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nde hastanelerden ve diğer küçük sağlık kurumlarından elde edilen sağlık hizmetleri atıklarının miktarı belirlenmiş, atıkların kurumlarda toplama yolları ve bertaraf uygulamaları incelenmiştir. Çalışmayı değerlendirmek için bir anket hazırlanmış, uygulanmış ve anketlere verilen cevapların güvenilirliğini kontrol etmek için saha gözlemleri ve görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Sağlık kurumları ziyaret edilmiş ve sağlık hizmetleri atıklarının yönetimi incelenmiştir. Bu kurumlarda sağlık hizmetleri atıklarının önemi ve farkındalık bilincinin eksikliği, kurumların yönetimi ile tartışılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

Yong ve ark. (2009), çalışmalarında, Nanjing'deki 15 hastane, 3 bertaraf şirketi ve 200 hasta için tıbbi atık yönetiminin mevcut durumunu, Tıbbi Atık Kontrolü Yönetmeliği (TAKY) ışığında analiz etmişlerdir. Tıbbi atıkların üretiminden, toplamasına, depolamasından, taşınmasına, bertaraf edilmesinden verilen eğitimlere ve kamu bilinci de dahil olmak üzere farklı tıbbi atık yönetimi konularına ilişkin bilgi toplamak için anket çalışması yapılmış ve saha ziyaretleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, Nanjing'de tıbbi atık üretim oranının 0,5 ila 0,8 kg/(yatak.gün) aralığında değiştiği ve ortalama 0,68 kg/(yatak.gün) olduğu belirlenmiştir. Yapılan anket çalışmasında, Nanjing'deki hastanelerin %73'ünde tıbbi atıkların diğer atık türlerinden ayrı toplandığı, hastanelerin %93,3'ünün geçici depolama alanlarına sahip olduğu ve hastanelerin %20'sinde hala tıbbi atık toplama için vasıfsız personel kullanıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca tıbbi atık bertaraf sisteminin yakma teknolojisine dayalı olarak inşa edildiği ve tıbbi atıkların bertaraf maliyetinin yaklaşık 580 \$/ton olduğu belirlenmiştir.

Patwary ve ark. (2011), tıbbi atık lojistiğinde görevli işçilerin davranışlarını incelemek için bir çalışma yapmışlardır. Çalışma veri toplama teknikleri, gözlem ile birlikte resmi ve gayri resmi görüşmeler olmak üzere çeşitli yöntemleri içermektedir. Bu çalışmada tıbbi atıkların potansiyel risklerini minimize etmek amaçlanmıştır. Çalışmanın sonucunda, atıklarla ilgili personellerin genellikle eğitimsiz oldukları hatta söz konusu tehlikelere dair temel bilgilere dahi sahip olmadıkları görülmüştür. Çoğu zaman da kişisel koruyucu ekipmanın yetersiz olduğu ve tıbbi atık için yeterli depolama tesisine sahip olunmadığı tespit edilmiştir.

Rolewicz-Kalińska (2016) çalışmasında, tıbbi atık yönetimi sistemindeki yasal zorunlulukları ve ekonomik yönleri ele almıştır. Polonya'da yaklaşık 40 bin atık üreten sağlık kuruluşu olduğunu, her yıl ortalama 45 bin ton tıbbi atık üretildiği ve bu tıbbi atıkların %90'ından fazlası enfeksiyöz atık olarak sınıflandırıldığı belirtilmiştir. Oluşan tıbbi atıkların çoğu hastanelerden ve büyük sağlık hizmetleri birimlerinden toplanırken; özel tıbbi polikliniklerin, araştırma birimlerinin, bakımevlerinin ve eczanelerin de tıbbi atık oluşturulduğu ifade edilmiştir. Tıbbi atık üreten tüm birimler için, özellikle tıbbi atıklarla ilgili olarak toplama, depolama ve bertaraf için yasal zorunluluklardan bahsedilmiştir. Bir tıbbi atık yönetimi sisteminin sürdürülebilirliği için atık üretim birimleri ile bertaraf tesisleri arasındaki süreçte atıkların lojistiğinin verimli bir şekilde sağlanması gerekliliği vurgulanmıştır. Bu süreçte en önemli problemin, atıkların kaynağında doğru ayrıştırılması sonucuna varılmıştır.

He ve ark. (2016), çalışmalarında Çin'de tıbbi atık konusundaki çalışmaların temel olarak işletme teknolojisi ve yönetmelikler gibi konulara odaklandığını, son on yılda tıbbi atıkların yönetimi konusunda büyük başarılar elde edildiğini ifade etmişlerdir. Aynı zamanda maliyet ve riskin yüksek olduğu toplama sürecinin yetersiz kaldığı Çin'de her yıl, tıbbi atık toplama sürecinde çok sayıda kaza ve maddi kayıpların söz konusu olduğuna dikkat çekmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada, Çin'deki bertaraf şirketleri tarafından geri dönüştürülen tıbbi atıkların biriktirilme aşaması dahil olmak üzere toplama ağı analiz edilmiştir. Mevcut lojistik problemi çözmek için araç rotalama problemi kullanılarak maliyet ve taşıma riskini optimize eden bir model önerilmiştir. Ayrıca, çalışmalarında toplama sürecinde düzenlemeler ve yöntemleri ile ilgili öneriler verilmiştir.

Coelho ve ark. (2017), çalışmalarında katı atık yönetiminde kullanılan çok kriterli karar verme uygulamalarının literatür taraması yapılmış, mevcut uygulamaların eleştirel bir değerlendirmesi sunulmuş ve gelecekteki çalışmalar için önerilerde bulunmuşlardır. Bu bağlamda katı atık yönetiminde çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanması ile ilgili 260 makalenin analizi yapılmıştır. Bu çalışmalar, normalizasyon, ağırlıklandırma ve duyarlılık analizi gibi spesifik adımlar içeren metodoloji açısından incelenmiştir. Ayrıca, atık türleri ile ilgili bilgiler

verilmiş ve çalışmaların amaçları tüm boyutlarıyla incelenerek tespitlerde bulunulmuştur. Analiz edilen makalelerden, katı atık yönetiminde çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılan çalışmaların ağırlıklı olarak tesis yeri seçimi veya yönetim stratejisi içeren belediye katı atıklarıyla ilgili sorunlara yönelik olduğu tespit edilmiştir.

Dursun ve ark. (2011), yapmış oldukları çalışmada, tıbbi atıkların bertaraf için “yakma”, “buhar ile sterilizasyon”, “mikrodalga” ve “depolama” alternatiflerini incelemişlerdir. Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı bir şekilde analiz edilmiştir. İstanbul için en uygun bertaraf yönteminin buhar ile sterilizasyon olduğu ancak bu yöntemin diğer yöntemler ile kıyaslandığında oldukça maliyetli olduğu belirtilmiştir. İkinci ve üçüncü olarak ta mikrodalga ve depolama yöntemi önerilmiştir. Yakma yönteminin ise, hem olumsuz çevre ve sağlık etkilerinden hem de yüksek sermaye ve işletme maliyetleri nedeniyle son alternatif olarak düşünülebileceği ifade edilmiştir.

Hong ve ark. (2018), çalışmalarında tıbbi atık bertarafı için en etkili tekniği ölçmek amacıyla Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment (LCA)) ve Yaşam Döngüsü Maliyeti (Life Cycle Cost (LCC)) yöntemlerini kullanmışlardır. Bu iki yöntem ile piroliz, buhar ile sterilizasyon ve kimyasal dezenfeksiyon ile bertaraf etme tekniklerini incelemişlerdir. Üç tıbbi atık bertaraf etme alternatifinin çevresel ve ekonomik etkileri araştırılmıştır. Buhar ile sterilizasyon en yüksek çevresel ve ekonomik etki, kimyasal dezenfeksiyon en düşük çevresel ve ekonomik etki sergilediği ifade edilmiştir.

Hsu ve ark. (2008), Tayvan’da hastanelerin en uygun atık bertaraf firmasını seçmek ve performansını değerlendirmek için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak firmaların hizmet kapasitesi, nitelikleri, ekipmanı ve ekonomik faktörleri değerlendirmiştir ve AHP tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem tıbbi atık firmalarını, subjektif değerlendirme yöntemlerinden daha etkili ve hassas bir şekilde seçme olanağı sunmuştur. Sonuç olarak hastanelerin en uygun tıbbi atık bertaraf firmasını seçmesini sağlayan etkili bir yöntem geliştirilmiştir.

Delmonico ve ark. (2018), çalışmalarında sağlık hizmeti atık yönetimindeki sorunları ve bunların önemini araştırmışlardır. Bu amaçla, iki Brezilya hastanesinde

atık yönetimi uygulamalarını AHP yöntemini kullanarak analiz etmişlerdir. Bu çalışmada değerlendirme kriterleri insan faktörleri, yönetim ve altyapı olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. Hastane 1 için yönetim kriteri ile ilgili en önemli alt kriter olarak maliyet, çalışan farkındalığı ve otoklav eksikliği öne çıkmıştır. Hastane 2 için ise, çalışan farkındalığı, yönetim ilkelerinin eksikliği ve atık yönetiminde çalışan personellerin yetersizliği alt kriterleri öne çıkmıştır. Çalışmalarındaki temel bulgular maliyet ve çalışan farkındalığının en önemli kriter olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar ile, literatürün çok kriterli değerlendirmesi için ampirik bir temel sağladığını vurgulamışlardır.

Ishtiaq ve ark. (2018), çalışmalarında, Pakistan'ın en büyük şehri Karachi'de hastane atık yönetiminde en verimli tedarikçilerin seçimi için kriterler ve alt kriterler belirlenerek hiyerarşik bir yapı oluşturulmuştur. Hiyerarşik yapıyı ağırlıklandırmak için AHP yöntemi kullanılmıştır. AHP yöntemi sayesinde hiyerarşik yapıdaki, atık yönetimi maliyetinin %45.5 ve tedarikçi seçiminin %31.5 ile en önemli iki kriter olduğu belirlenmiştir. Tedarikçi seçimi kriteri için en önemli üç alt kriterinde depolama maliyeti %15.7, atık elleçleme maliyetinin %14.7 ve tedarikçilerin yeterliliğinin %10.9 olduğu ifade edilmiştir.

Ho (2011), çalışmasında Tayvan'da son yıllarda tıbbi atık üretimindeki hızlı artış, tüm sağlık kurumlarının işletme maliyetlerini artırdığını, bu nedenle tıbbi atık bertaraf ihtiyaçlarını karşılamak için, hastanelerin düşük maliyetle kaliteli hizmet sunan tedarikçiler aradığını belirtmiştir. Fuzzy Analitik Hiyerarşi Prosesi (FAHP) yöntemi kullanılarak sağlık kurumlarının tıbbi atık bertaraf firmalarını objektif ve sistematik olarak seçebilecekleri bir değerlendirme yöntemi önermişlerdir.

Buhrkal ve ark. (2012), yapmış oldukları çalışmada zaman pencereli araç rotalama problemi kullanılarak, atık toplama araçlarının rotalarını belirlemişlerdir. Çöp kamyonları için tüm çöp kutularına uğrayan ve atıkları bertaraf tesislerine yönlendiren en uygun güzergâhlar önerilmiştir.

Alagöz ve Kocasoy (2008b), İstanbul ili için tıbbi atık toplama ve taşıma sistemi geliştirmek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Çalışma kapsamında, sağlık hizmetleri atıklarının toplanması, sağlık kuruluşlarının geçici depolanması, bu atıkların nihai bertaraf alanlarına taşınması için mevcut ve önerilen optimum ulaşım yollarının

maliyet analizleri araştırılmış ve ekonomik açıdan en uygun yollar belirlenmiştir. Rota optimizasyon problemini çözmek için MapInfo ve Roadnet adı verilen özel yazılım programları kullanılmıştır. Program için hastane yerlerinin coğrafi konumları, üretilen sağlık hizmetleri atıklarının miktarı, yükleme ve boşaltma işlem süreleri ve toplama araçlarının kapasitesi dikkate alınmıştır.

Alumur ve Kara (2007), yapmış oldukları çalışmada çok amaçlı lokasyon seçimi için yeni bir model önermiştir. Model ayrıca literatürde gözlemlenen ancak önceki modellere dahil edilmeyen bazı kısıtlamalar içermektedir. Önerilen modelin amacı, tedavi merkezlerinin nerede açılacağı, hangi teknolojileri kullanacağı, bertaraf merkezlerinin açılacağı yerler, uygun bertaraf teknolojilerinden farklı tehlikeli atık türlerinin nasıl yönlendirileceği ve atıkların bertaraf merkezlerine nasıl yönlendirileceğini içermektedir. Model ayrıca toplam maliyeti ve taşıma riskini en aza indirmeye amacına da sahiptir. Çalışma için Türkiye'nin İç Anadolu bölgesi seçilmiş ve modelin geniş ölçekli bir uygulaması sunulmuştur.

Literatür taramasındaki çalışmaların özet tablosu Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1 Literatür özeti

Çalışmanın Yazarı ve Yayınlanma Yılı	Çalışmanın Alanı	Çalışmanın Amacı	Çalışmada Kullanılan Yöntem
Birpınar ve ark. (2009)	Tıbbi atık lojistiği	Tıbbi atık miktarının ve lojistik koşullarının belirlenmesi	Anket
Alagöz ve Kocasoy (2008a)	Tıbbi atık lojistiği	Tıbbi atık miktarının belirlenmesi, toplama yolları ve bertaraf uygulamaları incelenmek	Anket
Yong ve ark. (2009)	Tıbbi atık lojistiği	Tıbbi atık üretimi, toplama, depolama, eğitim ve öğretim, ulaşım, imha ve kamu bilinci dahil olmak üzere farklı tıbbi atık yönetimi konularına ilişkin bilgi toplamak	Anket
Patwary ve ark. (2011)	Tıbbi atık lojistiği	Tıbbi atıkların lojistiğinde görevli işçilerin davranışlarını incelemek	Veri toplama, gözlem ile birlikte resmi ve gayri resmi görüşmeler
Rolewicz-Kalińska (2016)	Tıbbi atık yönetimi	Tıbbi atık yönetimi sistemindeki mevcut yasal zorunlulukları ve ekonomik yönleri incelemek	Lojistik kısıtlamalar analizi

Tablo 1.1 Literatür özeti (devamı)

Çalışmanın Yazarı ve Yayınlanma Yılı	Çalışmanın Alanı	Çalışmanın Amacı	Çalışmada Kullanılan Yöntem
He ve ark. (2016)	Tıbbi atık lojistiği	Tıbbi atık toplama ağını analiz etmek, maliyet ve taşıma riskini optimize etmek	Araç rotalama problemi
Coelho ve ark. (2017)	Katı atık lojistiği	Çok kriterli karar verme uygulamalarının literatür taraması	Daha önce yapılan çalışmaların eleştirel bir değerlendirmesi sunulmuş ve gelecekteki çalışmalar için önerilerde bulunmuşlardır
Dursun ve ark. (2011)	Tıbbi atık bertaraf	Tıbbi atıkların bertaraf için “yakma”, “buhar ile sterilizasyon”, “mikrodalga” ve “depolama” alternatiflerinin incelenmesi	Bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımları
Hong ve ark. (2018)	Tıbbi atık bertaraf	Tıbbi atık bertarafı için en etkili tekniği ölçmek	LCA (Life cycle assessment) ve LCC (Life cycle cost)
Hsu ve ark. (2008)	Tıbbi atık bertaraf	En uygun atık bertaraf firmasını seçmek ve performansını değerlendirmek	AHP

Tablo 1.1 Literatür özeti (devamı)

Çalışmanın Yazarı ve Yayınlanma Yılı	Çalışmanın Alanı	Çalışmanın Amacı	Çalışmada Kullanılan Yöntem
Delmonico ve ark. (2018)	Tıbbi atık	Sağlık hizmeti atıkları yönetimindeki engelleri ve bunların önemini araştırmışlardır	AHP
Ishtiaq ve ark. (2018)	Hastane atık yönetimi tedarikçilerinin seçimi	Hastane atık yönetimi tedarikçilerinin seçimi için çok amaçlı yöntem geliştirmek	AHP
Ho (2011)	Tıbbi atık bertaraf firması seçimi	Sağlık kurumlarının tıbbi atık bertaraf firmalarını objektif ve sistematik olarak seçebilecekleri bir değerlendirme yöntemi önermek	FAHP
Buhrkal ve ark. (2012)	Evsel atık	Atık toplama araçlarının rotalarını belirlemesi	Zaman pencereli araç rotalama problemi
Alagöz ve Kocasoy (2008b)	Tıbbi atık toplama ve taşıma sistemi	Tıbbi atık lojistiği için mevcut ve önerilen optimum ulaşım yollarının maliyet analizlerini araştırmak	MapInfo ve Roadnet yazılım programları ile analiz

Tablo 1.1 Literatür özeti (devamı)

Çalışmanın Yazarı ve Yayınlanma Yılı	Çalışmanın Alanı	Çalışmanın Amacı	Çalışmada Kullanılan Yöntem
Alumur ve Kara (2007)	Tıbbi atık	Maliyeti ve taşıma riskini en aza indirme	Araç rotalama problemi

Tablo 1.1'deki çalışmaların sonuçları birbirleri ile karşılaştırıldığında; üretilen tıbbi atık miktarı, Alagöz ve Kocasoy (2008a) Türkiye'nin başkenti İstanbul'da yapmış olduğu çalışmada, Avrupa Yakası için 0,59 kg/(yatak.gün) olurken, Anadolu Yakası için 0,6199 kg/(yatak.gün) olduğu ifade edilmiştir. Sonraki yıl Birpınar ve ark. (2009) Türkiye'de yapmış olduğu çalışmada üretilen tıbbi atık miktarını 0,63 kg/(yatak.gün) ve aynı yıl Yong ve ark. (2009) Çin'de yapmış olduğu çalışmada 0,68 kg/(yatak.gün) olduğu belirlenmiştir. Farklı ülkelerde yapılan bu iki çalışmada da oluşan tıbbi atık miktarı birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu çalışmalardan yaklaşık 7 yıl sonra Rolewicz-Kalińska (2016)'ın Polonyada yapmış olduğu çalışmada 0,89 kg/(yatak.gün) olduğu belirlenmiştir. Hong ve ark. (2018) çalışmasında da, Çin'de oluşan tıbbi atık miktarının ciddi bir şekilde arttığı, Shanghai City'deki hastanelerde oluşan tıbbi atık miktarı, 2013 yılında 0.75 kg/(yatak.gün) iken 2015 yılında 0.95 kg/(yatak.gün) yükseldiği ve üç yıl içerisinde %26.67'lik bir artışa karşılık geldiği ifade edilmiştir. Bu çalışmalardaki sonuçlara göre Dünyanın çeşitli bölgelerinde üretilen tıbbi atık miktarının hızla arttığı görülmüştür.

Birpınar ve ark. (2009)'a göre hastanelerin %25'inde tıbbi atıkların toplanmasında uygun kapların kullanılmadığı, hastane personelinin yaklaşık %23'ünde tıbbi atık toplama için uygun ekipman kullanılmadığı, hastanelerin %37'sinde geçici tıbbi atık depolarına sahip olmadığı, Yong ve ark. (2009)'ın çalışmasında ise hastanelerin %27'sinde tıbbi atıkların diğer atık türleri ile birlikte toplandığı, hastanelerin %6,7'sinde geçici tıbbi atık depolarına sahip olmadığı ifade edilmiştir. Ayrıca Yong ve ark. (2009) hastanelerin %20'sinde hala tıbbi atık toplama için vasıfsız personel kullanıldığı tespitinde bulunmuştur. Bu çalışmaların bir benzeri, Patwary ve ark. (2011), tıbbi atıkların potansiyel risklerini minimize etmek amacıyla yapmış olduğu çalışmada, tıbbi atık yönetiminde görevli personellerin davranışlarını incelemişler, atıklarla ilgili personellerin sıklıkla eğitimsiz oldukları hatta söz konusu tehlikelere dair temel bilgilere dahi sahip olmadıkları belirtilmiştir. Benzer şekilde, Alagöz ve Kocasoy (2008a), kurumlarda sağlık hizmetleri atıklarının önemi ve farkındalık bilincinin eksikliğinden bahsetmiştir. Patwary ve ark. (2011)'da yönetsel olarak ta eksikliklere dikkat çekmiş, çoğu zaman kişisel koruyucu ekipmanların yetersiz kaldığından ve tıbbi atık için yeterli geçici depolama alanına sahip olunmadığından bahsetmiştir. He ve ark. (2016), tıbbi atık lojistiğinde en maliyetli ve en riskli

sürecinin toplama süreci olduğundan ve yetersiz kalındığından dolayı bu süreçte çok sayıda kaza ve maddi kayıpların söz konusu olduğundan bahsetmiştir. Hong ve ark. (2018) çalışmasında tıbbi atıkların sadece üçte birinin güvenli bir şekilde muamele edildiğinden bahsedilmiştir. Bu çalışmalardan da anlaşılacağı üzere tıbbi atık lojistiği süreçlerinde literatürdeki eksiklikler halen devam etmekte olduğu görülmektedir.

Tıbbi atık lojistiği diğer atıklara nazaran oldukça maliyetli olduğundan, ekonomik yönden ele alan çalışmalarda mevcuttur. Dursun ve ark. (2011), bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımları kullanılarak, Hong ve ark. (2018), LCA ve LCC yöntemlerini kullanarak, tıbbi atık bertarafı için en etkili yöntemi belirlemeye çalışmışlardır. Her iki çalışmada da en uygun ve en maliyetli bertaraf yönteminin buhar ile sterilizasyon olduğu ifade edilmiştir. Hsu ve ark. (2008) AHP ve Ho (2011) FAHP yöntemlerini kullanarak, Tayvan'da hastaneler için en uygun atık bertaraf firmasını seçmek için çalışmalar yapmıştır. AHP ve FAHP tabanlı yöntemler sayesinde, tıbbi atık bertaraf firmalarını subjektif değerlendirme yöntemlerinden daha objektif ve sistematik olarak seçebilecekleri 2 farklı model önerilmiştir. Bu çalışmaların bir benzeri de Ishtiaq ve ark. (2018)'nin çalışmasında, AHP yöntemi ile Karachi'de hastane atık yönetimi tedarikçilerinin seçiminde, %45.5 ile en önemli kriterin atık yönetimi maliyeti olduğu ifade edilmiştir.

Yapılan çalışmalar genel olarak maliyetin en aza indirilmesi ve potansiyel risklerin minimize edilmesi konuları üzerinedir (Delmonico ve ark., 2018; Dursun ve ark., 2011; He ve ark., 2016; Ho, 2011; Hong ve ark., 2018; Hsu ve ark., 2008; Ishtiaq ve ark., 2018; Patwary ve ark., 2011; Rolewicz-Kalińska 2016). Bunun yanında, tıbbi atıkların yönetim stratejisini ve yasal zorunlulukları ele alan çalışmalar da bulunmaktadır (Coelho ve ark., 2017; He ve ark., 2016; Rolewicz-Kalińska, 2016). Özetle bütün bu çalışmalar, tıbbi atık lojistiği risk değerlendirmesi ve maliyeti konusunda literatürde bir takım eksiklikleri gidermektedir. Ancak bu atıkların lojistik süreçlerindeki güvenliğin belirlenmesi ve arttırılması konusunda literatürde eksiklikler halen devam etmektedir. Bu da tıbbi atık lojistiğinde iş sağlığı ve güvenliği süreçlerinin ne derece uygun yapıldığını belirleyici bir güvenlik modeli ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Birçok ülkede tıbbi atıklar hala diğer evsel atıklarla birlikte toplanmakta, bertaraf edilmekte ve bu nedenle sağlık çalışanları, kamu ve çevre için önemli sağlık riskleri ortaya çıkmaktadır (Dursun ve ark., 2011). Risklerin doğası gereği bir belirsizlik durumu bulunmaktadır. Tıbbi atıkların oluşturduğu riskin tanımlanması, değerlendirilmesi ve yüksek risk taşıyan faktörlerin belirlenmesi ile risk önleyici faaliyetlerin uygulanması ve yol gösterici bir araştırmanın ortaya konulabilmesi için çok boyutlu bir kavram olarak ele alınması gerekmektedir. Dolayısıyla risk değerlendirme süreçlerinde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımı daha etkin ve doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır (Coelho ve ark., 2017).

Yapılan literatür araştırması sonucunda tıbbi atık lojistiği sürecini çok kriterli karar verme yöntemleri ile ele alan çok fazla çalışma olmadığı; yine tıbbi atıkların toplanması için araç rotalama modellerinin kullanıldığı az sayıda çalışma yapıldığı görülmüştür. Çok kriterli karar verme tekniklerinin bu alanda iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirme amaçlı kullanıldığı ve matematiksel modelleme ile entegre edildiği bir çalışmaya ise rastlanamamıştır. Uygulama ili olarak seçilen İstanbul'a has benzer bir çalışmanın daha önce yapılmamış olması da ayrı bir fayda sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı Türkiye'nin en kalabalık şehri olan İstanbul üzerinde bir uygulama yapılarak, tıbbi atık lojistiği güvenliğinin belirlenmesi ve hem güvenli hem de kısa mesafeler ile taşınmasını sağlamasıdır.

1.3 Hipotez

Türkiyede hastanelerin %75'inde tıbbi atık toplanmasında uygun kapların kullanıldığı, hastane personelinin yaklaşık %77'sinin tıbbi atık toplamak için uygun ekipman kullanıldığı literatürde ifade edilmiştir (Birpınar ve ark., 2009). Başka bir çalışmada Çinde hastanelerin %80'inde tıbbi atık toplama için eğitimli personel kullanıldığı tespitinde bulunulmuştur (Yong ve ark., 2009). Diğer bir çalışmada da Bangladeş'de çoğu zaman kişisel koruyucu ekipmanların yetersiz olduğundan bahsedilmiştir (Patwary ve ark., 2011). Tıbbi atıkların %25'lik kısmının uygun olmayan kaplarla toplanması, yaklaşık aynı oran ile hastane personelinin eğitimsiz olması ve koruyucu ekipmanın bulunmaması sonucu, ciddi kazalara ve yaralanmalara sebep olmaktadır. Örneğin Türkiye'de, kesici atıkların plastik

kaplarla toplanması yerine plastik poşetlere konması, tıbbi atık lojistiğinde batma sonucu sıkça rastlanan yaralanmalara neden olmaktadır. Başka bir çalışmada, Çin'de hastanelerin %73'ünde tıbbi atıkların diğer atık türlerinden ayrı toplandığı tespitinde bulunulmuştur (Yong ve ark., 2009). Tıbbi atıkların evsel atık veya diğer tehlikeli atık türlerine karıştırılması, Türkiye'de de sıkça rastlanılmaktadır. Tıbbi atıkların %25'den fazlasının diğer evsel atıklar ile karışması sonucu evsel atıkmış gibi bertaraf edilmesi, çevre ve halk sağlığı açısından ciddi riskler taşımaktadır. Literatürde bahsedilen bu eksikliklerin güvenliğinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Önerdiğimiz modelde toplama ana kriterlerin altında yer alan alt kriterlerinin güvenliğinin belirlenmesi literatürdeki bu eksiklikleri önemli ölçüde doldurmaktadır.

Türkiyede hastanelerin %63'ünün (Birpınar ve ark., 2009), Çin'de hastanelerin %93,3'ünün geçici tıbbi atık depolarına sahip olduğu belirtilmiştir (Yong ve ark., 2009). Türkiye ve Çin'de olduğu gibi Bangladeş'in başkenti Dakka'da tıbbi atık için yeterli depolama tesisine sahip olunmadığından bahsedilmiştir (Patwary ve ark., 2011). Geçici tıbbi atık depolarının bulunmaması veya uygun olmaması durumunda, tıbbi atıklar çeşitli sızıntı vb. yollarla çevreye saçılmakta, bu da halk sağlığı ve çevre açısından ciddi tehdit oluşturmaktadır. Dolayısıyla önerdiğimiz modelde yer alan geçici depolama kriterinin alt kriterlerinin güvenliğinin belirlenmesi de, literatürde çevre ve halk sağlığı açısından oldukça önemli bir boşluğu doldurmaktadır.

Üretim birimleri ile bertaraf tesisleri arasındaki süreçte atık lojistiğinin verimli bir şekilde sağlamanın gerekliliği vurgulanmıştır (Rolewicz-Kalińska, 2016). Hastanelerde oluşan tıbbi atıkların bertaraf tesisine taşınması sürecinde lojistik personeli ve çevre açısından ciddi riskler taşımaktadır. Dolayısıyla modelimizde yer alan taşıma kriterinin alt kriterleri, tıbbi atıkların çevreye, güzergahın nüfusa, lojistik personeline etkisi üzerine alınan önlemlerin güvenliğinin ve hava koşullarının taşıma esnasındaki durumunun güvenliğinin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Belirtilen bu literatür boşluklarından yola çıkılarak çalışmada, tıbbi atık lojistiği kapsamında iş sağlığı ve güvenliği açısından en uygun tıbbi atık lojistiği süreçlerinin belirlenmesi için çok kriterli bir değerlendirmenin yanı sıra çok amaçlı bir tıbbi atık

toplama aracı rotalama problemine çözüm yaklaşımı geliştirilmiş ve İstanbul'un alt bir bölgesi için uygulama yapılmıştır.

Tıbbi atık toplama, taşıma ve bertaraf sistemi, hem nitel hem de nicel veriler ile birçok performans ölçütünü içerdiğinden, çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP seçilmiştir. Analitik hiyerarşi prosesi, subjektif yargılamayı içeren karmaşık çoklu kriter alternatiflerini değerlendirmek için en popüler ve güçlü yöntemlerden biri olmuştur (Ly ve ark., 2018; Saaty, 2008; Unutmaz ve Durmuşoğlu, 2018). Tıbbi atık lojistiği güvenliği ve toplam taşıma mesafesi optimizasyonunu esas alan amaç fonksiyonlarının çözümü için olası tüm senaryoları değerlendirip içerisinden optimum olanı seçen ve yaygın olarak kullanılan Gezgin Satıcı Problemi (GSP) tercih edilmiştir. Hem mesafe hem de güvenlik optimize edilmeye çalışıldığından uzlaşık bir çözüm elde etmek için problem çok amaçlı bir yaklaşımla ele alınmıştır. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde ilk olarak tıbbi atık lojistiğinden bahsedilmiş, ardından çözüm teknikleri verilmiş, daha sonra uygulama aşamasına geçilmiştir. Bu kapsamda İstanbul ilinin konu açısından değerlendirmesi yapılmış, veri toplama süreci anlatılmış, AHP uygulaması ve araç rotalama probleminin çözümlenmesi verildikten sonra elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

2.1 Tıbbi Atık

Sağlık tesisleri, araştırma merkezleri ve tıbbi laboratuvarlarda üretilen tüm atıklara sağlık hizmeti atığı denir. Sağlık hizmeti sağlayıcıları tarafından üretilen atıkların %75 ila %90'ı evsel atık olarak nitelendirilebilir ve genellikle “tehlikeli olmayan” veya “genel sağlık bakımı atığı” olarak adlandırılmaktadır. Bu evsel atık olarak nitelendirilen atıklar, sağlık bakım tesislerindeki idari, mutfak, temizlik vb. hizmetlerinden gelmektedir. Geri kalan %10–25'lik sağlık hizmeti atığı “tehlikeli” olarak kabul edilir. Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization (WHO)), tehlikeli olarak kabul ettiği sağlık hizmeti atıklarını, özelliklerine ve risk düzeyine bağlı olarak, kesici atık, enfeksiyöz atık, patolojik atık, farmasötik atık, genotoksik atık, kimyasal atık ve radyoaktif atık olmak üzere yedi temel kategoriye ayırmaktadır (Chartier ve ark., 2014 (Gnanavelbabu & Arunagiri, 2018)). Bu atıklar Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Sağlık kuruluşu atıkları

Atık Kategorisi	Tanım ve Örnekler
<u>Tehlikeli Sağlık Kuruluşu Atıkları</u>	
Kesici atık	Kullanılmış veya kullanılmamış kesiciler (iğneler, otomatik olarak devre dışı bırakılabilen şırıngalar, iğne bağlı şırıngalar, neşterler vb.)
Enfeksiyöz atık	Hastalık bulaşma riski taşıyan ve patojen içerdiğinden şüphelenilen atık maddeler (vücut sıvısı veya kan bulaşmış atıklar, dışkı ve hastalarla temas eden diğer materyaller)

Tablo 2.1 Sağlık kuruluşu atıkları (devamı)

Atık Kategorisi	Tanım ve Örnekler
<u>Tehlikeli Sağlık Kuruluşu Atıkları</u>	
Patolojik atık	İnsan sıvıları, vücut kısımları, organ ve dokuları, kullanılmayan kan ürünleri
Farmasötik atık	Artık gerekli olmayan veya süresi dolmuş farmasötikler veya farmasötik maddeler içeren ürünler
Genotoksik atık	Genotoksik özelliklere sahip maddeler içeren sitotoksik atıklar (genellikle kanser tedavisinde kullanılan sitostatik ilaç içeren atıklar, genotoksik kimyasallar)
Kimyasal atık	Atık içeren kimyasal maddeler (laboratuvar reaktifleri, film geliştirici, süresi dolmuş dezenfektanlar, çözücüler, pil gibi yüksek miktarda ağır metal içeren atıklar)
Radyoaktif atık	Radyoterapi veya tıbbi görüntüleme sonucu radyoaktif maddeler içeren atıklar
<u>Tehlikesiz Sağlık Kuruluşu Atıkları</u>	
Genel Sağlık Kuruluşu Atıkları	Fiziksel, kimyasal veya biyolojik tehlike oluşturmeyen idari, mutfak veya temizlik vb. hizmetlerden kaynaklanan enfekte olmamış atıklar

Bu yedi temel kategoriye ayrılan atıklardan, tıbbi hizmetler ve tıpta bilimsel araştırmalar sonucu ortaya çıkan kesici atık, enfeksiyöz atık ve patolojik atık, bir çok çalışmada tıbbi atık olarak nitelendirilmektedir (Chartier ve ark., 2014; Rolewicz-Kalińska, 2016). Tıbbi atıklar, bu çalışmalarda da olduğu gibi Türkiye’de de enfeksiyöz atık, patolojik atık ve kesici atık olmak üzere üç temel kategoriye ayrılırken, Çin’de enfeksiyöz atık, patolojik atık, kesici atık, ilaç atığı ve kimyasal atık

olmak üzere beş temel kategoriye ayrılmaktadır (He ve ark., 2016). Türkiye’de tıbbi atık olarak nitelendirilen kesici atık, enfeksiyöz atık ve patolojik atık aşağıdaki gibi özetlenebilir.

2.1.1 Enfeksiyöz Atık

Hastalık bulaşma riski taşıyan virüslerin yayılımını önlemek için imhası ve taşınmasında özel önlemler alınması gereken atıklardır. Yakma veya sterilize işlemi ile enfeksiyöz ajanlarından arındırıldıktan sonra evsel atıklar gibi gömülerek bertaraf edilirler.

Enfeksiyöz atıkların kaynakları başlıca; kan ve kan ürünleri ile temas etmiş tüm nesneler, kullanılmış cerrahi kıyafetler, enfekte deney hayvanı leşleri, diyaliz atıkları, organ parçaları, mikrobiyolojik laboratuvar atıkları olarak sıralanabilir.

2.1.2 Patolojik Atık

Patolojik atıklar diğer tıbbi atıklar gibi sterilize edilerek bertaraf edilememektedir. Kaynağında diğer tıbbi atıklardan ayrı Şekil 2.1’de gösterilen patolojik atık toplama kovası ile toplamalı ve yakıldıktan sonra gömülerek bertaraf edilmesi, Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (TAKY) gereği zorunludur.



Şekil 2.1 Patolojik atık toplama kovası

Patolojik atıkların kaynakları başlıca; çeşitli deneylerde kullanılan kobay leşleri, kesik uzuvlar, ameliyat, otopsi gibi operasyonlar sonucu oluşan vücut parçaları olarak sıralanabilirler.

2.1.3 Kesici Atık

Batma veya kesme gibi yaralanmalara sebep olabilecek atıklardır. Yırtılmaya veya delinmeye dayanıklı lamine karton veya plastik materyallerden yapılmış konteynerlar içerisinde biriktirilirler. Yakma veya sterilize işleminden sonra evsel atıklar gibi gömülerek bertaraf edilirler (TAKY, 2017).

Kesici atıkların başlıca kaynakları, bistüri, enjektör iğnesi, iğne içeren diğer delici ve kesiciler, cam pastör pipeti, lam-lamel vb. olarak sıralanabilirler.

Tıbbi atık, çok sayıda bakteri taşır, içeriğinde bulunan virüsler ve enfeksiyon ajanları da göz önüne alındığında, çevre ve sağlık açısından ciddi riskler oluşturmaktadır (Birpınar ve ark., 2009; Patwary ve ark., 2011; Qi ve ark., 2018). Bu nedenle, uygun şekilde imha edilmezse, insan sağlığı ve çevre açısından ciddi riskler oluşturabilmektedir (He ve ark., 2016).

2.1.4 Tıbbi Atık Oluşturan Sağlık Kuruluşları

Tıbbi atık oluşturan sağlık kuruluşları, oluşturdıkları atık miktarına göre üç'e ayrılmaktadır. Bunlar, küçük, orta ve büyük miktarda atık üreten sağlık kuruluşlarıdır. Bu kuruluşlar Tablo 2.2' deki gibi sıralanabilir.

Tablo 2.2 Tıbbi atık üreten sağlık kuruluşları (TAKY, 2017)

Büyük Miktarda Atık Üreten Sağlık Kuruluşları	Orta Miktarda Atık Üreten Sağlık Kuruluşları	Küçük Miktarda Atık Üreten Sağlık Kuruluşları
a) Üniversite hastaneleri ve klinikleri, b) Genel maksatlı hastaneler ve klinikleri, c) Doğum hastaneleri ve klinikleri, d) Askeri hastaneler ve klinikleri.	a) Sağlık merkezleri, tıp merkezleri, dispanserler, b) Ayakta tedavi merkezleri, c) Morglar ve otopsi merkezleri, d) Hayvanlar üzerinde araştırma ve deneyler yapan kuruluşlar, e) Bakımevleri ve huzurevleri, f) Tıbbi ve biyomedikal laboratuvarlar, g) Hayvan hastaneleri, h) Kan bankaları ve transfüzyon merkezleri, ı) Acil yardım ve ilk yardım merkezleri, i) Diyaliz merkezleri, j) Rehabilitasyon merkezleri, k) Biyoteknoloji laboratuvarları ve enstitüleri, l) Tıbbi araştırma merkezleri.	a) Sağlık hizmeti verilen diğer üniteler (doktor muayenahaneleri, diş ve ağız sağlığı muayenahaneleri ve benzerleri), b) Veteriner muayenahaneleri, c) Akupunktur merkezleri, d) Fizik tedavi merkezleri, e) Evde yapılan tedavi ve hemşire hizmetleri, f) Güzellik, kulak delme ve dövme merkezleri, g) Eczaneler, h) Ambulans hizmetleri, ı) Hayvanat bahçeleri.

Chartier ve ark. (2014), çalışmalarında tıbbi atık oluşturan sağlık kuruluşlarını, oluşturdıkları tıbbi atık miktarına göre iki'ye ayırmışlardır. Bunlar, küçük ve büyük miktarlarda tıbbi atık oluşturan sağlık kuruluşlarıdır. Bu çalışmadaki ayrıma benzer olarak, İstanbul Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme Sanayi ve Ticaret A.Ş. (İSTAÇ A.Ş.), İstanbul'da bulunan kuruluşlarının tıbbi atıklarını toplarken 20 yatak ve üzeri sağlık kuruluşları ve 20 yatak altı sağlık kuruluşları olmak üzere iki'ye ayırmış ve farklı araçlar ile tıbbi atıkları toplamaktadır.

Sağlık kuruluşlarında oluşan tıbbi atıkların miktarının belirlenmesi, toplama yolları, geçici depolanması ve bertaraf uygulamalarının incelenmesi üzerine yapılan çeşitli çalışmalarda, Türkiye'de ve diğer ülkelerde günlük yatak başına oluşan tıbbi atık miktarları Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

Tablo 2.3 Türkiye ve diğer ülkelerde oluşan tıbbi atık miktarı.

Ülke-Şehir	Tıbbi Atık Mikatırı (kg/(yatak.gün))		Kaynak
İstanbul (Avrupa Yakası)	0,59	(2008)	Alagöz ve Kocasoy (2008)
İstanbul (Anadolu Yakası)	0,62	(2008)	Alagöz ve Kocasoy (2008)
Türkiye	0,63	(2009)	Birpınar ve ark. (2009)
Çin	0,68	(2009)	Yong ve ark. (2009)
Polonya	0,89	(2013)	Rolewicz-Kalińska (2016)
Çin	0,75	(2013)	Hong ve ark. (2018)
Çin	0,95	(2015)	Hong ve ark. (2018)
İstanbul	1,5 - 2	(2016)	İSTAÇ A.Ş.
Çin	1 - 2	(2016)	He ve ark . (2016)

2.2 Tıbbi Atık Lojistiği

Tıbbi atık lojistiğinin temel amacı, çevre ve insan sağlığına zarar vermeden tıbbi atıkların güvenli ve ekonomik yollarla toplanması, taşınması, geçici depolanması, hacim ve miktarının azaltılarak bertaraf edilmesidir. Tıbbi atıklar, hastane ve hastane çevresi için ciddi risk oluşturmakla kalmayıp, halk sağlığı ve tüm çevreyide tehdit etmektedir (Özerol, 2005). Tıbbi atıklar diğer atık türlerine oranla daha fazla bulaşıcı hastalık riski ve yaralanma ihtimali taşıdıklarından, bu atıkların potansiyel tehlikelerine karşı özel önlemler alınması gerekmektedir. Tıbbi atıkların servis, üniteler ve polikliniklerden toplanması ve sağlık kuruluşlarında geçici depolanması, bu depolardan alınarak bertaraf tesisine taşınması ve bertaraf edilmesi belediyelerin sorumluluğunda olup denetimi ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığının sorumluluğundadır. Bu belediyelerin sorumlulukları, büyükşehirlerde büyükşehir belediyesine aittir (TAKY, 2017).

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak geliştirilen yeni tanı ve tedavi yöntemleri sağlık kurumlarında oluşan tıbbi atık miktarını hızla arttırmaktadır. Tıbbi atıkların içeriğinde bulunan tehlikeler göz önüne alındığında tıbbi atıklar diğer atıklarla karıştırılmadan toplanmalı, taşınmalı, geçici depolanmalı, hacim ve miktarı azaltılarak bertaraf edilmelidir.

Tıbbi atık lojistiğinin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi, kaynağında ayrıştırılmasına, tesis içinde veya dışında taşınması esnasında alınan önlemlere ve bertaraf unsurlarına bağlıdır. Farklı tıbbi atık türleri farklı metodlar ile bertaraf edildiği için bu atıklar birbiriyle karıştırılmaması oldukça önemlidir. Farklı türdeki tıbbi atıklar ayrı ayrı toplanıp bertaraf işlemi yapılacak alana taşınmalı ve bertaraf işlemine tabi tutulmalıdır. Toplama, geçici depolama, taşıma ve bertarafı dikkatlice planlanmalı, çevre ve insan sağlığını tehdit edecek unsurları önleyecek nitelikte olmalıdır (Verma ve ark., 2008).

2.2.1 Tıbbi Atıkların Toplanması

Tıbbi atıklar insan sağlığına verdiği zararlar açısından oldukça tehlikelidir. Bundan dolayı tıbbi atık bertarafı evsel nitelikli atıklarla beraber olmaması gerekmektedir. Aynı zamanda tıbbi atık bertarafı diğer atıklara oranla oldukça maliyetlidir. Bu

maliyeti düşürebilmek ve insan sağlığına verdiği zararı önleyebilmek için kaynağında ayrıştırılmalı, diğer atıklar ile karıştırılmamalıdır. Karıştırıldığı takdirde kesinlikle geri alınmamalıdır, artık karıştırılan atıkta tıbbi atıkmış gibi işlem görmelidir. Yönetmelikte de tıbbi atığın kaynağında ayrı toplanması gerekliliği belirtilmiş ve İstanbul'daki sağlık kuruluşları 1995 yılında beri tıbbi atıkların ayrı toplanması zorunludur. Günümüzde İstanbul'da bulunan 20 yatak üstü sağlık kuruluşlarının tamamında tıbbi atıkları ayrı toplama sistemleri mevcuttur.

Sağlık kuruluşundan kaynaklanan atıkların %75 ila %90'ı evsel nitelikli atıktan oluşmaktadır. Tıbbi atık toplama, geçici depolama, taşıma ve bertaraf süreçlerinde harcanan kaynak düşünüldüğünde, tıbbi atığın kaynağında iyi ayrıştırılması gerekliliği bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Bu milli servetin korunması açısından da oldukça önemlidir.

Sağlık kuruluşlarında oluşan tıbbi atıkların toplanırken uygun kaplara konması gerekmektedir. Uygun malzemeye konulmadığı takdirde hem taşınmasında hem de bertarafında ciddi kazalara ve yaralanmalara sebep olmaktadır. Örneğin kesici delici atıkların ince plastik poşetlere atılması durumunda, atık poşetleri toplanırken personellerin eline batması sonucu ciddi hastalıklara yol açabilmektedir.

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinde "tıbbi atıkların toplanmasında; yırtılmaya, delinmeye, patlamaya ve taşımaya dayanıklı; orijinal orta yoğunluklu polietilen hammaddeden sızdırmaz, çift taban dikişli ve körüksüz olarak üretilen, çift kat, kalınlığı 100 mikron olan, en az 10 kilogram kaldırma kapasiteli, her iki yüzünde de görülebilecek büyüklükte Uluslararası Biyoteknoloji amblemi ile DİKKAT TIBBİ ATIK yazan kırmızı renkte plastik torbalar kullanılır." olarak tanımlanan poşetler Şekil 2.2'de verilmiştir (TAKY, 2017).



Şekil 2.2 Tıbbi atık toplama torbası

Torbaların aşırı doldurulması ağızlarının sıkıca kapatılmasını önleyeceğinden ve taşımayı zorlaştıracığından, bu torbalar %75'inden fazla doldurulmamalı, dolduktan sonra sıkıca bağlanmalı ve delinme veya yırtılma gibi durumlarda aynı özelliklerde başka torbaya konularak etrafa bulaşması önlenmelidir. Bu torbaların hiçbir suretle tekrar kullanılmamalı ve geri kazanılmamalıdır. Bu atık torbalarının içerisi hiçbir şekilde sıkıştırılmamalı, torbadan çıkarılmamalı, boşaltılmamalı ve farklı kaplara aktarılmamalıdır.

Dolan atık torbalarının, sağlık kuruluşu içerisinde eğitimli, özel giysileri ve koruyucu ekipmanları bulunan personeller tarafından sadece tıbbi atıkların taşınması için kullanılan ve dezenfeksiyonu kolay konteynerlar ile toplanıp, geçici tıbbi atık deposuna götürülmelidir. Bazı hastanelerde koruyucu ekipman eksikliğinden kaynaklı yaralanmalar veya poşetlerin fazla doldurulması sonucu tıbbi atıkların etrafa saçılması gibi kazalar meydana gelebilmektedir.

Kesici tıbbi atıklar diğer atıklardan farklı olarak, kırılmaya, yırtılmaya, delinmeye ve patlamaya dayanıklı lamine karton veya plastik materyallerden yapılmış üzerlerinde "Uluslararası Biyotehlike" amblemlili "DİKKAT! KESİCİ VE DELİCİ TIBBİ ATIK" ibaresi olan, açılması ve karıştırılması mümkün olmayan sızdırmaz ve su geçirmez konteynerlar içinde biriktirilirler (TAKY, 2017). Yönetmelikte bu şekilde tanımlanan kutu veya konteynerlar Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Kesici tıbbi atık kapları

Bu biriktirme konteynerlarında, tıbbi atık toplama torbalarında olduğu gibi %75'i dolduktan sonra ağızları kapatılarak kırmızı bant ile bantlanır ve plastik tıbbi atık toplama poşetlerine konulur. Kesici tıbbi atık kapları %75'i dolduğunda yenileri ile değiştirilmelidirler. Yerine konacak poşet ve kapların, atık kaynağının yakınlarında kullanıma hazır olarak bekletilmelidir. Kesici tıbbi atık konteynerları da yine tıbbi atık torbalarında olduğu gibi doldurulduktan sonra ağızları kesinlikle açılmaması, sıkıştırılmaması ve geri kazanılmaması gerekir (TAKY, 2007).

Tıbbi atıklar servis, ünite ve polikliniklerden her gün düzenli olarak toplanması ve geçici tıbbi atık depolarına taşınması gerekmektedir. Ameliyathane ve yoğun bakım gibi bölümlerden, gerek duyulduğu hallerde belirlenen periyotlar haricinde de toplanmalı ve geçici tıbbi atık deposuna taşınmalıdır. Bu atıklar Şekil 2.4'de olduğu gibi plastik veya paslanmaz metal benzeri malzemelerden yapılmış, yükleme ve boşaltma sırasında poşetlerin delinmesine veya hasar almasına sebep olabilecek keskin kenarları olmayan, tekerlekli konteynerlarla servis, ünite ve polikliniklerden toplanarak geçici tıbbi atık deposuna taşınmalıdır. Bu konteynerların dezenfeksiyonu ve temizlenmesi pratik olmalı ve sadece tıbbi atıkların taşınması için kullanılmalıdır.



Şekil 2.4 Tıbbi atık toplama konteyneri

Tıbbi atık poşetleri, Şekil 2.5’de olduğu gibi gözlüklü, maskeli, eldivenli, boneli, çizmeli ve turuncu renkli özel kıyafetler ile tıbbi atıkların tehlikeleri üzerine eğitilmiş tıbbi atık personeller tarafından toplanmalı ve taşınmalıdır. Bu özel koruyucu kıyafetler sadece tıbbi atıklar toplanırken kullanılmalı sonrasında çıkartılmalıdır.



Şekil 2.5 Tıbbi atık toplama kıyafeti

İstanbul’da tıbbi atık bertarafı 2000’li yılların başlarında ağırlıkları oranında ücretlendirilirken, hastaneler daha az ücret ödemek için, tıbbi atıkları evsel atıkların içerisine atmaktaydı (Dursun ve ark., 2011). Bu durumun önüne geçmek için, günümüzde tıbbi atıklar yatak başı, muayene başı vb. katsayılarla ücretlendirilmekte. Bu durumda da nasılsa standart ücret ödeniyor düşüncesiyle,

tıbbi atıkların içerisinde diğerk atık türleri karıştırılmaktadır. Bu tarz durumlarla da, ilgili hastane hakkında cezai işlemler uygulanarak mücadele edilmektedir.

2.2.2 Tıbbi Atıkların Geçici Depolanması

Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliğince 20 yatak ve daha fazla yatak kapasiteli sağlık kuruluşları, geçici tıbbi atık deposu veya ilgili kurumun görüşü alınarak aynı işlevi görebilecek konteyner bulundurmakla yükümlüdür. Günümüzde İstanbul'daki 20 yatak üstü sağlık kuruluşlarının tamamında geçici depolama alanları mevcuttur. Bu depolar en az 3 günlük atığı alacak kapasitede olmalıdır. Depoların dışarı doğru sürgülü, atıkların kolayca boşaltılabileceği kapıları bulunmalıdır. Kapıların üzerlerinde "Uluslararası Biyotehlike Amblemi" ve "Tıbbi Atık Deposu" yazısı bulunmalıdır. Atık toplama araçlarının geçici tıbbi atık depolarına giriş ve çıkışı rahat olmalıdır ve kolayca erişebilmelidir.

Tıbbi atıklar, tıbbi atık taşıma aracı sağlık kuruluşuna gelene kadar geçici tıbbi atık deposunda bekletilir. İki günden fazla olmamak kaydı ile tıbbi atıklar geçici tıbbi atık depolarında bekletilebilirler. Eğer geçici tıbbi atık deposun kapasitesinin uygun ve sıcaklığı +4 °C'de tutabilecek uygun soğutucuların olması halinde bu süre bir haftaya kadar uzatılabilir (TAKY, 2017). Şekil 2.6'da örnek olabilecek geçici tıbbi atık deposu gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Geçici tıbbi atık deposu

20 yatak altı sağlık kuruluşlarının tamamına yakınında tıbbi atıkların ayrı toplanma sistemi mevcuttur. Yönetmeliğe göre 20 yatak üstü hastanelerde tıbbi atık geçici depolama alanlarının uyması gereken belli kriterler vardır. Bu depoların %70'e yakını yönetmeliğe tamamen uyumludur. Diğerlerinin ise bazı kriterleri uyumlu değildir. Bu uymayan kriterler, tıbbi atık aracının geçici tıbbi atık depolama alanına tam yanaşamaması, depolama alanın iki günde oluşan tıbbi atık kapasitenin altında olması, temizliğinin düzenli yapılmaması, sıvı giderinin olmaması gibi sıralanabilir. Bu kriterlerin eksik olduğu kurumlar tespit edilmekte ve kurumlara eksiklerini gidermeleri yönünde tutanak tutulmakta, eksiklikler giderilmediği takdirde cezai işlemler uygulanmaktadır.

Tıbbi atıklar hastanelerin geçici depolama alanından lisanslı tıbbi atık taşıma araçları ile bertaraf tesisine taşınmaktadır. Tıbbi atıklar araçlara yüklenmeden önce ilk olarak atıkların olduğu bölgede radyasyon taraması yapılır. Radyasyon yok ise atık poşetleri el yardımı ile araca yüklenmektedir. Bu işlemin el yardımı ile yapılması iş güvenliği ve işçi sağlığı açısından risk oluşturmakla kalmayıp aynı zamanda sürecin yavaşlamasına neden olmaktadır. Bazı hastanelerde araçlar depo

önüne tam olarak yanaşamamakta, bu durumda sıkıntıyı bir kat daha artırmaktadır. Geçici tıbbi atık depoları, tıbbi atıklar, araca yüklendikten sonra temizlenir ve dezenfekte edilir, gerekli durumlarda da ilaçlanır (TAKY, 2017).

2.2.3 Tıbbi Atıkların Bertaraf Alanına Taşınması

Tıbbi atıklar, tıbbi atık taşıma lisansı almış araçlar ile taşınır. Tıbbi atık taşıma araçlarının teknik özellikleri Tıbbi Atık Kontrolü Yönetmeliği'nde, "atıkların yüklendiği kısmın tamamen kapalı yapılması, sıkıştırma mekanizmasının bulunmaması, şoför mahalli ile atık yükleme kısmı arasında boşluk bulunması, atık yükleme kısmının kaza halinde zarar görmemesi için sağlam yapılması, atık yükleme kısmının iç yüzeyinin paslanmaz malzemelerle kaplı, kolaylıkla temizlenebilen ve dezenfekte edilebilen düzgün yüzeyli olması, dik köşeler içermemesi, kesişen yüzeylerin yumuşak dönüşlerle birbirine birleşmesi, sağ, sol ve arka yüzeylerinde görülebilecek uygun büyüklükte ve siyah renkli Uluslararası Biyoteknik amblemi ile siyah harfler ile yazılmış DİKKAT! TIBBİ ATIK ibaresinin bulunması, dış yüzeyinin turuncu renge boyanması" olarak ifade edilmiştir (TAKY, 2017). Yönetmeliğe uygun örnek olabilecek tıbbi atık toplama aracı Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Lisanslı tıbbi atık taşıma aracı

Sağlık kuruluşlarında oluşan tıbbi atıklar, eğitimli tıbbi atık toplama personeli ile sağlık kuruluşunun tıbbi atıktan sorumlu personeli aracılığıyla araca yüklenmektedir. Geçici tıbbi atık depolama alanından, lisanslı tıbbi atık taşıma aracı,

sertifikalı tıbbi atık taşıma şoförü ile bertaraf tesisine taşınmaktadır. Tıbbi atıkların etrafa yayılmadan güvenli bir şekilde sızıntı suları akıtılmadan tıbbi atık bertaraf tesisine taşınması gerekmektedir. Araçlar uygun güzergahları izleyerek bertaraf tesisi geçici tıbbi atık deposuna gelir ve boşaltılır. Araçlar her boşaltımdan sonra temizlenmeli ve dezenfekte edilmelidir (TAKY, 2017).

Büyükşehirlerde büyükşehir belediyesi, büyükşehir belediyesi olmayan yerlerde ise belediyeler; sağlık kuruluşları ile tıbbi atık bertaraf tesisleri arasında tıbbi atık taşınmasında kullanılacak ekipman ve araçlar ile bu araçların dezenfeksiyon ve temizlemesi, toplama rotaları, araçların kaza anında yapılacak işlemleri ve alınacak önlemleri, tıbbi atıkların bertarafı için uygulanan eğitim ve sistemler gibi ayrıntılı bilgiler içeren Tıbbi Atık Yönetim Planını hazırlamak ve uygulamak zorundadır. Büyükşehirlerde, bu plan ilçe ve birinci derece belediyelerin görüşleri alınarak büyükşehir belediyesi tarafından hazırlanmakta ve uygulanmaktadır.

Belediyeler taşıma sürecinde sağlık kuruluşlarından topladıkları ve bertaraf ettikleri tıbbi atık miktarlarını kayıt altında tutar ve yıl sonunda ilgili valiliğe bildirir.

2.2.4 Tıbbi Atıkların Bertarafı

Tıbbi atıklar çeşitli yöntemler ile bertaraf edilebilmektedir. İstanbul ilinde tıbbi atıklar sterilizasyon ve yakma işlemi olmak üzere iki türlü bertaraf edilmektedir. Enfeksiyöz atıklar ve kesici atıklar hem yakma hem de sterilizasyon işlemleri ile zararsız hale getirilerek bertaraf edilebilirler. Ancak patolojik atıklar yönetmelik gereği yakılarak bertaraf edilmesi zorunludur.

Tıbbi atıklar toplama aşamasında kendi içerisinde karıştırılabilir, örneğin patolojik atıkların diğer atıklar ile karışarak sterilizasyon işlemine tabi tutulabilir. Bu tarz durumlar çevre açısından ciddi riskler doğurabilir. Dolayısıyla farklı tıbbi atık türlerinin farklı işlemlerle bertarafı gerektiğinden, tıbbi atıkların kaynağında ayrı toplanması gerekliliğini bir kez daha ortaya koyuyor.

Bertaraf tesisi geçici tıbbi atık deposu bulunmalı ve +4 °C'de tutabilecek uygun soğutucuların olması zorunludur. Bu şartlarda tıbbi atıklar bir haftayı geçmemek koşulu ile burada bekletilebilir.

2.2.4.1 Tıbbi Atıkların Sterilizasyon ile Bertaraf Edilmesi

Kesici tıbbi atıklar ile enfeksiyon yapıcı tıbbi atıklar sterilizasyon işlemi ile bertaraf edilerek zararsız hale getirilebilirler. Başta civa olmak üzere kimyasal maddeler ve bunlar ile işlem görmüş patolojik atıklar, radyolojik atıklar, genotoksik/sitotoksik ajanlar sterilizasyon işlemi ile bertaraf edilemezler.

Sterilizasyon ile bertaraf işleminde tıbbi atıkların zararsız hale gelip gelmediğinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu işlemin kontrolü biyolojik ve kimyasal indikatörler kullanılarak test edilmektedir. Kimyasal indikatörler, her sterilizasyon işleminde, biyolojik indikatörler ise haftada en az bir defa kullanılmalıdır. Kimyasal indikatörlü testlerin sonucu olumsuz olması durumunda da, biyolojik indikatörler eklenerek sterilizasyon işlemi tekrarlanır. Biyolojik indikatör ile yapılan testlerin sonucu gelene kadar, bu atıklar tıbbi atık geçici deposuna alınarak bekletilirler. Bu testlerin sonucu, tıbbi atıklarla birlikte sterilizasyon işlemine konulan biyolojik indikatörlerin canlı olup olmadığına bakılarak belirlenir. Sterilizasyon işlemi ile enfeksiyon yapıcı tüm mikroorganizmalardan arınması yönetmelikte “*Bacillus stearothermophilus* veya *Bacillus subtilis* bakteri sporlarında minimum 4 log₁₀ – 6 log₁₀ azalma sağlanması zorunludur.” olarak ifade edilmiştir. Biyolojik indikatörlü testin sonucunda da olumsuz olması durumunda yani mikrobiyal üreme tespitinde sistem durdurularak cihaz üreticisi veya yetkili servis tarafından cihazın bakımı yapılır. Biyolojik indikatör ile yapılan testlerin sonucunda mikrobiyal üreme olmasa da atıklar geçici tıbbi atık deposunda bekletildiği için yeniden sterilize edilir. Ayrıca biyolojik indikatörler ile sterilizasyon işleminin geçerliliğini denetlemek için 3 ayda bir Bakanlık laboratuvarına veya Bakanlıkça yetkilendirilmiş bağımsız laboratuvarlara gönderilerek kontrol edilir (TAKY, 2017). Şekil 2.8’de tıbbi atık sterilizasyon tesisi gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Tıbbi atık sterilizasyon tesisi

Sterilizasyon tesislerinde atıkların hacimsel olarak daha az yer kaplaması için atık parçalama mekanizmasının bulunması zorunludur. Bu sayede sterilize edilmiş tıbbi atıklar daha az yer kaplayarak gömülmektedir. Atıkların parçalanması mekanizması sterilizasyon ünitesinden önce ise, sterilizasyon işlemi sonunda bu ünitenin de sterilize edilmesi gerekir.

2.2.4.2 Tıbbi Atıkların Yakılarak Bertaraf Edilmesi

Tıbbi atıkların hepsi yakılarak bertaraf edilebildiği gibi kimyasal maddeler ile işlem görmüş patolojik atıkların yakılarak bertarafı hem çevre ve sağlık açısından hem de yönetmelik gereği zorunludur. Patolojik atıkların hastalık bulaştırma riski yüksek olduğundan sterilize edilerek bertaraf edilmesi yerine yakılarak bertaraf edilmesi hastalık yayma risklerinin elimine edilmesi açısından da önemlidir. İçeriğinde ağır metal bulunan ampuller, gümüş tuzları bulunan radyolojik atıklar, basınçlı kaplar, yüksek dozda civa ve kadmiyum bulunan atıklar yakılarak bertaraf edilemezler. Yakılarak bertaraf edilecek tıbbi atıkların içerisinde büyük oranda genotoksik atıklar bulunuyorsa, sıcaklığın minimum 1100 °C’de olması yönetmelik gereği zorunludur (TAKY, 2017). Şekil 2.9’da tıbbi atık yakma tesisi gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Tıbbi atık yakma tesisi

Tıbbi atık yakma tesisinde, tıbbi atıklar oldukça yüksek sıcaklıklarda yakıldığından bertaraf işlemi için her hangi bir test yapılmaz. Bu tesiste yakılan tıbbi atıklar kayıt altına alınır ve külleri kireçlendikten sonra gömülerek bertaraf edilir.

3.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi

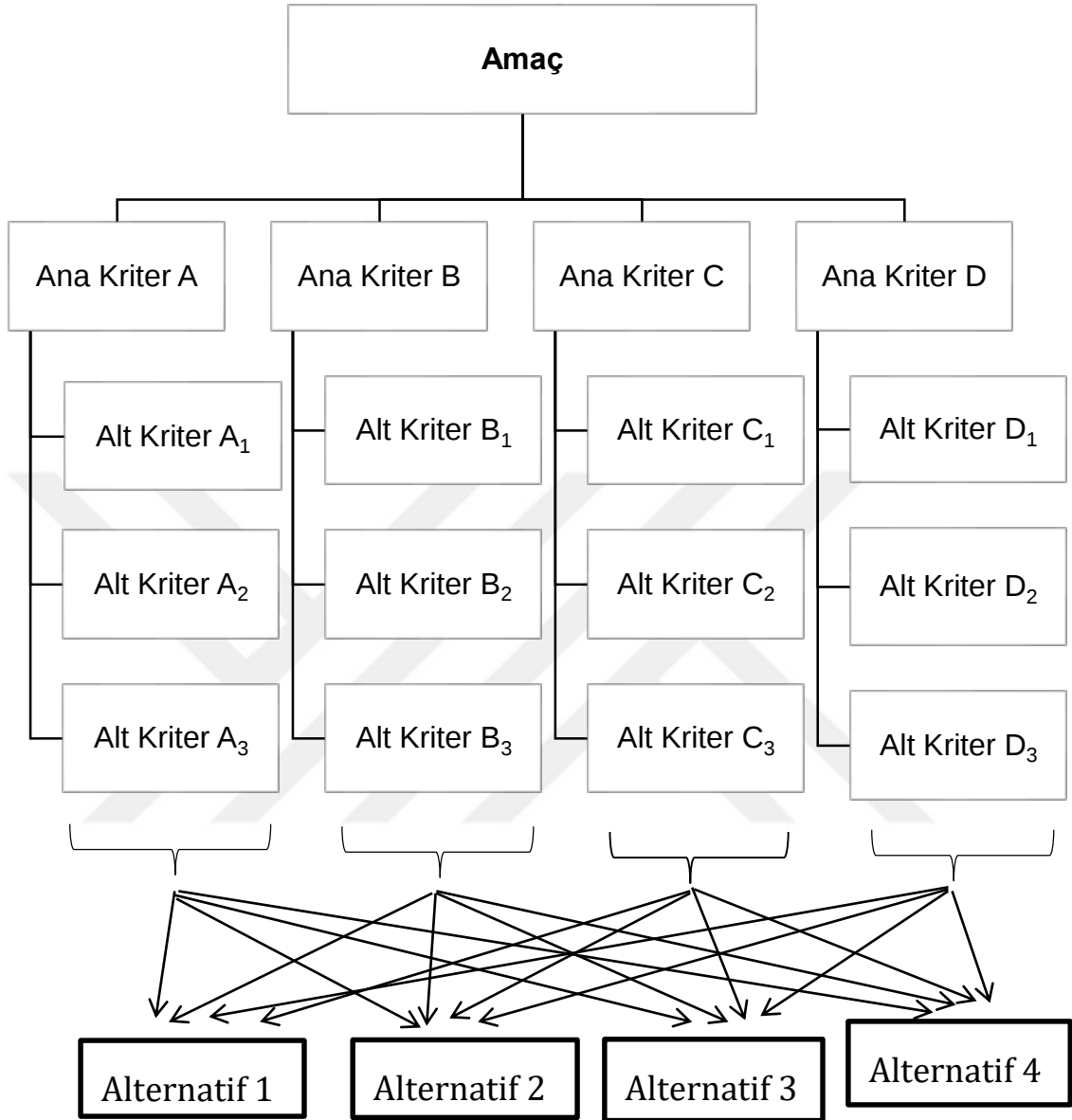
1968 yılında ilk kez Alpert ve Myers ikilisi tarafından bulunan ve 1970'lerin başında Saaty tarafından geliştirilen, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) çok kriterli karar verme yöntemlerinden bir tanesidir (Hyun ve ark., 2015; Liu ve ark., 2013; Ly ve ark., 2018). Bu yöntem, amaç, ana kriterler, olası alt kriterler ve alternatiflerden oluşan karmaşık bir problemi analiz edip karar vericilerin somut olarak önceliklendirmesine ve seçim yapmasına yardımcı olur (Hyun ve ark., 2015)

Analitik hiyerarşi prosesi, tecrübe ve bilgiyi de içine alan, nitel ve nicel faktörlerin birleştirilmesini sağlar. Aynı zamanda güçlü ve kolayca anlaşılabilen bir yöntemdir. Bir problem AHP yöntemi ile aşağıdaki gibi çözülür;

3.1.1 Problemin Tanımı ve Hiyerarşinin Oluşturulması

İlk olarak problemin amacı belirlenir, daha sonra bu amaca yönelik belirlenen ana kriterler tanımlanır. İkinci adımda varsa ana kriterleri etkileyen alt kriterler veya alternatifler belirlenir. Sonuçta çözümlenmesi güç büyük problemler, daha küçük problemlere ayrılmış bir şekilde çözümü kolaylaştırılır. Bu yapıya “hiyerarşi” adı verilir.

AHP hiyerarşi yapısı Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 AHP hiyerarşisi

3.1.2 Kriterlerin Birbirleriyle Karşılaştırılması

Bu adımda öncelik skalası oluşturmak üzere uzman görüşüne başvurulur ve kıyaslama matrisi üzerinde her aşama için ikili kıyaslamalar yapılır (Ly ve ark., 2018).

(3.1)'de $n \times n$ boyutlu bir kıyas matrisi gösterilmektedir

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

(3.1)'de a_{ij} ; kriter i ile kriter j'nin ikili kıyaslanması ile sahip olduğu önem değerini gösterir. Kıyaslamalar nitelik açısından verilen bir kriterin diğer kritere göre önem derecesini belirler. Kıyaslamada Saaty tarafından geliştirilen Tablo 3.1'de gösterilen 1-9 ölçeği kullanılmaktadır (Hyun ve ark., 2015; Saaty, 2008).

Tablo 3.1 Farklı kriterler için kıyaslama ölçeği

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki seçenekte eşit derecede öneme sahip
3	Biraz daha fazla önemli	Bir kriteri diğerine karşı biraz üstün kılmakta
5	Kuvvetli derece önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı oldukça üstün kılmakta
7	Çok kuvvetli derece önemli	Bir kriter diğerine göre üstün sayılmıştır
9	Aşırı derece önemli	Bir kriterin diğerine göre üstün olduğunu gösteren kanıt çok büyük güvenilirliğe sahiptir
2,4,6,8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler

Kriterler kendi arasında karşılaştırıldığında yani $i=j$ olduğunda, iki kriterde aynı derecede öneme sahip olduğundan önem derecesi 1 olur. Böylelikle kıyas matrisi

köşegeninin üzerindeki değerlerinin tümü 1 değerini alır. Karşılaştırmalar, köşegenin üstünde bulunan değerler için yapılır. Köşegenin altında bulunan karşılaştırmaların önem derecesini bulmak için

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (3.2)$$

(3.2)'den faydalanılır.

3.1.3 Kriterlerin Ağırlıklarının Belirlenmesi

Sütun vektörleri, bu kompleks yapıdaki ağırlıkları bulmak için kriterlerin birbirleriyle kıyaslanmasından sonra kullanılır. (3.3) eşitliğinde n bileşenli sütun vektörü sıralanmıştır.

$$W_i = \begin{bmatrix} W_{11} \\ W_{21} \\ \vdots \\ W_{n1} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Bu adımda özvektörden faydalanarak kompleks yapı içerisindeki ağırlıkları bulmak üzere kriterlerin birbiri arasında önem derecesini gösteren yüzdelik dağılımlar

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (3.4)$$

(3.4) eşitliği ile hesaplanır.

Tutarlılık göstergesi(CI);

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3.5)$$

(3.5) eşitliği ile hesaplanır. Burada λ_{max} ;

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} \quad (3.6)$$

(3.6) ile hesaplanır. Buarada $(AW)_i$ sütun vektörü A kıyas matrisi ile W öncelik matrisinin çarpılarak elde edilir.

$$(AW)_i = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Tutarlılık oranın (CR) hesabı;

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.8)$$

(3.8) eşitliği ile hesaplanır. Burada rassallık göstergesi (RI), matrisin büyüklüğüne göre (n) değişmektedir, alabileceği değerler Tablo 3.2’de verilmiştir (Gnanavelbabu ve Arunagiri, 2018).

Tablo 3.2 Farklı kıyaslama matrisleri için rassallık göstergeleri

n	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,49

3.1.4 Tutarlılık Oranı

Hiyerarşideki kriterlerin karşılaştırılmasındaki sonuçların kabul edilebilirliği, uzmanlar tarafından yapılan kıyaslamaların tutarlılığına bağlıdır. Bu kıyaslamaların tutarsız olma olasılığı da söz konusudur. Tutarlılık oranının 0 olması, tamamen tutarlı bir kıyaslama yapıldığı anlamına gelir. Ancak, uygulamalarda tam anlamıyla tutarlı bir kıyaslama yapılması çoğunca mümkün değildir. Bu yüzden, tutarlılık oranının

$$CR < 0,1 \quad (3.9)$$

olması durumunda, kıyaslamaların tutarlı olduğu kabul edilir. Tutarlılık oranı

$$CR > 0,1 \quad (3.10)$$

olması durumunda tutarlı bir kıyaslama yapılana kadar karşılaştırmalar tekrarlanmalıdır (Hyun ve ark., 2015; Saaty, 2008).

3.1.5 Alternatiflerin Ağırlıklarının Belirlenmesi

Kriterler arasında karşılaştırma yapılabildiği gibi alternatifler arasında da karşılaştırma yapılabilir. Tüm kriterlerin alternatifleri için kullanılan matrisler $m \times m$ boyutunda olacaktır. Kıyaslama işleminin ardından $m \times 1$ boyutlarında S sütun vektörü (3.11)'deki gibi ifade edilir.

$$S_1 = \begin{bmatrix} S_{11} \\ S_{21} \\ \vdots \\ S_{m1} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

3.1.6 Alternatiflerin Öncelik Derecelerinin Bulunması

(3.11) eşitliği ile elde edilen S sütun vektörlerinin birleşiminden $m \times n$ boyutunda K karar matrisi elde edilir.

$$K = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ S_{m1} & S_{m2} & \dots & S_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Karar matrisi K ve öncelik vektörü W 'nin çarpımından, (3.13)'teki L sütun vektörü bulunur.

$$L = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ S_{m1} & S_{m2} & \dots & S_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{11} \\ l_{21} \\ \vdots \\ l_{m1} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

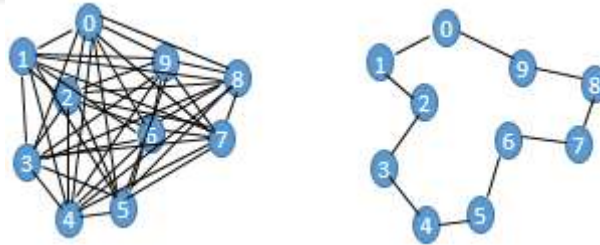
Sütun vektörü L , alternatiflerin öncelik derecelerini verir.

AHP, birçok sektördeki karmaşık problemleri çözmek için etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin, eğitim, kamu politikaları, spor, tıp, finans, pazarlama ve ekonomi gibi birçok alan Zahedi, Golden ve Saaty'nin AHP uygulamalarına konu olmuştur (Kuruüzüm, 2001).

Tıbbi atık toplama, geçici depolama, taşıma ve bertaraf kriterlerinin önem sıralaması belirlenmesi problemi hiyerarşik bir yapıya sahip olduğundan, farklı ölçütlü yapısıyla çok kriterli karar verme tekniklerine zemin hazırlamaktadır. Bu çalışmanın güvenlik skorları hesaplanmasında AHP'den yararlanılmıştır.

3.2 Gezgin Satıcı Problemi

Gezgin satıcı problemi, birbirlerine olan mesafeleri bilinen n sayıdaki noktadan her birine yalnız bir kez uğrayan ve $n!$ kombinasyonun arasından en kısa mesafeli rotanın bulunmasını hedefleyen bir problemdir (Cambazard ve Catusse, 2018). Burada bahsedilen mesafe değeri, değişik problemler için, maliyet, süre gibi unsurlardan biri olabilir. Bu noktaları gezerken Şekil 3.2'deki gibi tüm noktalara uğramak zorunda olduğu gibi her noktadan da sadece bir kez geçme zorunluluğu vardır (Kóczy ve ark., 2018).



Şekil 3.2 Gezgin satıcı problemi

Gezgin satıcı probleminin doğuşu hakkında kesin bir bilgi yoktur ancak literatürde 1759 gibi eski bir tarihte, Knight's Tour Problemini çözmekle ilgilenen Euler ile başladığı ileri sürülmektedir. Daha sonra 1832'de Alman gezgin satıcıları için tur örnekleri içeren bir el kitabı yayımlandı. Sonrasında 1850'lerde, Sir William Rowan Hamilton, Hamilton devreleri üzerinde çalışmış, ancak matematiksel çevrelerde "Gezgin Satıcı Problemi" terimi ilk kez, 1930'ların başında Karl Menger tarafından formüle edildiği ifade edilmektedir (Kóczy ve ark., 2018; Menger, 1932). Menger, nokta sayısı az olduğunda tüm permütasyonların birer birer incelenerek problemin

çözülebileceğini, nokta sayısı çok olduğunda tüm permütasyonlar incelenemeyeceğinden problemin kesin çözümünün mümkün olmadığını ifade etmiştir. Sonrasında, en yakın komşu stratejisini denemiş bu sezgisel yöntemin de genellikle en kısa yolu üretmediğine dikkat çekmiştir (Gutin ve ark., 2002).

Gezgin satıcı problemi, yirminci yüzyılın ilk yarısında tarımsal bağlamda da çalışılmıştır (Augustine, 2001). Dantzig ve ark. (1954) tarafından, GSP için tam sayılı programlama tabanlı çözüm sağlayan yaklaşım öne sürülmüştür. Bu yöntem ile 49 şehirli bir GSP örneği çözülebilmektedir.

İlk sezgisel yöntemlerinden biri Lin (1965) tarafından geliştirilmiştir. O zamandan beri, çeşitli sezgisel ve metasezgisel yaklaşımlar önerilmiştir. Sonrasında araştırmacılar sezgisel çözümler üretmek için çeşitli algoritmalar önermiştir. GSP için çeşitli matematiksel programlama modelleri de önerilmiştir. Son yıllarda, Öncan ve ark. (2009) tarafından, bu formülasyonların analitik olarak karşılaştırılmıştır.

Gezgin satıcı probleminin lojistik, planlama, üretim gibi birçok alanda uygulaması ortaya çıkmaktadır (Gutin ve ark., 2002). Günümüzde bir çok araştırmacı geliştirdikleri yöntemlerin diğer eniyileme yöntemlerinden üstün olduğunu ispat etmek için yoğun olarak çalışan bir problem olmasından dolayı GSP'yi kullanır (Sun ve ark., 2018; Kóczy ve ark., 2018). Popülerliği, GSP'nin formüle edilmesinin kolay ve çok sayıda uygulamaya sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Gezgin satıcı problemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & ; \quad i \text{ şehrinde } j \text{ şehrine giden yol} \\ 0 & ; \quad \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (3.14)$$

(3.14) eşitliğindeki, i şehrinde j şehrine gidiliyor ise $X_{ij} = 1$, aksi takdirde $X_{ij} = 0$ 'dır.

c_{ij} , i şehrinde j şehrine mesafe olarak alınırsa, GSP aşağıdaki gibi yazılabilir (Cárdenas-Montes, 2018).

$$\min \sum_i^N \sum_j^N c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (3.15)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (3.16)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1 \quad \forall_i \quad (3.17)$$

$$\sum_{j \in S} \sum_{i \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset N, \quad |S| \geq 2 \quad (3.18)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall_{i,j} \quad (3.19)$$

Burada; (3.15), mesafeyi minimize edip en kısa yoldan turunu tamamlamasını sağlayan amaç fonksiyonudur. Burada, (3.16) ve (3.17), her bir noktaya bir kez gidileceğini ve her bir noktadan bir kez çıkılacağını belirten kısıtlardır, (3.18) ve (3.19), oluşabilecek alt turları engellemek için yazılan kısıtlardır.

3.2.1 Simetrik ve Asimetrik Gezgin Satıcı Problemi

Simetrik Gezgin Satıcı Problem (SGSP) ve Asimetrik Gezgin Satıcı Problem (AGSP) olmak üzere iki tip gezgin satıcı probleminden bahsedebiliriz. Mesafeleri dikkate alan bir GSP'de eğer; her i, j için;

$$c_{ij} = c_{ji} \quad (3.20)$$

ise simetrik gezgin satıcı problemi,

$$c_{ij} \neq c_{ji} \quad (3.21)$$

ise asimetrik gezgin satıcı problemi denir (Çevre ve ark., 2007). N noktadan oluşan simetrik gezgin satıcı problem için,

$$\frac{(n - 1)!}{2} \quad (3.22)$$

olası çözüm varken, asimetrik gezgin satıcı problem için

$$(n - 1)! \quad (3.23)$$

olası çözüm vardır (Ahmed, 2010). Örneğin 15 nokta için simetrik gezgin satıcı probleminde 43589145600 çözüm varken, asimetrik gezgin satıcı probleminde 87178291200 çözüm vardır. Nokta sayısı çok az olduğunda bile olası çözüm sayısı oldukça fazladır ve nokta sayısı arttıkça olası çözüm sayı da üstel olarak artmaktadır.

3.2.2 Gezgin Satıcı Problemi Algoritmaları

Gezgin satıcı problemi ifade edilmesi kolay, fakat çözülmesi zor bir problemidir. Bu zor problemleri çözmek için algoritmalar geliştirilmiştir. Az sayıda şehir için bile olası turların sayısı ve çözülme zamanı düşünüldüğünde zorluk belirginleştirilebilir. Nokta sayılarının artması ile problemin çözülmesi için gerekli zaman ve tur sayıları Tablo 3.3' de gösterilmiştir.

Tablo 3.3 GSP problemlerini çözüm parametreleri (Çınar, 2010)

Nokta Sayısı	Tur Sayısı		Gerekli Zaman			
	Asimetrik GSP	Simetrik GSP	(s)	(dk)	(saat)	(Gün)
15	87.178.291.200	43.589.145.600	8,7	0,1	0,002	0,0001
16	1.394.852.659.200	697.426.329.600	130,8	2,2	0,04	0,002
17	23.712.495.206.400	11.856.247.603.200	2092,3	34,9	0,58	0,024
18	426.824.913.715.200	213.412.456.857.600	35568,7	592,8	9,88	0,412
19	8.109.673.360.588.800	4.054.836.680.294.400	640237,4	10670,6	177,84	7,410

Tablo 3.3 GSP problemlerini çözüm parametreleri (Çınar, 2010)(devamı)

Nokta Sayısı	Tur Sayısı		Gerekli Zaman			
	Asimetrik GSP	Simetrik GSP	(s)	(dk)	(saat)	(Gün)
20	1,62193467211776 x 10 ¹⁷	8,1096733605888e x 10 ¹⁶	1216451 0	20274 1,8	3379,0 3	140,79 3

20 şehirli simetrik bir problem için 10²⁰'den fazla kombinasyon vardır ve yaklaşık 140 gün'e ihtiyaç vardır. Algoritmalar sayesinde, 13,509 şehirli ve yaklaşık 10^{50,000} kombinasyon içeren problemler dahi çok daha kısa bir sürede çözülerek bu zorluklar aşılmıştır (Helsagun, 2000). GSP'yi çözmek için kullanılan algoritmalar iki sınıfa ayrılabilir. Bunlar, Tam algoritmalar ve Yaklaşık (Sezgisel) algoritmalar.

3.2.2.1 Tam Algoritmalar

Kesin algoritmalar, sınırlı sayıda nokta için en uygun çözümün bulunmasında ve kesin sonuçların hesaplanmasında kullanılır. Kesin algoritmalara örnek olarak dinamik programlama, kesme düzlemi veya dal ve sınır algoritmaları örnek olarak verilebilir (Applegate ve ark., 1995; Padberg ve Rinaldi, 1991). Tam algoritmaları çözmek için çok fazla bilgisayar gücü gereklidir. Daha önce bahsedilen 13.509 şehirli problem, 3 sunucu kümesi, toplam 12 işlemci ve 32 bilgisayar kullanılarak üç ayda çözülebilmıştır (Applegate ve ark., 1995).

3.2.2.2 Yaklaşık Algoritmalar (Sezgisel)

Yaklaşık algoritmalar, tam algoritmaların aksine kısa sürede oldukça fazla noktayı çözümleyebilmesine rağmen optimal çözümü garanti edememektedir. Bazı yaklaşık algoritma çeşitleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

-En yakın komşu algoritması:

En yakın komşu algoritması belki de en basit GSP sezgiseldir. Bu algoritmanın çözümü her zaman en yakın şehri ziyaret etmektir. En yakın komşu çözümü aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Rastgele bir şehir seçilir.

2. En yakın ziyaret edilmeyen şehri bulunur ve oraya gidilir.
3. Hiç ziyaret edilmemiş şehir kaldı mı? Eğer evet ise, 2. adım tekrarlanır.
4. İlk şehre dönülür.

-Açgözlü yaklaşımı:

Açgözlü yaklaşımı, art arda en kısa kenarı seçer ve onun kenardan daha az bir döngü oluşturmadığı sürece tura ekleyerek turunu oluşturur. Açgözlü yaklaşımının çözümü aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Tüm kenarlar sıralanır.
2. En kısa kenar seçilir ve kısıtlardan herhangi biri ihlal edilmiyorsa tura eklenir.
3. Turda n kenar var mı? Aksi takdirde 2. adım tekrarlanır (Bentley,1990).

-Ekleme algoritması:

Ekleme algoritması oldukça basittir ve aralarında seçim yapabileceğiniz birçok seçenek vardır. Ekleme algoritmasının temeli, tüm şehirlerin bir alt kümesini gezmekle başlar, daha sonra geri kalan şehirler sezgisel olarak eklenir. İlk alt tur genellikle üçgen veya dışbükey bir kabuktur. Ekleme algoritması çözümü aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. En kısa kenar seçilir ve bir alt tur yapılır.
2. Alt turda yer alan şehirlerden birtanesine, alt turda bulunmayan, kısa mesafeli bir şehir seçilir.
3. Alt turda bir kenar bulunur, böylece seçilen şehri kenar şehirler arasına sokma maliyeti az olur.
4. Başka şehir kalmayıncaya kadar 2. adım tekrarlanır (Nilsson, 2003).

-İki seçenekli değişim algoritması:

İki seçenekli değişim algoritması ile öklid problemleri çözülebilir. Bir Hamilton döngüsü kendisini geçerse kolayca kısaltılabilir. Yani, geçen iki yolu çapraz olmayan kenarlardan silinir ve elde edilen iki yolu, kenarları geçmeyen kenarlardan silinir. Böylece yeni döngü eskisinden daha kısa olur (Jünger, 1994).

3.2.3 Gezgin Satıcı Probleminin Uygulama Alanları

Gezgin satıcı probleminin birçok alanda uygulaması vardır. Bu uygulamalardan bazıları aşağıdaki gibidir;

-Araç Yönlendirme Problemi:

Araç yönlendirme probleminin amacı, hangi müşterilere hangi araçlar tarafından hizmet edileceğini ve her müşteriye hizmet etmek için gereken minimum araç sayısını bulmaktır. Araç yönlendirme probleminin de birçok çeşidi vardır (Bryant, 2000). Bazı araç yönlendirme probleminin GSP ile modellenenir.

-Minimum Yayılan Ağaç Problemi:

Minimum yayılan ağaç problemi, tüm noktaları birleştiren bir ağaçtır. Amaç, toplam uzunluğu en az olan bir yayılma ağacı bulmaktır. Bu problem GSP'nin basitleştirilmiş halidir (Ahuja, 1993).

-Bilgisayar Kablolama Problemi:

Her biri birkaç portlu birden çok modüllü problemlerde, hiçbir portun üzerine birden fazla kablo takılmayacak şekilde ve kablo uzunluğunu en aza indirecek şekilde bağlamamızı sağlar (Gutin ve Punnen, 2002).

-Frekans Atama Problemi:

Frekans atama problemi ile bir iletişim ağında, her vericiye bir frekans atama problemi çözülebilir (Gutin ve Punnen, 2002).

-Makine Çizelgeleme Problemi:

Çizelgeleme problemleri, GSP için en çok çalışılan uygulama alanların biridir. Bir makinada işlem yapmak için n tane iş olduğunu düşünelim. Kurulum maliyeti c_{ij} için, i işinden hemen sonra j işinin işlenmesi için gereken sıralamayı oluşturur. Amaç, işlerin toplam maliyetinin minimum olacağı bir işleyiş oluşturmaktır (Gutin ve Punnen, 2002).

-En Uzun Yol Problemi:

En uzun yol probleminin amacı, belirli noktalar arasındaki bir ağda en uzun yolu bulmaktır. Maksimum ve minimum problemleri, hedefi -1 ile çarparak birbirine dönüştürülebilir (Lawler ve ark., 1985).

Gezgin satıcı problemi, psikolojide veri analizi, X ışını kristalografisi, gaz türbini motorunun elden geçirilmesi, depo siparişi, duvar kağıdı kesimi gibi burada bahsedemediğimiz bir çok probleme de uygulanabilir (Aarts ve Lenstra, 1997; Gutin ve Punnen, 2002; Lawler ve ark., 1985). Bu çalışmada, çok amaçlı GSP en kısa turu ve en güvenli turu eş zamanlı ele alarak uzlaşık bir çözüm üretmek için kullanılmıştır.

3.3 Üyelik Fonksiyonu

Üyelik fonksiyonları hem klasik hem de bulanık kümelerin temelini oluşturur. Klasik küme kuramı ile bulanık küme kuramı arasındaki en önemli fark, üyelik fonksiyonun aldığı değerlerdir (Wong ve Lim, 2009). Klasik küme kuramı göre üyelik fonksiyonları 0 ve 1 değerlerini alabilirken, bulanık küme kuramında üyelik fonksiyonları 0 ile 1 aralığında sonsuz tane değer alabilir (Buckley, 2003).

Klasik küme kuramına göre üyelik dereceleri, nesne kümeye üye değil ise 0, nesne kümeye tamamen üye ise 1'dir (Wong ve Lim, 2009). x değerinin klasik kümelerde A kümesinin bir üyesi olup olmadığını gösteren bağıntı (3.24)'deki gibidir.

$$X_A: X \rightarrow \{0,1\} \quad (3.24)$$

X evreni üzerindeki herhangi bir x değerinin A klasik alt kümesine matematiksel olarak,

$$x \notin A \quad (3.25)$$

ise üyelik ifadesi;

$$X_A(x) = 0 \quad (3.26)$$

şeklinde gösterilir.

$$x \in A \quad (3.27)$$

ise üyelik ifadesi;

$$X_A(x) = 1 \quad (3.28)$$

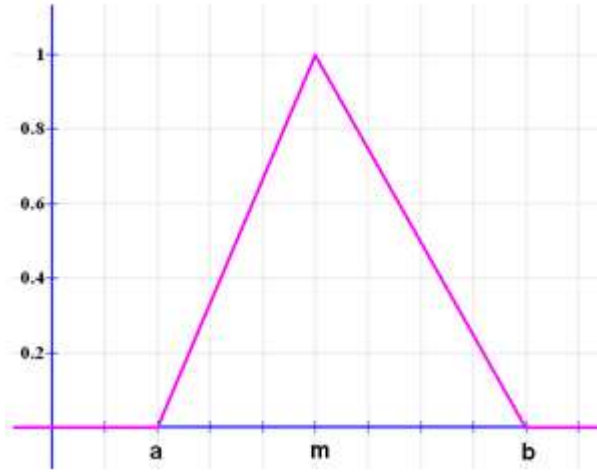
şeklinde gösterilir. Başka bir deyişle, bir sayı bir kümeye ya elemandır ya da değildir. Bulanık küme teorisi, Zadeh tarafından ilk kez 1965 yılında, 0 ile 1 arasında olan ancak rastgele seçilmiş sonsuz elamanı olan bir küme olarak tanımlanır. Zadeh, yalnızca iki derece üyeliğe sahip olan bu ifadeyi, 0'dan 1'e kadar sonsuz üyelik derecesi alabilen başka bir gösterim biçimine genişletmiştir (Zadeh, 1965). Üyelik fonksiyonları ile herhangi bir elemanın kümeye ait olma derecesi fonksiyonlarla ifade edilir. Bu sayede, tanımlanması güç veya belirsizlik ifade eden kavramlara üyelik derecesi atanarak belirlilik kazandırılır. Matematiksel olarak üyelik fonksiyonu $\mu(x)$, (3.29) eşitliği ile ifade edilmiştir (Zadeh, 1965).

$$\mu(x) : X \rightarrow [0,1] \quad (3.29)$$

Üyelik fonksiyonunun x 'e bağlı olarak aldığı sayısal değerlere üyelik derecesi denir. Problemin durumuna göre üçgen üyelik fonksiyonu, yamuk üyelik fonksiyonunu, gauss üyelik fonksiyonunun gibi üyelik fonksiyonu çeşitleri vardır (Wong ve Lim, 2009).

3.3.1 Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonunda, alt limiti a , bir üst limiti m ve bir b değeri ile tanımlanır. Burada a , m ve b arasında sayısal olarak $a < m < b$ sıralaması vardır. Üçgen üyelik fonksiyonu Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



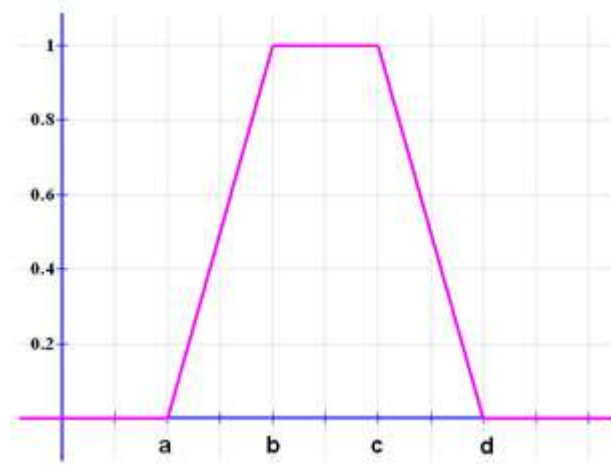
Şekil 3.3 Üçgen üyelik fonksiyonu (Blanc ve Torrubia)

Optimum sonucu bulmamıza yardımcı olan λ 'nın değeri, amaç fonksiyonunun sınır değerleri kullanılarak (3.30) eşitliği yardımıyla hesaplanır.

$$\mu_A(X) = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq a \\ \frac{x - a}{m - a} & ; \quad a < x < m \\ \frac{b - x}{b - m} & ; \quad m < x < b \\ 0 & ; \quad x \geq b \end{cases} \quad (3.30)$$

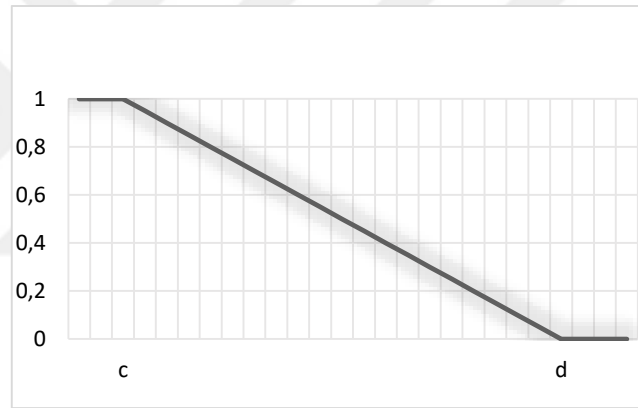
3.3.2 Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonunda alt sınır a, üst sınır d, alt sınır destek limiti b ve üst sınır destek limiti c ile tanımlanır. Burada a, b, c ve d arasında sayısal olarak $a < b < c < d$ sıralaması vardır. Yamuk üyelik fonksiyonu Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Yamuk üyelik fonksiyonu (Blanc ve Torrubia)

Yamuk üyelik fonksiyonunun R-fonksiyonları ve L-fonksiyonları olarak adlandırılan iki özel durumu vardır. Şekil 3.5’de R-fonksiyonları gösterilmiştir.

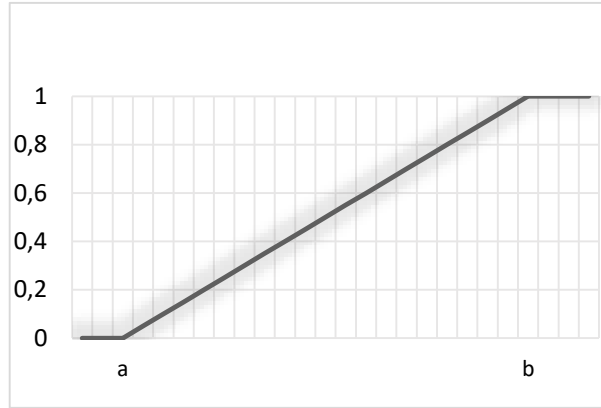


Şekil 3.5 R -fonksiyonları

R-fonksiyonları: $a = b = -\infty$ parametreleri,

$$\mu_A(X) = \begin{cases} 0 & ; \quad x \geq d \\ \frac{d-x}{d-c} & ; \quad c < x < d \\ 1 & ; \quad x \leq c \end{cases} \quad (3.31)$$

(3.31) ile hesaplanır. Şekil 3.6'da L-fonksiyonları gösterilmiştir.



Şekil 3.6 L –fonksiyonları

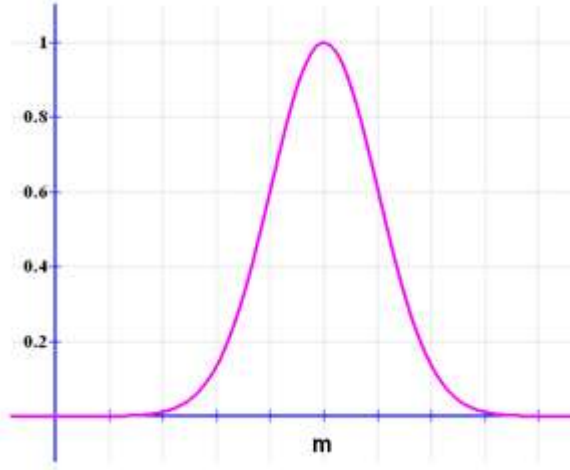
L Fonksiyonları: $c = d = +\infty$ parametreleri ile,

$$\mu_A(X) = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq a \\ \frac{x - a}{b - a} & ; \quad a < x < b \\ 1 & ; \quad x \geq b \end{cases} \quad (3.32)$$

(3.32) ile hesaplanır. Burada, $\lambda = \mu_A(x)$; üyelik fonksiyonunun derecesini verir. X elemanının üyeliği $\mu_A(x)$, 1'e yaklaştıkça artar. Optimum sonucu bulmamızı sağlayan üyelik derecesi λ 'nın değeri, (3.31) ve (3.32)'de, amaç fonksiyonunun alt sınır ve üst sınır değerleri ile hesaplanır.

3.3.3 Gauss Üyelik Fonksiyonu

Gauss üyelik fonksiyonunun merkezinde m değeri ve $k > 0$ standart sapması ile tanımlanır. K ne kadar küçükse eğri o kadar dar olur.



Şekil 3.7 Gauss üyelik fonksiyonu (Blanc ve Torrubia)

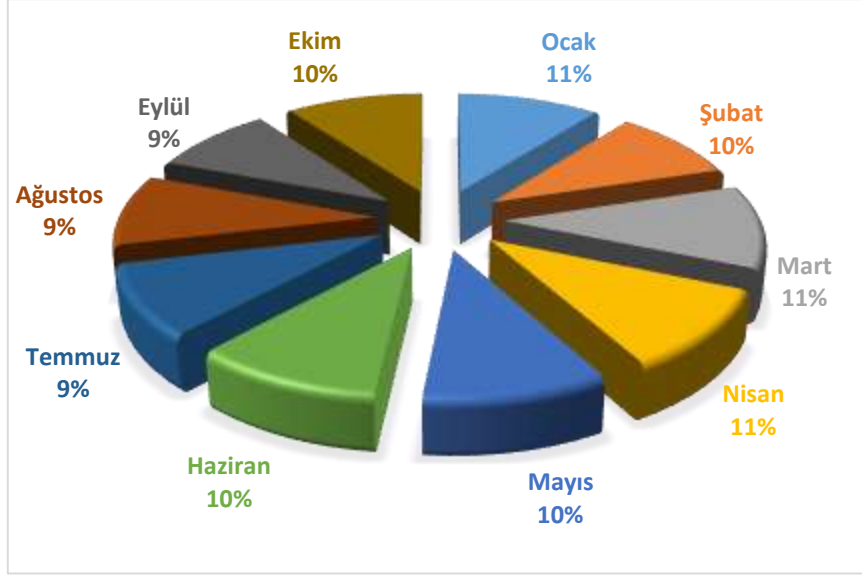
$$\mu_A(X) = e^{-\frac{(x-m)^2}{2k^2}} \quad (3.33)$$

(3.33) eşitliği ile hesaplanır. Üyelik derecesi en yüksek bulanık karar yada kararlar, çözüm kümesindeki optimum sonucu verir. Bu çalışmada GSP elde edilen amaç fonksiyonlarının uzlaşık çözümünü elde etmek için yamuk üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.

4.1 İstanbul İlinde Tıbbi Atık Lojistiği

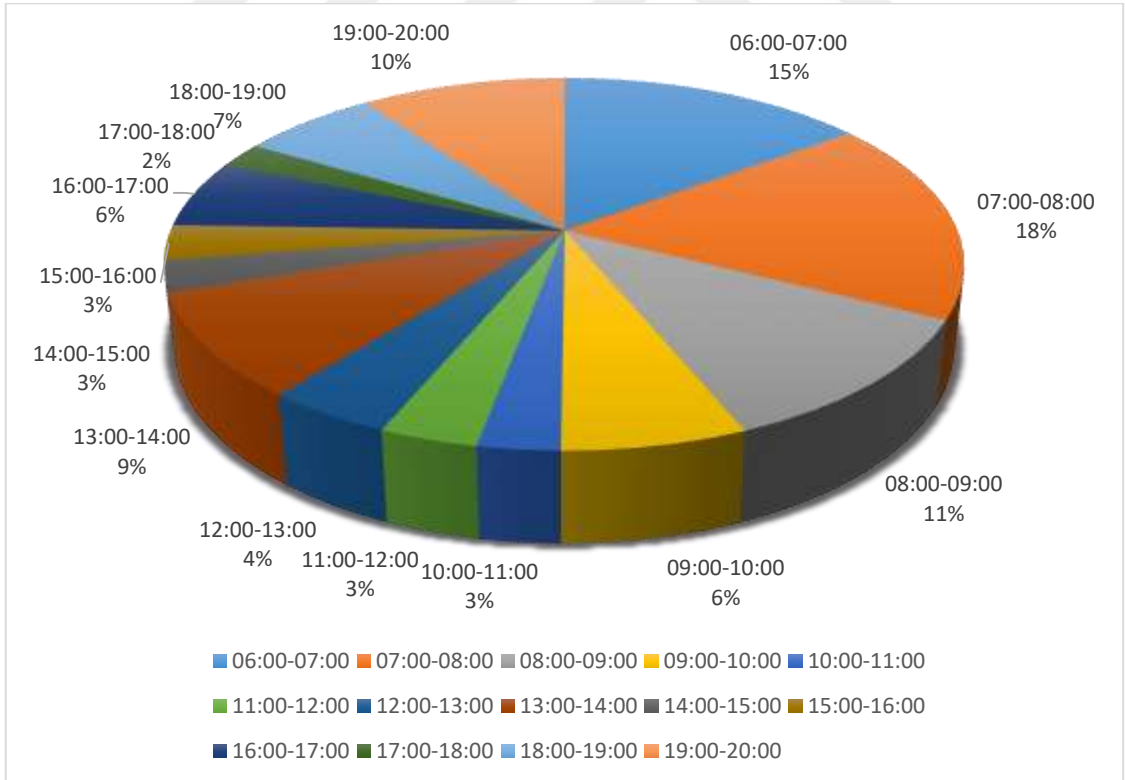
Türkiye'de tıbbi atıkların yönetimi ile ilgili ilk yasal düzenleme 20.5.1993 tarih ve 21586 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan "Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği" ile sağlanmış ve aynı yönetmelik Avrupa Birliğine (AB) aday devlet olarak AB Çevre Direktifleri doğrultusunda 22.07.2005 tarih ve 25883 sayı ile değiştirilmiştir (Birpınar ve ark.,2009; Uysal ve Tinmaz, 2004). Son olarak, 25.01.2017 tarih ve 29959 sayılı Resmi Gazete'de yeniden yayınlanarak güncellenmiştir. Bu yönetmelik gereğince büyükşehirlerde büyükşehir belediyeleri, büyükşehir belediyesi olmayan yerlerde ise belediyeler atık yönetim planı oluşturmakla yükümlüdür. Bu kapsamda İstanbul'da tıbbi atıklar İstanbul Büyükşehir Belediyesine ait İSTAÇ A.Ş. tarafından toplanıp, Odayeri tıbbi atık yakma ve sterilizasyon tesisine taşınmaktadır.

İstanbul'da, 20 yatak üstü ve 20 yatak altı tıbbi atık oluşturan sağlık kuruluşları farklı araçlarla toplanmaktadır. Bu çalışmada 20 yatak üstü sağlık kuruluşları incelenmiştir. İstanbul'da bulunan 20 yatak üstü 252 sağlık kuruluşundan günde toplam 30-35 ton civarında tıbbi atık toplanmaktadır. Bu 20 yatak üstü 252 sağlık kuruluşunun 161'i Avrupa, 91'i ise Asya yakasında bulunmaktadır. İSTAÇ A.Ş.'e bağlı bulunan toplamda 27 adet lisanslı araç ile 11 bölgeye ayrılmış İstanbul'un Avrupa yakasında tıbbi atık toplama hizmeti verilmektedir. Kapasiteleri 10 m³'den 28 m³'e kadar değişen bu 27 araç ile yılda toplam, 14.860.650 kg tıbbi atık toplanmaktadır. Bu toplanan atıkların aylara göre dağılımı Şekil 4.1 de gösterilmiştir.



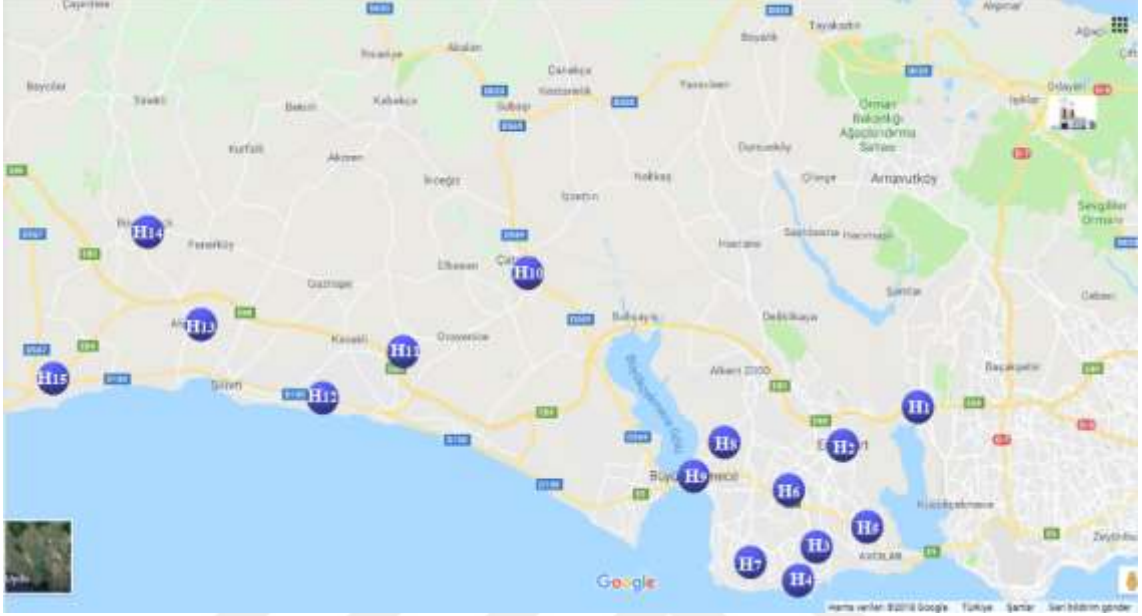
Şekil 4.1 Avrupa yakası tıbbi atık toplama şefliği toplanan tıbbi atık miktarlarının aylara göre dağılımı

Toplanan 14.860.650 kg tıbbi atığın saat bazında dağılımı Şekil 4.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Avrupa yakası tıbbi atık toplama şefliği toplanan tıbbi atık miktarlarının saat bazında dağılımı

Bu çalışmada 28 m³ ile en büyük taşıma kapasitesine sahip olan araç tercih edilmiştir. Bu araç haftanın 7 günü düzenli olarak 20 yatak ve üzeri 15 hastanenin tıbbi atıklarını toplamaktadır. Bu 15 hastanenin ve Odayeri tıbbi atık yakma ve sterilizasyon tesisinin harita üzerindeki konumları Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Tıbbi atık toplama aracının haftalık uğradığı 15 hastanenin ve bertaraf tesisinin harita üzerindeki konumları.

(**H₁**: 1 Hastanesi, **H₂**: 2 Hastanesi, **H₃**: 3 Hastanesi, **H₄**: 4 Hastanesi, **H₅**: 5 Hastanesi, **H₆**: 6 Hastanesi, **H₇**: 7 Hastanesi, **H₈**: 8 Hastanesi, **H₉**: 9 Hastanesi, **H₁₀**: 10 Hastanesi, **H₁₁**: 11 Hastanesi, **H₁₂**: 12 Hastanesi, **H₁₃**: 13 Hastanesi, **H₁₄**: 14 Hastanesi, **H₁₅**: 15 Hastanesi)

15 hastanenin ve Odayeri tıbbi atık yakma ve sterilizasyon tesisinin (**O**) mesafeleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Hastane mesafeleri

<i>H</i> <i>(km)</i>	<i>O</i>	<i>H₁</i>	<i>H₂</i>	<i>H₃</i>	<i>H₄</i>	<i>H₅</i>	<i>H₆</i>	<i>H₇</i>	<i>H₈</i>	<i>H₉</i>	<i>H₁₀</i>	<i>H₁₁</i>	<i>H₁₂</i>	<i>H₁₃</i>	<i>H₁₄</i>	<i>H₁₅</i>
<i>O</i>	0	38.7	41.2	42.5	42.8	42.1	44.6	46.5	46.5	49.8	53.5	68.6	72.3	78	80.6	91
<i>H₁</i>	38.7	0	1,8	5,2	5,3	8,8	4,8	6,6	7	10,1	29,9	32,1	37	42,8	45.4	60,4
<i>H₂</i>	41.2	1,8	0	5,2	5,4	9,2	4,4	6,3	6,2	9,8	31	32,6	46,1	43,2	45,8	60.8
<i>H₃</i>	42.5	5,2	5,2	0	0,75	5,2	3,6	6,2	6,2	9,5	26,7	28,3	33,2	39	41,6	64,5
<i>H₄</i>	42.8	5,3	5,4	0,75	0	5,8	2,7	4,4	5,6	9,8	27	28,6	42,1	39,3	41,9	57,4
<i>H₅</i>	42.1	8,8	9,2	5,2	5,8	0	9,6	10,7	10,7	14,8	32	33,6	47,1	44,3	46,9	56
<i>H₆</i>	44.6	4,8	4,4	3,6	2,7	9,6	0	3	3,4	6,7	23,8	25,5	30,4	36,2	38,8	47,9
<i>H₇</i>	46.5	6,6	6,3	6,2	4,4	10,7	3	0	1,6	4,9	24	25,7	39,2	36,3	39	48,1
<i>H₈</i>	46.5	7	6,2	6,2	5,6	10,7	3,4	1,6	0	3,8	24,3	25,9	40,4	36,6	39,2	48,3
<i>H₉</i>	49.8	10,1	9,8	9,5	9,8	14,8	6,7	4,9	3,8	0	18,5	20,2	33,7	30,8	33,5	42,6
<i>H₁₀</i>	53.5	29,9	31	26,7	27	32	23,8	24	24,3	18,5	0	14,2	26,5	23,6	27,4	35,3

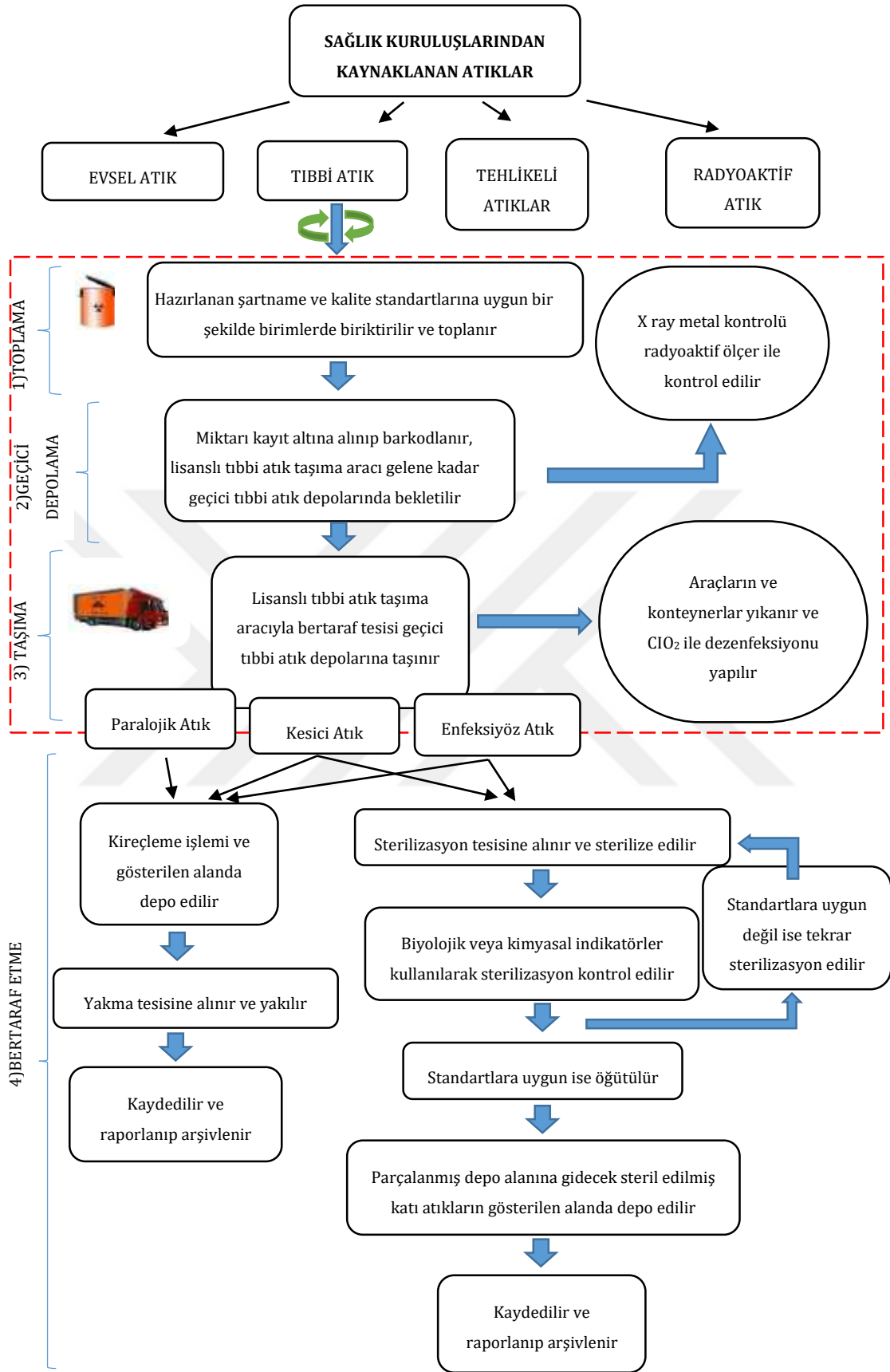
Tablo 4.1 Hastane mesafeleri (devamı)

<i>H</i> <i>(km)</i>	<i>O</i>	<i>H₁</i>	<i>H₂</i>	<i>H₃</i>	<i>H₄</i>	<i>H₅</i>	<i>H₆</i>	<i>H₇</i>	<i>H₈</i>	<i>H₉</i>	<i>H₁₀</i>	<i>H₁₁</i>	<i>H₁₂</i>	<i>H₁₃</i>	<i>H₁₄</i>	<i>H₁₅</i>
<i>H₁₁</i>	68.6	32,1	32,6	28,3	28,6	33,6	25,5	25,7	25,9	20,2	14,2	0	2,3	2,3	2	11,2
<i>H₁₂</i>	72.3	37	46,1	33,2	42,1	47,1	30,4	39,2	40,4	33,7	26,5	2,3	0	3,7	2,5	9
<i>H₁₃</i>	78	42,8	43,2	39	39,3	44,3	36,2	36,3	36,6	30,8	23,6	2,3	3,7	0	1,7	13,6
<i>H₁₄</i>	80.6	45.4	45,8	41,6	41,9	46,9	38,8	39	39,2	33,5	27,4	2	2,5	1,7	0	11
<i>H₁₅</i>	91	60,4	60.8	64,5	57,4	56	47,9	48,1	48,3	42,6	35,3	11,2	9	13,6	11	0

Mevcut uygulamada İSTAÇ A.Ş. Çevre Kontrol Merkezi Birimi tarafından İstanbul Büyükşehir Belediyesi Atık Yönetim Otomasyon Projesi kapsamında GPS takip sistemi ile anlık güzergah takibi yapılmaktadır. Ancak araçların tam olarak belirli bir güzergahı yoktur, belirtilen günlerde belirtilen hastanelere uğramaktadır.

İstanbul ilinde tıbbi atık lojistiğinde, toplama, geçici depolama, taşıma ve bertaraf aşamalarını içeren bütünsel süreç Şekil 4.4’de tıbbi atık lojistiği özet diyagramı ile gösterilmiştir.



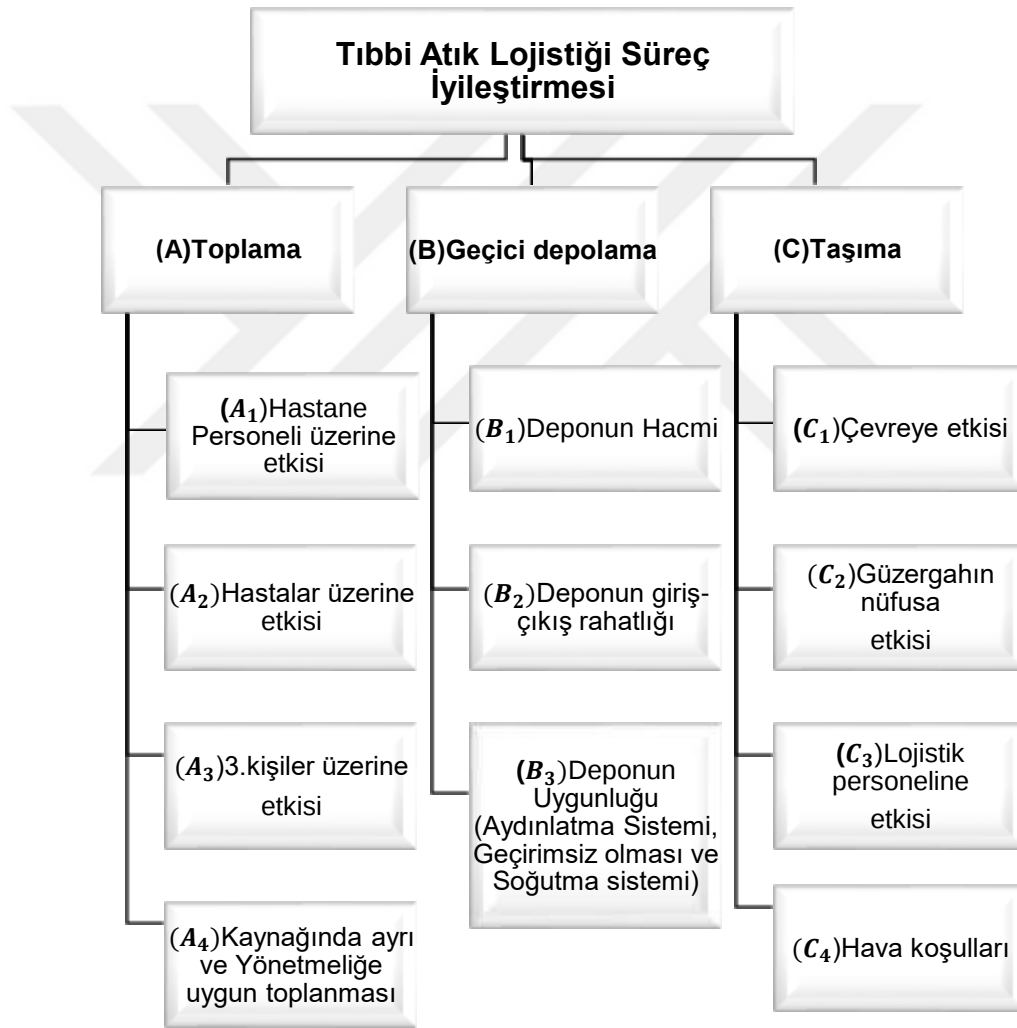


Şekil 4.4 Tıbbi atık lojistiği özet diyagramı

Bu çalışmada, tıbbi atıkların bertaraf süreci her sağlık kuruluşu için aynı sürece tabi olduğundan değerlendirilme dışı tutulmuş, Şekil 4.4’de kırmızı kesikli çizgiler içerisine alınan tıbbi atıkların sağlık kuruluşlarında toplanması, sağlık kuruluşlarında geçici depolanması ve bertaraf tesisine taşınması aşamaları değerlendirilerek güvenlik skorları elde edilmiştir.

4.2 Tıbbi Atık Lojistiğine AHP Uygulaması

Tıbbi atık lojistiği probleminin amaç, kriterler ve alt kriterlerinden oluşan hiyerarşik yapısı Şekil 4.5’deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 4.5 Tıbbi atık lojistiği hiyerarşisi

Hiyerarşinin tepesinde Tıbbi Atık Lojistiği Süreç İyileştirme amacı yer almaktadır. Alt bölümlerde ise amacın değerlendirilmesi için kullanılan kriterler ve bu kriterlere

ait alt kriterler bulunmaktadır. Hiyerarşide, öncelik skalası oluşturmak üzere, incelediğimiz 15 hastanenin tıbbi atık sorumluları ile görüşülerek, ikili karşılaştırmalar yapılmış ve bu hiyerarşide bulunan alt kriterlerin uygunluk anketi yapılmıştır. Tıbbi atık sorumluları, enfeksiyon kontrol komitesi üyesi olup hastaneden hastaneye uzmanlık alanları değişmektedir. Enfeksiyon hastalıkları uzman doktorları, enfeksiyon hemşireleri veya başhemşireler tıbbi atık sorumlusu olarak görev yapabilmektedir.

Öncelikle, 15 hastanenin tıbbi atık sorumluları ile yapılan ikili karşılaştırmaların aritmetik ortalaması alınmış, ortalaması alınan değerler Tablo 4.2’de kriterler, Tablo 4.3, Tablo 4.4 ve Tablo 4.5’de alt kriterler tablolarına değerler girilerek hesaplanmıştır.

Tablo 4.2 Kriterlerin ikili karşılaştırılması

	Toplama	Geçici Depolama	Taşıma
Toplama	1,00	7,40	8,60
Geçici Depolama	0,14	1,00	2,80
Taşıma	0,12	0,36	1,00

Tablo 4.3 Toplama alt kriterlerin ikili karşılaştırılması

	Hastane Personeli Üzerine Etkisi	Hastalar Üzerine Etkisi	3. Kişiler Üzerine Etkisi	Kaynağında ayrı ve yönetmeliğe uygun toplanması
Hastane Personeli Üzerine Etkisi	1,00	7,80	8,80	4,20

Tablo 4.3 Toplama alt kriterlerin ikili karşılaştırılması (devamı)

	Hastane Personeli Üzerine Etkisi	Hastalar Üzerine Etkisi	3. Kişiler Üzerine Etkisi	Kaynağında ayrı ve yönetmeliğe uygun toplanması
Hastalar Üzerine Etkisi	0,13	1,00	1,40	2,30
3. Kişiler Üzerine Etkisi	0,11	0,71	1,00	1,30
Kaynağında ayrı ve yönetmeliğe uygun toplanması	0,24	0,43	0,77	1,00

Tablo 4.4 Geçici depolama alt kriterlerin ikili karşılaştırılması

	Deponun Hacmi	Deponun Giriş- Çıkış Rahatlığı	Deponun Uygunluğu
Deponun Hacmi	1,00	1,40	2,40
Deponun Giriş- Çıkış Rahatlığı	0,71	1,00	0,97
Deponun Uygunluğu	0,42	1,03	1,00

Tablo 4.5 Taşıma alt kriterlerin ikili karşılaştırılması

	Çevreye Etkisi	Güzergahın Nüfusa Etkisi	Lojistik Personeline Etkisi	Hava Koşulları
--	-------------------	-----------------------------	-----------------------------------	----------------

Tablo 4.5 Taşıma alt kriterlerin ikili karşılaştırılması (devamı)

	Çevreye Etkisi	Güzergahın Nüfusa Etkisi	Lojistik Personeline Etkisi	Hava Koşulları
Çevreye Etkisi	1,00	2,50	0,15	2,90
Güzergahın Nüfusa Etkisi	0,40	1,00	0,18	2,20
Lojistik Personeline Etkisi	6,67	5,56	1,00	5,20
Hava Koşulları	0,34	0,45	0,19	1,00

Tablo 4.2'e ait ana kriterlerin tutarlılık oranı %7,6 ve bu kriterlerin ağırlıkları sırasıyla, 0,78, 0,15 ve 0,07 olmuştur. Tablo 4.3, Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'e ait alt kriterlerin ağırlığı, genel ağırlıkları ve tutarlılık oranları Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6 Alt kriterlerin ağırlığı, genel ağırlığı ve tutarlılık oranları

Alt Kriterler	Ağırlığı	Ana Kriterinin Ağırlığı	Alt Kriterin Genel Ağırlığı	Tutarlılık Oranları
A ₁	0,67	X 0,78	0,52	% 7,8
A ₂	0,14		0,11	
A ₃	0,09		0,08	
A ₄	0,10		0,07	
B ₁	0,47	X 0,15	0,07	% 3,1
B ₂	0,29		0,04	
B ₃	0,24		0,04	

Tablo 4.6 Alt kriterlerin ağırlığı, genel ağırlığı ve tutarlılık oranları (devamı)

Alt Kriterler	Ağırlığı	Ana Kriterinin Ağırlığı	Alt Kriterin Genel Ağırlığı	Tutarlılık Oranları
C ₁	0,18	X 0,07	0,04	% 9,8
C ₂	0,12		0,01	
C ₃	0,62		0,01	
C ₄	0,08		0,01	

Tablo 4.6’da, toplama (A) ana kriterinin ağırlığı 0,78 ile tıbbi atıklar toplanırken hastane personeli üzerine etkisi (A₁) alt kriterinin ağırlığı 0,67 ile çarpıldığında, (A₁) alt kriterinin genel ağırlığı 0,52 elde edilmektedir. Bu şekilde bütün ana kriterinin ağırlıkları ile ilgili alt kriterlerin ağırlığı çarpılarak, bütün alt kriterlerin genel ağırlıkları hesaplanmıştır.

Daha sonra, güvenlik skorları elde etmek için, bu ağırlıklar ile ilişkilendirilmek üzere bir anket hazırlanmıştır. Bu anket, tıbbi atıkların oluşumundan bertarafına kadar, çevreye ve insan sağlığına zarar vermeden kaynağında ayrı olarak toplanması, sağlık kuruluşu içinde taşınması, geçici depolanması, tıbbi atık işleme tesisine taşınması ve bertaraf edilmesine yönelik prensip, politika ve programlar ile hukuki, idari ve teknik esasların belirlenerek uygulanmasına ilişkin usul ve esaslarının ne derece uygun yapıldığını belirlemek için, her hastanenin tıbbi atık sorumluları tarafından doldurulmuştur.

Tablo 4.7 Anket soruları

Alt Kriterlerin Uygunluğu		Uygunluk Derecesinin Puanlanması									
		1 (Hiç uygun değil)-10 (Çok uygun)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A ₁	Tıbbi atıklar toplanırken, hastane personeli üzerine olası etkilerine karşı alınan önlemler ne kadar uygun ?										

Tablo 4.7 Anket soruları (devamı)

Alt Kriterlerin Uygunluğu		Uygunluk Derecesinin Puanlanması									
		1 (Hiç uygun değil)-10 (Çok uygun)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A₂	Tıbbi atıklar toplanırken, hastalar üzerine olası etkilerine karşı alınan önlemler ne kadar uygun ?										
A₃	Tıbbi atıklar toplanırken, 3.kişiler (Hasta ziyaretçileri vs.) üzerine olası etkilerine karşı alınan önlemler ne kadar uygun ?										
A₄	Tıbbi atıkların kaynağında ayrı ve yönetmeliğe uygun toplanması ne kadar uygun ?										
B₁	Tıbbi atık geçici deposunun hacmi ne kadar uygun ? (.....)										
B₂	Tıbbi atık geçici deposunun araç giriş-çıkış rahatlığı ne kadar uygun ?										
B₃	Tıbbi atık geçici deposu (Aydınlatma, geçirimsiz ve soğutma sistemi) ne kadar uygun ?										
C₁	Tıbbi atıkların olası çevreye etkisi üzerine alınan önlemler ne kadar uygun ?										
C₂	Tıbbi atıkların taşındığı güzergahın nüfus yoğunluğu ?										
C₃	Tıbbi atıkların taşınmasında lojistik personeli üzerine olası etkilerine karşı ne kadar uygun ?										
C₄	Tıbbi atıkların taşınmasında kar, yağmur vb. hava koşullarına karşı alınan önlemler ne kadar uygun ?										

Elde edilen alt kriterlere ait ağırlıklar ile anket sonucu elde edilen uygunluk değerleri çarpılarak her hastane için Tablo 4.8’de verilen güvenlik skorları elde edilmiştir.

Tablo 4.8 Güvenlik skorları ile AHP sonuçlarının ilişkilendirilmesi

Alt Kriterler	Alt Kriterlerin Genel Ağırlıkları	Hastanelerde Tıbbi Atık Lojistiğinde Alt Kriterlerin Uygunluk Derecelerinin Puanlanması														
		1 (Hiç uygun değil) - 10 (En uygun)														
		H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	H_8	H_9	H_{10}	H_{11}	H_{12}	H_{13}	H_{14}	H_{15}
A_1	0,52	4	7	8	8	6	9	6	4	9	6	8	8	10	7	8
A_2	0,11	7	7	5	8	6	9	7	10	5	6	6	6	9	6	6
A_3	0,07	6	10	5	8	3	10	9	10	6	8	7	8	9	7	7
A_4	0,08	6	6	7	7	4	10	3	6	8	5	7	7	8	5	5
B_1	0,07	6	10	3	9	5	10	7	4	9	6	8	5	7	4	9
B_2	0,04	5	10	2	3	4	1	8	5	8	4	4	3	8	3	7
B_3	0,04	5	10	10	9	6	10	4	7	7	7	3	6	6	6	4
C_1	0,01	5	9	2	8	2	5	7	6	6	6	4	5	4	4	8
C_2	0,01	5	9	8	8	6	5	9	9	9	5	3	4	7	2	3

Tablo 4.8 Güvenlik skorları ile AHP sonuçlarının ilişkilendirilmesi (devamı)

Alt Kriterler	Alt Kriterlerin Genel Ağırlıkları	Hastanelerde Tıbbi Atık Lojistiğinde Alt Kriterlerin Uygunluk Derecelerinin Puanlanması														
		1 (Hiç uygun değil) - 10 (En uygun)														
		H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	H_8	H_9	H_{10}	H_{11}	H_{12}	H_{13}	H_{14}	H_{15}
C_3	0,04	7	9	6	5	6	6	8	8	7	6	4	8	8	3	6
C_4	0,01	7	9	2	5	4	10	7	7	6	5	5	7	7	2	4
Hastane Güvenlik Skorları (G) →		5,02	7,74	6,63	7,67	5,4	8,7	6,32	5,67	8	6,01	7	7,13	9,02	6,04	7,21

Hastane Güvenlik Skorları (G) oluşturulmak üzere, tıbbi atıklar toplanırken **A₁** alt kriteri için hastane personeli üzerine olası etkilerine karşı alınan önlemlerin uygunluğu, **A₂** alt kriteri için hastalar üzerine olası etkilerine karşı alınan önlemlerin uygunluğu, **A₃** alt kriteri için 3.kişiler (Hasta ziyaretçileri vs.) üzerine olası etkilerine karşı alınan önlemlerin uygunluğu, **A₄** alt kriteri için tıbbi atıkların kaynağında ayrı ve yönetmeliğe uygun toplanmasının uygunluğu, tıbbi atık sorumluları tarafından 1-10 arasında değerlendirilmiştir. Yine aynı şekilde tıbbi atıklar geçici depolanırken **B₁** alt kriteri için tıbbi atık geçici deposunun hacminin uygunluğu, **B₂** alt kriteri için tıbbi atık geçici deposunun araç giriş-çıkış rahatlığının uygunluğu, **B₃** alt kriteri için tıbbi atık geçici deposunun (Aydınlatma, geçirimsiz ve soğutma sistemi) uygunluğu ve tıbbi atıklar bertaraf tesisine taşınırken, **C₁** alt kriteri için tıbbi atıkların olası çevreye etkisi üzerine alınan önlemlerin uygunluğu, **C₂** alt kriteri için tıbbi atıkların taşındığı güzergahın nüfus yoğunluğunun uygunluğu, **C₃** alt kriteri için tıbbi atıkların taşınmasında lojistik personeli üzerine olası etkilerine karşı alınan önlemlerin uygunluğu, **C₄** alt kriteri için tıbbi atıkların taşınmasında kar, yağmur vb. hava koşullarına karşı alınan önlemlerin uygunluğu, 1-10 arasında değerlendirilmiştir. Bu değerler Tablo 4.8’de her hastaneye ait sütunlarda sırasıyla gösterilmiştir. Her hastaneye ait sütunlardaki, ilgili alt kritere ait uygunluk puanı ile her alt kriterin genel ağırlığı çarpılıp her bir sütunun toplamı alınarak, her hastane için 1-10 arası güvenlik skorları elde edilmiş ve Tablo 4.8’in en alt satırında belirtilmiştir.

4.3 Gezgin Satıcı Probleminde Mesafe ve Güvenlik Odaklı Güzergahlar

Bu bölümde, gezgin satıcı problemi kullanılarak tıbbi atıkların taşınmasında minimum mesafeyi optimize eden birinci amaç ile bu taşımaların maksimum güvenlikte gerçekleşmesini sağlayan ikinci amaç fonksiyonu ayrı ayrı optimize edilmiştir.

Minimum mesafede turunu tamamlayan gezgin satıcı problemi için matematiksel model aşağıda verilmiştir.

$$Z_{1min} = \sum_i^N \sum_j^N d_{ij} \cdot y_{ij} \quad (4.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^N y_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (4.2)$$

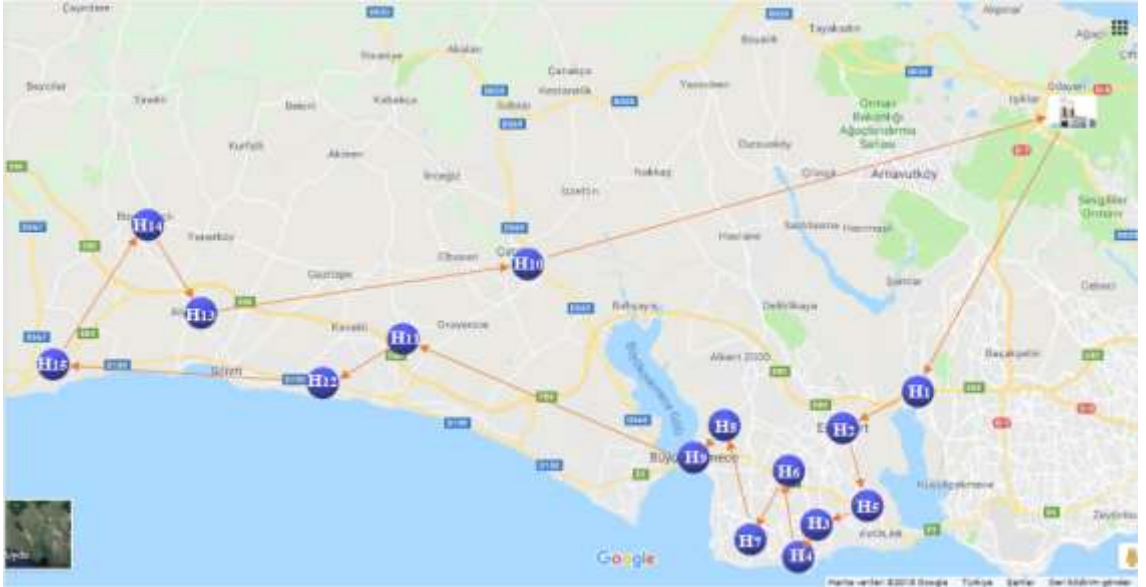
$$\sum_{j=1}^N y_{ij} = 1 \quad \forall_i \quad (4.3)$$

$$\sum_{j \in S} \sum_{i \in S} y_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset N, \quad |S| \geq 2 \quad (4.4)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall_{i,j} \quad (4.5)$$

Burada; (4.1) eşitliği, tur mesafesini minimize edip en kısa yoldan tıbbi atıkların toplanmasını sağlayan amaç fonksiyonudur. (4.2) ve (4.3), her bir hastaneye bir kez gidileceğini ve her hastaneden bir kez çıkılacağını belirten kısıtlardır, (4.4) ve (4.5), oluşabilecek alt turları engellemek için yazılan kısıtlardır.

Şekil 4.6'da gösterilen, 15 hastaneden toplanan tıbbi atıkların minimum mesafe odaklı taşınması için sırasıyla, $O \rightarrow H_1 \rightarrow H_2 \rightarrow H_5 \rightarrow H_3 \rightarrow H_4 \rightarrow H_6 \rightarrow H_7 \rightarrow H_8 \rightarrow H_9 \rightarrow H_{11} \rightarrow H_{12} \rightarrow H_{15} \rightarrow H_{14} \rightarrow H_{13} \rightarrow H_{10} \rightarrow O$ rotasını izleyerek 188,05 km ile turunu tamamlamıştır.



Şekil 4.6 Tıbbi atık toplama aracının minimum mesafe esaslı izlediği rota

Tıbbi atıkların hastanelerden toplanıp, Odayeri tıbbi atık yakma ve sterilizasyon tesisine taşınmasında maksimum güvenlikte turunu tamamlayan gezgin satıcı problemi için amaç fonksiyonu için matematiksel model aşağıda verilmiştir.

$$Z_{2max} = \sum_i^N \sum_j^N G_{ij} \cdot x_{ij} \quad (4.6)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (4.7)$$

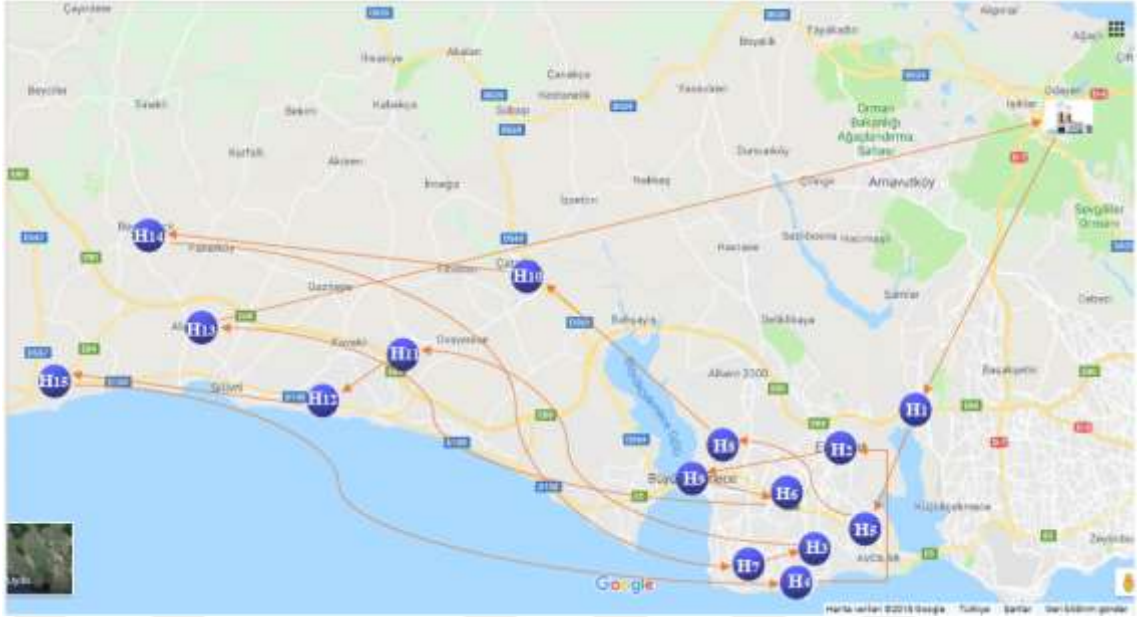
$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1 \quad \forall_i \quad (4.8)$$

$$\sum_{j \in S} \sum_{i \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset N, \quad |S| \geq 2 \quad (4.9)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall_{i,j} \quad (4.10)$$

Burada; (4.6) eşitliği, güvenlik skorlarını maksimize edip tıbbi atıkların maksimum güvenlikte taşınmasını sağlayan amaç fonksiyonudur. (4.7) ve (4.8), her bir hastaneye bir kez gidileceğini ve her hastaneden bir kez çıkılacağını belirten kısıttır, (4.9) ve (4.10), oluşabilecek alt turları engellemek için yazılan kısıtlardır.

Şekil 4.7’de gösterilen, 15 hastaneden toplanan tıbbi atıkların maksimum güvenlik odaklı taşınması için güvenlik skoru düşük olan hastaneye öncelik vererek sırasıyla, **$O \rightarrow H_1 \rightarrow H_5 \rightarrow H_8 \rightarrow H_{10} \rightarrow H_{14} \rightarrow H_7 \rightarrow H_3 \rightarrow H_{11} \rightarrow H_{12} \rightarrow H_{15} \rightarrow H_4 \rightarrow H_2 \rightarrow H_9 \rightarrow H_6 \rightarrow H_{13} \rightarrow O$** rotasını izleyerek 104,56 güvenlik skoru ile turunu tamamlamıştır.



Şekil 4.7 Tıbbi atık toplama aracının maksimum güvenlik esaslı izlediği rota

4.4 Üyelik Fonksiyonu ile Optimizasyon

Amaç fonksiyonlarının optimum değerleri elde edildikten sonra, doğrusal programlama modeli yaklaşımı ile çözüm aşamasına geçilmiştir. Öncelikle, her amacın üyelik fonksiyonlarını oluşturabilmek için amaç fonksiyonlarının alabileceği alt ve üst sınır değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple, her amaç fonksiyonunun çözülmesi ile elde edilen rotalardaki değerleri diğer amaç fonksiyonunda yerine konularak Tablo 4.9 elde edilmiştir.

Tablo 4.9 Amaç fonksiyonları optimum değerleri ve diğer amaç fonksiyonundaki sonuçları

	Optimum sonuç	Diğer amaç fonksiyonundaki sonucu
1. Amaç Fonksiyonu (Z_{1min})	188,05	349,5

Tablo 4.9 Amaç fonksiyonları optimum değerleri ve diğer amaç fonksiyonundaki sonuçları (devamı)

	Optimum sonuç	Diğer amaç fonksiyonundaki sonucu
2. Amaç Fonksiyonu (Z_{2max})	104,56	32,36

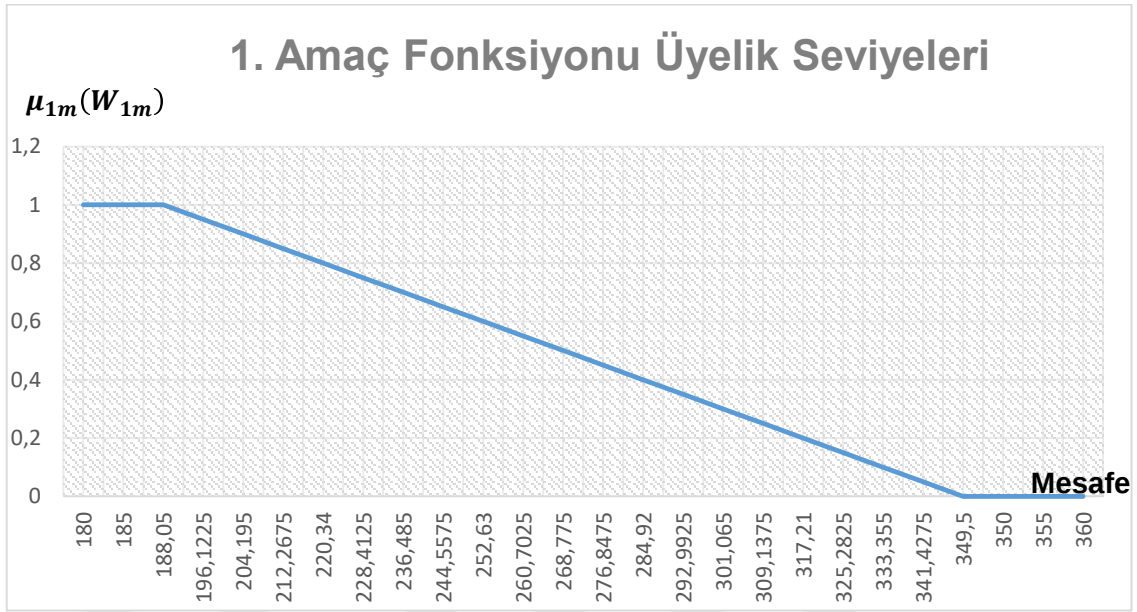
Tıbbi atıkların minimum mesafede taşınması sağlayan 1. amaç fonksiyonunun için en iyi $W_{1m}^{min}=188,05$ ve en kötü $W_{1m}^{max}= 349,5$ üyelik fonksiyonları (4.11)'deki gibi oluşturulmuştur.

$$\mu_{1m}(W_{1m}) = \begin{cases} 0 & ; & W_{1m} \geq W_{1m}^{max} \\ \frac{W_{1m}^{max} - W_{1m}}{W_{1m}^{max} - W_{1m}^{min}} & ; & W_{1m}^{min} < W_{1m} < W_{1m}^{max} \\ 1 & ; & W_{1m} \leq W_{1m}^{min} \end{cases} \quad (4.11)$$

Değerleri yerine yazarsak;

$$\mu_{1m}(W_{1m}) = \begin{cases} 0 & ; & W_{1m} \geq 349,5 \\ \frac{349,5 - W_{1m}}{349,5 - 188,05} & ; & 188,05 < W_{1m} < 349,5 \\ 1 & ; & W_{1m} \leq 188,05 \end{cases} \quad (4.12)$$

Z_{1min} 1.amaç fonksiyonu için Şekil 4.8'deki üyelik sevipleri elde edilir.



Şekil 4.8 Z_{1min} için üyelik fonksiyonu grafiği

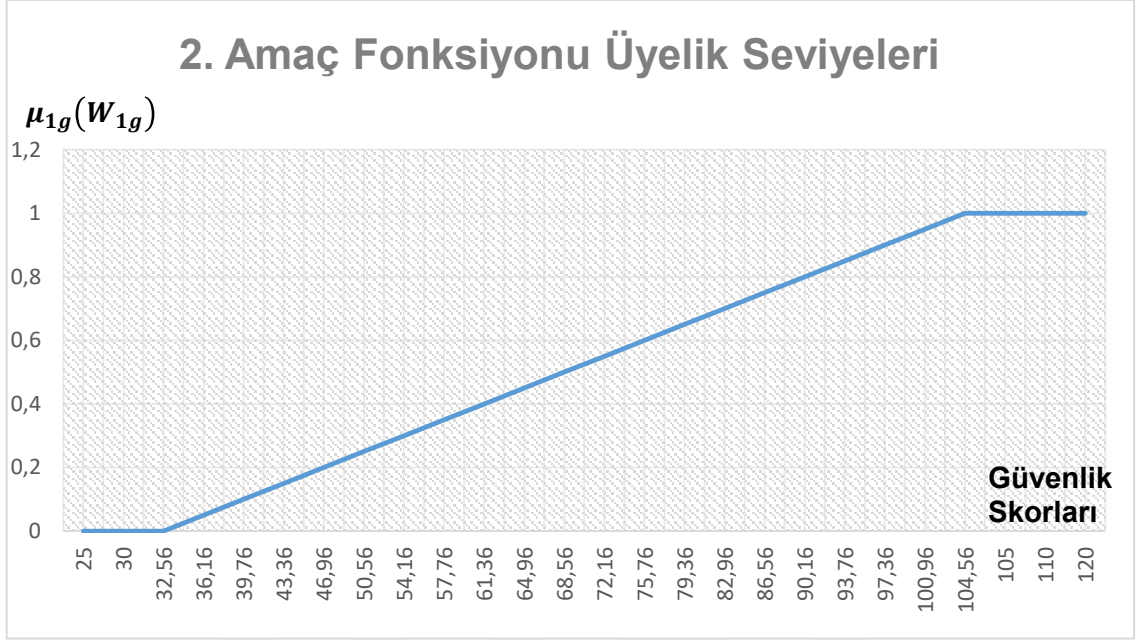
Tıbbi atıkların maksimum güvenlikte taşınması sağlayan 2. amaç fonksiyonunun için en iyi $W_{1g}^{max}=104,56$ ve en kötü $W_{1g}^{min}= 32,56$ üyelik fonksiyonları (4.13)'deki gibi oluşturulmuştur.

$$\mu_{1g}(W_{1g}) = \begin{cases} 0 & ; & W_{1g} \leq W_{1g}^{min} \\ \frac{W_{1g} - W_{1g}^{min}}{W_{1g}^{max} - W_{1g}^{min}} & ; & W_{1g}^{min} < W_{1g} < W_{1g}^{max} \\ 1 & ; & W_{1g} \geq W_{1g}^{max} \end{cases} \quad (4.13)$$

Değerleri yerine yazarsak;

$$\mu_{1g}(W_{1g}) = \begin{cases} 0 & ; & W_{1g} \leq 32,56 \\ \frac{W_{1g} - 32,56}{104,56 - 32,56} & ; & 32,56 < W_{1g} < 104,56 \\ 1 & ; & W_{1g} \geq 104,56 \end{cases} \quad (4.14)$$

Z_{2max} 2.amaç fonksiyonu için Şekil 4.9'daki üyelik sevipleri elde edilir.



Şekil 4.9 Z_{2max} için üyelik fonksiyonu grafiği

Her bir amaç fonksiyonu için yazılan üyelik fonksiyonları λ değerlerinden küçük veya eşit olması kısıtları (4.18) ve (4.19) eklendikten sonra λ değerinin maksimize edilmesi amaç fonksiyonu, önceki modellerde belirtilen kısıt seti için tekrar çözdürülmüştür. Bulunan (4.15)'deki λ değerleri bulanık optimum karar mantığı ile en iyi uzlaşık çözümü verecektir.

$$\max \lambda \quad (4.15)$$

Kısıtlar:

$$W_{1m} = \sum_i^N \sum_j^N d_{ij} \cdot y_{ij} \quad (4.16)$$

$$W_{1g} = \sum_i^N \sum_j^N G_{ij} \cdot x_{ij} \quad (4.17)$$

$$\frac{W_{1m}^{max} - W_{1m}}{W_{1m}^{max} - W_{1m}^{min}} \leq \lambda \quad (4.18)$$

$$\frac{W_{1g} - W_{1g}^{min}}{W_{1g}^{max} - W_{1g}^{min}} \leq \lambda \quad (4.19)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (4.20)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1 \quad \forall_i \quad (4.21)$$

$$\sum_{j \in S} \sum_{i \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset N, \quad |S| \geq 2 \quad (4.22)$$

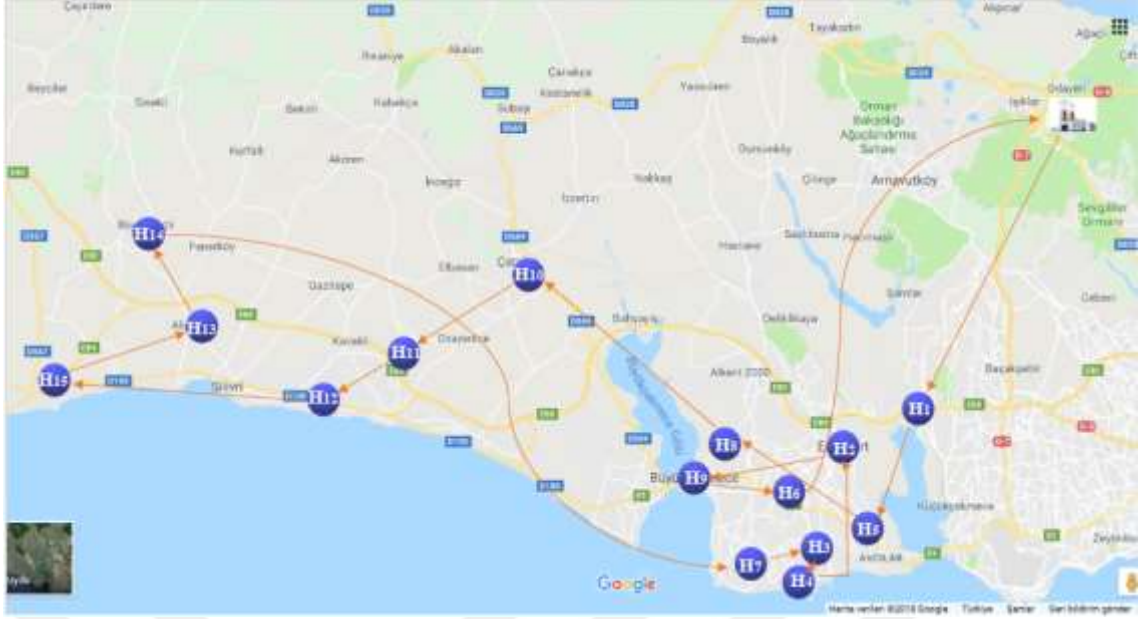
$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall_{i,j} \quad (4.23)$$

Elde edilen çözümdeki genel tatmin seviyesi λ , 0.644 olarak bulunmuş ve amaç fonksiyonlarının aldıkları değerler ve tatmin seviyeleri Tablo 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10 Optimum değerler

Optimum Değerleri	
$\lambda=0,644$	
1. Amaç Fonksiyonu (Z_{1min})	235,750
2. Amaç Fonksiyonu (Z_{2max})	78,83

Sonuç olarak iki amaç fonksiyonu da bir biri ile ödünleşerek, 235,75 km mesafe ve 78,83 güvenlik skoru ile Şekil 4.10'da gösterilen $O \rightarrow H_1 \rightarrow H_5 \rightarrow H_8 \rightarrow H_{10} \rightarrow H_{11} \rightarrow H_{12} \rightarrow H_{15} \rightarrow H_{13} \rightarrow H_{14} \rightarrow H_7 \rightarrow H_3 \rightarrow H_4 \rightarrow H_2 \rightarrow H_9 \rightarrow H_6 \rightarrow O$ rotasını izlemiştir.



Şekil 4.10 Tıbbi atık toplama aracının optimum turu

Amaç fonksiyonlarının kodlanması ve çözümü Gams 23.5.1 paket programı ile yapılmıştır. Hesaplamalar, Intel® Core™ i5-7200U CPU @ 2.50 GHz işlemcili, 8.00 GB RAM'li bilgisayarda, 1. Amaç fonksiyonu 2,26 sn'de, 2. Amaç fonksiyonu 1.81 sn'de ve λ değerinin maksimize edilmesi amaç fonksiyonu 2,41 sn'de yapılmıştır.

4.5 Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tıbbi atık lojistiği süreç iyileştirilmesi hiyerarşisinde yer alan kriterlerin ikili karşılaştırmaları yapıldığında **“Toplama”** kriterinin %78, **“Geçici Depolama”** kriterinin %15, **“Taşıma”** kriterinin %7 oranında etkili olduğu tespit edilmiştir. Burada güvenlik skorlarının belirlenmesinde en önemli ölçütün **“Toplama”** kriteri, daha sonra **“Geçici Depolama”** kriteri ve son olarak **“Taşıma”** kriteri olduğu görülmektedir. He ve ark. (2016) çalışmasında, tıbbi atık lojistiğinde en riskli sürecinin toplama süreci olduğundan bahsetmiştir. Güvenlik skorunun belirlenmesinde en büyük etkiye **“Toplama”** kriteri sahip olduğundan, tıbbi atık lojistiğinde en riskli süreç olarak nitelendirilebilir. He ve ark. (2016) çalışması ile çalışmamızda önerdiğimiz modelin sonuçlarını karşılaştırdığımızda, iki çalışmada da en önemli kriterin **“Toplama”** kriteri olduğundan, bu çalışma ile He ve ark. (2016) çalışmasının sonuçları tutarlılık göstermektedir.

Tıbbi atık lojistiğinde “**Toplama**” kriterinin alt kriterlerinin, hastane güvenlik skorları elde edilirken etkileri sırasıyla “**Hastane Personeli Üzerine Etkisi**” alt kriterinin %52, “**Hastalar Üzerine Etkisi**” alt kriterinin %11, “**3. Kişiler Üzerine Etkisi**” alt kriterinin %7, “**Kaynağında ayrı ve yönetmeliğe uygun toplanması**” alt kriterinin %8 olmaktadır. Diğer bir kriter olan, tıbbi atık lojistiğinde “**Geçici Depolama**” kriterinin alt kriterlerinin hastane güvenlik skorları elde edilirken etkileri sırasıyla “**Deponun Hacmi**” alt kriterinin %7, “**Deponun Giriş-Çıkış Rahatlığı**” alt kriterinin %4, “**Deponun Uygunluğu**” alt kriterinin %4 olmaktadır. Üçüncü kriter olarak, tıbbi atık lojistiğinde, “**Taşıma**” kriterinin alt kriterlerinin hastane güvenlik skorları elde edilirken etkileri sırasıyla, “**Çevreye Etkisi**” alt kriterinin %1, “**Güzergahın Nüfusa Etkisi**” alt kriterinin %1, “**Lojistik Personeline Etkisi**” alt kriterinin % 4 ve “**Hava Koşulları**” alt kriterinin %1 olmaktadır.

Her bir alt kriterin % etkisi ile incelenen bölgedeki 15 hastane için alt kriterlerin almış olduğu uygunluk dereceleri ilişkilendirilerek, tıbbi atık lojistiğinde güvenlik skorları küçükten büyüğe doğru $H_1 (5,02) \rightarrow H_5 (5,4) \rightarrow H_8 (5,67) \rightarrow H_{10} (6,01) \rightarrow H_{14} (6,04) \rightarrow H_7 (6,32) \rightarrow H_3 (6,63) \rightarrow H_{11} (7) \rightarrow H_{12} (7,13) \rightarrow H_{15} (7,21) \rightarrow H_4 (7,67) \rightarrow H_2 (7,74) \rightarrow H_9 (8) \rightarrow H_6 (8,7) \rightarrow H_{13}(9)$ şeklinde sıralanmıştır. H_{13} tıbbi atıkların en güvenli lojistiğinin gerçekleştiği hastane olurken, H_1 ise tıbbi atık lojistiği için en riskli hastane olmuştur.

Çalışmamızda güvenlik skoru en düşük, dolayısıyla tıbbi atık lojistiğinde en riskli H_1 , H_5 ve H_8 hastanelerinde, “**Toplama**” kriterinin en önemli alt kriteri olan “**Hastane Personeli Üzerine Etkisi**” alt kriterinin uygunluk değerleri sırasıyla 4, 6 ve 4 ile diğer hastanelerin uygunluk değerlerinden daha düşüktür. Dolayısıyla bu hastanelerde kaza ve maddi kayıplar yaşanmaması ve hastane personelinin eksikliklerden etkilenmemesi için, tıbbi atıkların toplanması sürecinde hastane personeli üzerine etkileri gözden geçirilerek iyileştirilmesi gerekmektedir. Özellikle batma, delme, sıyrık gibi yaralanmalara neden olabilecek kesici atıkların plastik veya aynı özelliklere sahip lamine kartondan yapılmış kutu veya konteynerler içerisinde toplanması sağlanmalıdır. Ayrıca bu hastanelerde çalışan personellere,

tıbbi atık lojistiği konusunda eğitimler düzenlenmeli ve kişisel koruyucu ekipmanların tam ve eksiksiz kullanımı sağlanmalıdır. Öte yandan en güvenli dolayısıyla en az riskli H_9 , H_6 ve H_{13} hastanelerinde ise aynı alt kriter sırasıyla 9, 9 ve 10 ile diğer hastanelerdekinden daha yüksektir. Bu sonuçlar, “**Toplama**” kriterinin önemini literatürde geçen diğer çalışmalarla örtüştüğünü bir kez daha ortaya koymaktadır.

Literatür bölümümüzde vurgulandığı gibi, Birpınar ve ark. (2009) çalışmasında hastanelerden tıbbi atıkların toplanmasında %75 oranında uygun kapların ve %77 oranında uygun ekipmanların kullanıldığından bahsetmiştir. Bu çalışmadan çıkan sonuçlar ile önerdiğimiz modelin sonuçlarını karşılaştırdığımızda, “**Toplama**” kriterinin en önemli alt kriteri “**Hastane Personeli Üzerine Etkisi**” 15 hastane için 1-10 arası puan skalasına göre, toplam 150 üzerinden 108 değeri alarak, %72’lik bir uygunluk değeri elde edilmiştir. Ayrıca Yong ve ark. (2009) çalışmalarında yaptıkları ankete göre hastanelerin %80’inde tıbbi atık toplama için vasıflı personel kullanıldığı belirtilerek benzer bir tespitte bulunmuştur. Dolayısıyla önerdiğimiz modelin sonuçları, Birpınar ve ark. (2009) ve Yong ve ark. (2009) çalışmalarının sonuçları ile de tutarlılık göstermektedir.

Literatür ile bir diğer benzerlik de “**Geçici Depolama**” kriteri sonuçlarıdır. Birpınar ve ark. (2009), çalışmasında hastanelerin %63’ünde geçici tıbbi atık depolarına sahip olduğu belirtilmiş olup, bizim çalışmamızda da hastanelerin bu kriter ile ilgili uygunluk skorlarının toplamı 277 ve en yüksek değer %61,5’ine karşılık gelmektedir.

Önerdiğimiz model literatürdeki benzerliklere ek olarak, hastanelerin toplam güvenlik skorları yüksek olsa da belirli kriterlerdeki eksiklikler de tespit etmemize yardımcı olabilmektedir. Örneğin, H_6 hastanesi güvenlik skoru sıralamasında en iyi ikinci hastane olmasına rağmen, “**Deponun Giriş-Çıkış Rahatlığı**” alt kriterinin uygunluk değeri 1’dir. Benzer şekilde, H_3 hastanesinin güvenlik sıralamasında ortalarda olmasına rağmen, geçici tıbbi atık deposunun “**Deponun Hacmi**” alt kriterinin ve “**Deponun Giriş-Çıkış Rahatlığı**” alt kriterinin uygunluk değerleri oldukça düşüktür. Ayrıca bu eksiklikler, tıbbi atık taşıma araçlarının geçici tıbbi atık depolarına yanaşamadığı için, tıbbi atıkların, tıbbi atık taşıma aracına götürülürken

çevreye yayılma riski ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla bu hastanelerin acilen geçici tıbbi atık depolarını, araç giriş-çıkışı rahat olan bir yere taşımaları gerekmektedir. Ayrıca H_3 hastanesinin, en az iki günlük tıbbi atığı geçici olarak depo edebileceği kadar hacminin arttırılması gerekmektedir.

Sonuç olarak çalışmamızda elde ettiğimiz model, daha önce tıbbi atık lojistiği üzerine farklı yöntemler ile elde edilmiş çalışmalar ile tutarlılık göstermektedir. Ayrıca tıbbi atık lojistiği çok kriterli değerlendirmemize imkan sağlayarak daha kapsamlı bir inceleme yapılmasına olanak sağlamaktadır. Örneğin H_3 hastanesinin güvenlik skorunun oldukça yüksek olmasına rağmen geçici tıbbi atık deposunun uygun olmadığını belirlememize yardımcı olabilmektedir. Bu sayede hastanelerin tıbbi atık lojistiğinde genel güvenlik skorlarının belirlenmesinin yanı sıra, tıbbi atık lojistiğindeki risklerin güvenliği belirlenerek, güvenliği düşük olan kriterler için önlemler alınmasında yardımcı olmaktadır.

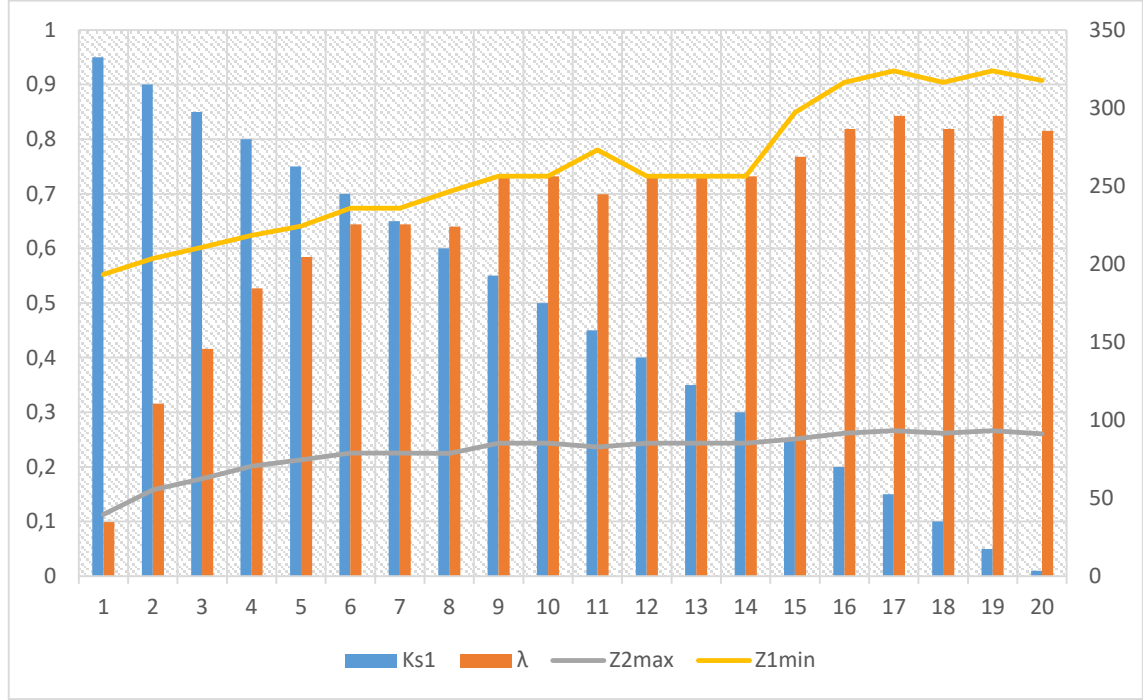
Öte yandan tıbbi atıkların bertaraf tesisine taşınması sürecindeki sonuçlar incelendiğinde, tıbbi atık toplama aracı sadece minimum mesafe esaslı tıbbi atıkları toplanması durumunda, Şekil 4.6'da gösterilen $O \rightarrow H_1 \rightarrow H_2 \rightarrow H_5 \rightarrow H_3 \rightarrow H_4 \rightarrow H_6 \rightarrow H_7 \rightarrow H_8 \rightarrow H_9 \rightarrow H_{11} \rightarrow H_{12} \rightarrow H_{15} \rightarrow H_{14} \rightarrow H_{13} \rightarrow H_{10} \rightarrow O$ rotasını izleyerek 188,05 km ile turunu tamamlamaktadır. Ancak bu durumda tıbbi atıklar oldukça güvensiz taşınmakta ve güvenlik skoru 32,36 olmaktadır.

Bu araç sadece güvenlik esaslı tıbbi atıkları bertaraf tesisine taşınması durumunda Şekil 4.7'de gösterilen $O \rightarrow H_1 \rightarrow H_5 \rightarrow H_8 \rightarrow H_{10} \rightarrow H_{14} \rightarrow H_7 \rightarrow H_3 \rightarrow H_{11} \rightarrow H_{12} \rightarrow H_{15} \rightarrow H_4 \rightarrow H_2 \rightarrow H_9 \rightarrow H_6 \rightarrow H_{13} \rightarrow O$ rotasını izleyerek 104,56 güvenlik skoru ile turunu tamamlamaktadır. Bu durumda da tıbbi atık toplama aracının kat ettiği mesafe 349,5 km olmaktadır. Aracın kat ettiği bu mesafe çevre ve insan sağlığı açısından da riskli bir durum olmakla birlikte oldukça maliyetlidir.

Çalışmamızda elde ettiğimiz uzlaşık çözümde ise iki amaç fonksiyonu da bir biri ile ödünleşerek, Şekil 4.10'da gösterilen 235,75 km ve 78,83 güvenlik skoru ile $O \rightarrow H_1 \rightarrow H_5 \rightarrow H_8 \rightarrow H_{10} \rightarrow H_{11} \rightarrow H_{12} \rightarrow H_{15} \rightarrow H_{13} \rightarrow H_{14} \rightarrow H_7 \rightarrow H_3 \rightarrow H_4 \rightarrow H_2 \rightarrow H_9 \rightarrow H_6 \rightarrow O$ rotasını izlemiştir. Bu izlediği rotada minimum mesafe esaslı 1.amaç fonksiyonuna göre mesafe 47,7 km artarken, buna karşılık güvenlik skoru

46,47 artmıştır. Buda tıbbi atıkların güvenli lojistiği açısından oldukça önemli bir artıştır.

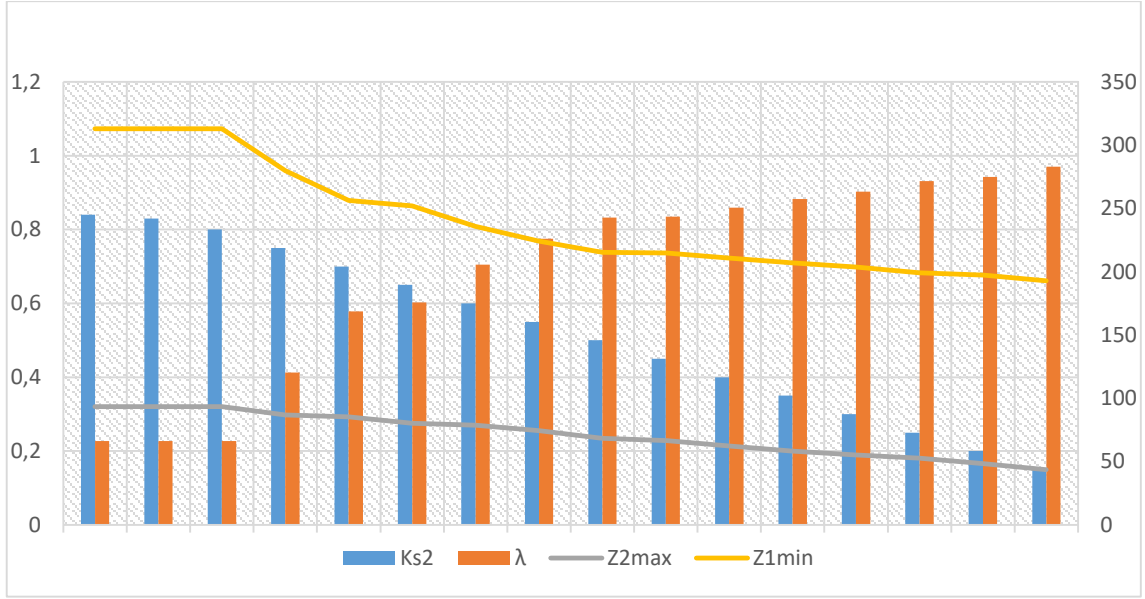
Şekil 4.11’de, modelimizde kullandığımız kısıt (4.18)’e 0 ile 1 arasında büyükten küçüğe doğru farklı değerler verilerek, amaç fonksiyonlarının ve λ değerinin sonuçları analiz edilmiştir.



Şekil 4.11 Kısıt (4.18) analizi

Kısıt (4.18)’e, örneğin 0,95 değeri verildiğinde, 193,35 km mesafe ve 39.480 güvenlik skoru ile $O \rightarrow H_{10} \rightarrow H_{11} \rightarrow H_{12} \rightarrow H_{15} \rightarrow H_{14} \rightarrow H_{13} \rightarrow H_9 \rightarrow H_8 \rightarrow H_7 \rightarrow H_6 \rightarrow H_3 \rightarrow H_4 \rightarrow H_2 \rightarrow H_1 \rightarrow H_5 \rightarrow O$ rotasını izleyerek turunu tamamlamıştır. Bu izlediği rota, Tablo 4.10’da verilen uzlaşık çözümde elde ettiğimiz sonuca göre, 42,4 km yolunu kısaltırken, 39,35 güvenlik skorunu düşürmüştür. Bu sayede modelimiz daha çok mesafe odaklı tıbbi atıkları toplamaktadır.

Şekil 4.12’de, modelimizde kullandığımız kısıt (4.19)’a 0 ile 1 arasında büyükten küçüğe doğru farklı değerler verilerek, amaç fonksiyonlarının ve λ değerinin sonuçları analiz edilmiştir.



Şekil 4.12 Kısıt (4.19) analizi

Kısıt (4.19)'a, örneğin 0,8 değeri verildiğinde, 312,9 km ve 93.52 güvenlik skoru ile $O \rightarrow H_1 \rightarrow H_5 \rightarrow H_8 \rightarrow H_{10} \rightarrow H_{11} \rightarrow H_{12} \rightarrow H_{15} \rightarrow H_4 \rightarrow H_2 \rightarrow H_9 \rightarrow H_6 \rightarrow H_{13} \rightarrow H_{14} \rightarrow H_7 \rightarrow H_3 \rightarrow O$ rotasını izleyerek turunu tamamlamıştır. Bu izlediği rota, Tablo 4.10'da verilen uzlaşık çözümde elde ettiğimiz sonuca göre, 77,15 km yolunu uzatırken, 14,69 güvenlik skorunu artmıştır. Bu sayede modelimiz daha çok güvenlik odaklı tıbbi atıkları toplamaktadır. Sonuç olarak, önerdiğimiz model mesafe öncelikli veya güvenlik skoru öncelikli kullanım olanağı da sunmuştur.

Kısıt (4.18)'e, 0,95 değeri verildiğinde, Tablo 4.10'da elde ettiğimiz uzaklık çözümümüz ile yüzdesel olarak kıyaslandığında, % 49,9 güvenlik skoru azalırken, mesafe sadece % 17,9 kısalmıştır. Kısıt (4.19)'a 0,8 değeri verildiğinde, Tablo 4.10'da elde ettiğimiz uzaklık çözümümüz ile kıyaslandığında, % 32,7 mesafe artarken, güvenlik skoru sadece % 18,6 artmıştır. Bu sonuçlarda uzlaşık çözümümüzde elde ettiğimiz değerlerin, diğer çözümlerden daha optimum olduğunu göstermektedir.

Gelişmekte olan ülkelerde sağlık hizmetlerinden üretilen atıklara uygun olmayan muamele ve nihai bertaraf uygulamaları ciddi endişeler doğurmuştur. Bu çalışma kapsamında, Türkiye de dahil olmak üzere gelişmekte olan ülkelerin en büyük ortak sorunlarından biri olan tıbbi atık lojistiği, hem literatürde sıkça rastladığımız minumum mesafe odaklı hem de literatürde pek az rastladığımız iş sağlığı ve güvenliği odaklı ele alınmıştır.

Tıbbi atıkların toplanması, geçici depolanması, taşınması ve bertaraf edilmesi sırasında toplumu ve çevreyi belirli bir riske maruz bırakmaktadır. Tıbbi atık lojistiğinin temel hedefi, insan sağlığı ve çevreye zarar vermeden en güvenli ve en ekonomik yolla atıkların toplanması, taşınması ve miktar ve hacminin azaltılarak güvenli bir şekilde bertaraf edilmesidir. Bu çalışmada Türkiye'nin en kalabalık şehri olan İstanbul üzerinde bir uygulama yaparak, tıbbi atık lojistiğinin en güvenli ve en kısa mesafe ile taşınmasını sağlayan bir model önerilmiştir.

İlk olarak iş sağlığı ve güvenliği açısından tıbbi atık lojistiği aşamaları belirlenerek, hiyerarşik bir yapı oluşturulmuştur. Daha sonra İstanbul ilinde incelediğimiz bölgedeki 15 hastanenin tıbbi atık sorumlularına başvurularak AHP yöntemi ile hiyerarşik yapı içindeki her kriter için kıyaslama matrisleri oluşturulmuş ve ağırlıklandırılmıştır. Bu ağırlıklandırmada, 15 hastanenin tıbbi atık sorumlularının kıyaslama matrislerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Aynı zamanda 15 hastanenin tıbbi atık sorumlularına, hiyerarşik yapı içindeki alt kriterlerin hastanelerinde iş sağlığı ve güvenliği açısından uygunluğu sorulmuş ve 1-10 arasında puanlandırılmıştır. Puanlandırılan hastaneler, AHP yöntemi ile elde edilen alt kriterlerin genel ağırlıkları ile ilişkilendirilerek her hastane için güvenlik skorları elde edilmiştir. Elde edilen güvenlik skorları, çok amaçlı hale getirilen gezgin satıcı problemi içinde kullanılarak tıbbi atık lojistiği güvenliği ve toplam taşıma mesafesi optimizasyonunu esas alan iki amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu amaç

fonksiyonları için üyelik fonksiyonları yaklaşımı kullanılarak ödünleşen bir model kurulmuştur. Model çözülerek hem mesafe için hem de güvenlik skorları için uzlaşık bir çözüm elde edilmiştir.

Tıbbi atık toplama aracı **O** ile temsil ettiğimiz bertaraf tesisinden çıktıktan sonra mesafeleri de baz alarak öncelikle güvenlik skoru 5,02 ile en düşük olan **H₁** hastanesine uğramış devamında hastanelerin mesafelerini de baz alarak güvenlik skoru düşük olan hastaneye öncelik vererek, güvenlik skorları sırasıyla **5,02 → 5,4 → 5,67 → 6,01 → 7 → 7,3 → 7,21 → 9,02** ile gidiş turunu tamamlamıştır. Dönüş turunda da aynı şekilde mesafeleri de baz alarak **H₁₃** hastanesinde iken kalan hastaneler arasında güvenlik skoru 6,04 ile en düşük olan **H₁₄** hastanesine öncelik vermiş, daha sonra sırasıyla güvenlik skoru düşük olan hastanelere öncelik vererek, güvenlik skorları sırasıyla **6,04 → 6,32 → 6,63 → 7,67 → 7,74 → 8 → 8,87** olan hastanelere uğrayarak **O** noktasına dönüp tam turunu tamamlamıştır. Bu sayede hem gidiş turunda hem de dönüş turunda hem kısa mesafe hem de güvenli tur esaslı, güvenliği düşük olan hastanelerin mesafesini de dikkate alarak öncelik vermiş, tıbbi atıklar olabildiğince mesafe ve güvenlik odaklı toplanmıştır.

Tıbbi atık lojistiğinde güvenlik skorunun belirlenmesi için, çalışma kapsamında görüşülen sağlık kurumu yetkililerinden gelen görüşlerin sentezlenmesi sonucunda “**Toplama**” kriteri, “**Geçici Depolama**” ve “**Taşıma**” kriterlerine kıyasla baskın şekilde önde yer almıştır. “**Toplama**” kriterinin alt kriterlerinden “**Hastane Personeli Üzerine Etkisi**” ise en yüksek değer alan alt kriter olmuştur. Bu da, depolamadan taşımaya geçişteki toplama aşaması, insan-atık temasından doğan riskler açısından öncelikli olarak ele alınması gereken bir konu olduğunu göstermektedir.

Tıbbi atık lojistiğinin güvenliği konusunda kısıtlı sayıda çalışma olduğu ve bu atıkların başta insan sağlığı olmak üzere çevre açısından da taşıdığı riskler göz önüne alındığında, literatürdeki eksiklik halen devam etmektedir. Geliştirdiğimiz model, hastanelerin tıbbi atık yönetiminde lojistik süreçlerin güvenliğinin skorlarının belirlenmesini sağlamaktadır. Elde edilen güvenlik skorları hastane mesafeleri ile ilişkilendirilerek, çok amaçlı uzlaşık çözüm elde edilerek hem mesafe hem de güvenlik odaklı tıbbi atıkların toplanması önerilmiştir.

İstanbul'da karşılaşılan ve sağlık kuruluşlarında kaynaklanan tıbbi atıkların lojistiğinin çözümüne yönelik olarak önerilen bu model spesifik bir bölge için uygulanmıştır. İstanbul ilinde tıbbi atıkların maksimum güvenlikte ve minimum mesafede taşınmasına yönelik olarak önerilen bu model, oldukça esnek olup farklı bölgeler veya farklı sektörler içinde uygulanabilir.



- Aarts, E. H., & Lenstra, J. K. (1997). *Local Search in Combinatorial Optimization*. London: Wiley Interscience.
- Ahmed, Z. H. (2010). Genetic Algorithm for the Traveling Salesman Problem Using Sequential Constructive Crossover Operator. *International Journal of Biometrics and Bioinformatics* 3 (6), 96-105.
- Ahuja, R. K., Magnanti, T. L., & Orlin, J. B. (1993). *Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications*. Cambridge: Prentice Hall.
- Alagöz, A. Z., & Kocasoy, G. (2008). Determination of the best appropriate management methods for the health-care wastes in İstanbul. *Waste Management* 28 (7), 1227-1235.
- Alagöz, A. Z., & Kocasoy, G. (2008). Improvement and modification of the routing system for the health-care waste collection and transportation in İstanbul. *Waste Management* 28(8), 1461-1471.
- Alumur, S., & Kara, B. Y. (2007). A new model for the hazardous waste location-routing problem. *Computers & Operations Research* 34, 1406-1423.
- Applegate, D., Bixby, R., Chvatal, V., & Cook, W. (1995). *Finding cuts in the TSP (A preliminary report)*. DIMACS, Tech. Report.
- Augustine, J. E. (2002, December). Offline and Online Variants of the Traveling Salesman Problem. Baton Rouge.
- Bentley, J. L. (1990). Experiments on traveling salesman heuristics. *SIAM Philadelphia*, 91-99.
- Birpınar, M. E., Bilgili, M. S., & Erdoğan, T. (2009). Medical waste management in Turkey: A case study of İstanbul. *Waste Management* 29(1), 445-448.
- Blanc, C. T., & Torrubia, M. G. *eMathTeacher: Mamdani's Fuzzy Inference Method*. <http://www.dma.fi.upm.es>:

http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/fuzzy_inferencia/main_en.htm adresinden alındı (Erişim tarihi: 05.10.2019)

- Bryant, K. (2000). *Genetic Algorithms and the Traveling Salesman Problem*. Harvey Mudd College.
- Buckley, J. J. (2003). *Fuzzy Probabilities, New Approach and Applications*. New York: Physica-Verlag.
- Buhrkal, K., Larsen, A., & Ropke, S. (2012). The waste collection vehicle routing problem with time windows in a city logistics context. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 39, 241-254.
- Cambazard, H., & Catusse, N. (2018). Fixed-parameter algorithms for rectilinear Steiner tree and rectilinear traveling salesman problem in the plane. *European Journal of Operational Research* 270 (2), 419-429.
- Cárdenas-Montes, M. (2018). Creating hard-to-solve instances of travelling salesman problem. *Applied Soft Computing* 71, 268-276.
- Cevre, U., Barış, Ö., & Uğur, A. (2007). Gezgin Satıcı Probleminin Genetik Algoritmalarla Eniyilemesi ve Etkileşimli Olarak İnternet Üzerinde Görselleştirilmesi. *XI I. "Türkiye'de İnternet "Konferansı*, (s. 8-10). Ankara.
- Chartier, Y., Emmanuel, J., Pieper, U., Prüss, A., Rushbrook, P., Stringer, R., ... Zghondi, R. (2014). *Safe management of wastes from health-care activities*. Geneva: World Health Organization.
- Coelho, L. M., Lange, L. C., & Coelho, H. M. (2017). Multi-criteria decision making to support waste management: A critical review of current practices and methods. *Waste Management & Research* 35(1), 3-28.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2017, Ocak 25). *Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği*. Ankara, Türkiye.
- Çınar, V. (2010, Ocak 27). *An evolutionary approach to the traveling salesman problem with pickup and delivery based on depot insertion and removal moves*. İstanbul, Türkiye.

- Dantzig, G. B., Fulkerson, D. R., & Johnson, S. M. (1954). Solution of a Large Scales Traveling Salesman Problem. *Operations Research* 2, 393-410.
- Delmonico, D. V., Santos, H. H., Pinheiro, M. A., de Castro, R., & de Souza, R. M. (2018). Waste management barriers in developing country hospitals: Case study and AHP analysis. *Waste Management & Research* 36(1), 48-58.
- Dursun, M., Karsak, E. E., & Karadayi, M. A. (2011). Assessment of health-care waste treatment alternatives using fuzzy multi-criteria decision making approaches. *Resources Conservation and Recycling* 57, 98 - 107.
- Földesi, P., Tüü-Szabó, B., & Kóczy, L. T. (2018). Enhanced discrete bacterial memetic evolutionary algorithm - An efficacious metaheuristic for the traveling salesman optimization. *Information Sciences* 460-461, 389-400.
- Gazate, R. (2017, Ocak 25). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. *Tıbbi Atık Kontrolü Yönetmeliği*. Ankara, Türkiye.
- Gnanavelbabu, A., & Arunagiri, P. (2018). Ranking of MUDA using AHP and Fuzzy AHP algorithm . *Materials Today: Proceedings* 5, 13406-13412.
- Gusca, J., Kalnins, S. N., Blumberga, D., Bozhko, L., Khabdullina, Z., & Khabdullin, A. (2015). Assessment method of health care waste generation in Latvia and Kazakhstan. *Energy Procedia* 72, 175-179.
- Gutin, G., & Punnen, A. (2002). *The Traveling Salesman Problem and Its Variations*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Gutin, G., Yeo, A., & Zverovich, A. (2002). Traveling salesman should not be greedy: domination analysis of greedy-type heuristics for the TSP. *Discrete Applied Mathematics* 117 (1-3), 8186.
- He, Z.-g., Li, Q., & Fang, J. (2016). The solutions and recommendations for logistics problems in the collection of medical waste in China . *Procedia Environmental Sciences* 31, 447- 456.
- Helsagun, K. (2000). Theory and Methodology An Effective Implementation of the Lin-Kernighan Traveling Salesman Heuristic. *European Journal of Operational Research* 126, 106-130.

- Ho, C. C. (2011). Optimal evaluation of infectious medical waste disposal companies using the fuzzy analytic hierarchy process. *Waste Management* 31 (7), 1553-1559.
- Hong, J., Zhan, S., Yu, Z., Hong, J., & Qi, C. (2018). Life-cycle environmental and economic assessment of medical waste treatment. *Journal of Cleaner Production* 174, 65-73.
- Hsu, P.-F., Wu, C.-R., & Li, Y.-T. (2008). Selection of infectious medical waste disposal firms by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis. *Waste Management* 28(8), 1386-1394.
- Hyun, K.-C., Min, S., Choi, H., Park, J., & Lee, I.-M. (2015). Risk analysis using fault-tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicable to shield TBM tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology* 49, 121-129.
- Ishtiaq, P., Khan, S. A., & Haq, M. (2018). A multi-criteria decision-making approach to rank supplier selection criteria for hospital waste management: A case from Pakistan. *Waste Management & Research* 36 (4), 386-394.
- Junger, M., Reinelt, G., & Rinaldi, G. (1997). Annotated bibliographies in combinatorial optimization. M. Dell'Amico, F. Maffioli, & S. Martello içinde, *The traveling salesman problem* (s. 199–221). New York: Wiley.
- Kóczy, L. T., Földesi, P., & Tüü-Szabó, B. (2018). Enhanced discrete bacterial memetic evolutionary algorithm - An efficacious metaheuristic for the traveling salesman optimization. *Information Sciences* 460–461, 389-400.
- Komal. (2018). Fuzzy reliability analysis of DFSMC system in LNG carriers for components with different membership function. *Ocean Engineering* 155, 278-294.
- Kuruüzüm, A., & Atsan, N. (2001). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları. *Akdeniz İ.İ.B.F Dergisi* 1, 83-105.
- Lawler, E. L., Lenstra, J. K., Rinnooy Kan, A. H., & Shmoys, D. B. (1985). *The Traveling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization*. New York: Wiley.

- Lin, S. (1965). Computer Solutions of the Traveling Salesman Problem. *Bell System Technical Journal* 44(10), 2245-2269.
- Liu, J., Li, Q., & Wang, Y. (2013). Risk analysis in ultra deep scientific drilling project — A fuzzy synthetic evaluation approach. *International Journal of Project Management* 31(3), 449-458.
- Ly, P. T., Lai, W.-H., Hsu, C.-W., & Shih, F.-Y. (2018). Fuzzy AHP analysis of Internet of Things (IoT) in enterprises. *Technological Forecasting and Social Change* 136, 1-13.
- Menger, K. (1932). "Das Botenproblem". *Ergebnisse Eines Mathematischen Kolloquiums* 2 (s. 11-12). içinde Leipzig : Teubner.
- Muhuri, P. K., & Shukla, A. K. (2017). Semi-elliptic membership function: Representation, generation, operations, defuzzification, ranking and its application to the real-time task scheduling problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 60, 71-82.
- Nilsson, C. (2003). *Heuristics for the Traveling Salesman Problem*. Sweden: Linköping University.
- Öncan, T., Altinel, İ. K., & Laporte, G. (2009). A comparative analysis of several asymmetric traveling salesman problem formulations. *Computers & Operations Research* 36, 637-654.
- Özerol, İ. H. (2005). Tıbbi Atık Stratejileri Nelerdir? EN/ISO Normları Nelerdir? Avrupa'da Birlik? ABD'nin Yaklaşımı? Ülkemizde Durum? 4. *Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi*, (s. 434-472). Malatya.
- Padberg, M. W., & Rinaldi, G. (1991). A Branch-and-cut Algorithm for the Resolution of Large-scale Symmetric Traveling Salesman Problems. *SIAM Review* 33, 60-100.
- Patwary, M. A., O'Hare, W. T., & Sarker, M. H. (2011). Assessment of occupational and environmental safety associated with. *Safety Science* (49), 1200-1207.

- Qi, Y., He, J., Li, Y., Yu, X., Xiu, F.-R., Deng, Y., & Gao, X. (2018). A novel treatment method of PVC-medical waste by near-critical methanol: Dechlorination and additives recovery. *Waste Management* 80, 1-9.
- Rolewicz-Kalińska, A. (2016). Logistic constraints as a part of a sustainable Medical Waste Management System. *Transportation Research Procedia*, 473-482.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences* 1 (1), 83-98.
- Su, E. C., & Chen, Y. T. (2018). Policy or income to affect the generation of medical wastes: An application of environmental Kuznets curve by using Taiwan as an example. *Journal of Cleaner Production* 188, 489-496.
- Sun, L., Karwan, M. H., & Diaby, M. (2018). The indefinite period traveling salesman problem. *European Journal of Operational Research* 270, 1171-1181.
- Unutmaz Durmuşoğlu, Z. D. (2018). Assessment of techno-entrepreneurship projects by using Analytical Hierarchy Process (AHP). 41-46. *Technology in Society* 54, 41-46.
- Uysal, F., & Tinmaz, E. (2004). Medical waste management in Trachea region of Turkey: suggested remedial action. *Waste Management & Research* 22, 403-407.
- Verma, L. K., Mani, S., Sinha, N., & Rana, S. (2008). Biomedical waste management in nursing homes and smaller hospitals in Delh. *Waste Management* 28 (12), 2723-2734.
- Win, E. M., Saw, Y. M., Oo, K. L., Than, T. M., Cho, S. M., Kariya, T., . . . Hamajima, N. (2019). Healthcare waste management at primary health centres in Mon State, Myanmar: the comparisons between hospital and non-hospital type primary health centres. *Nagoya Journal of Medical Science* 81 (1), 81-91.
- Windfeld, E. S., & Brooks, M. S. (2015). Medical waste management - A review. *Journal of Environmental Management* 163, 98-108.

- Wong , W. K., & Lim , H. S. (2009, April). *intechopen*. <https://www.intechopen.com/:http://cdn.intechweb.org/pdfs/6326.pdf> adresinden alındı (Erişim tarihi: 16.08.2017)
- Yong, Z., Gang, X., Guanxing, W., Tao, Z., & Dawei, J. (2009). Medical waste management in China: A case study of Nanjing. *Waste Management* 29 (4), 1376 - 1382.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control* 8, 338-353.



GAMS Rev 235 WEX-VS8 23.5.1 x86/MS Windows 05/30/19 13:48:22 Page 1
General Algebraic Modeling System
Compilation

1 sets

2 i hastane /0*15/;

3

4 Alias(i,j,ii,jj);

5

6 Table d1(i,j)

7

8

9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

14 15

10 0 1 5.02 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

1 1

11 1 1 1 1 1 1 5.4 1 1 1 1 1 1 1

1 1

12 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 8 1 1 1

1 1

13 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 7 1 1

1 1

14 4 1 1 7.74 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

1 1

15 5 1 1 1 1 1 1 1 1 5.67 1 1 1 1

1 1

16 6 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 9.02

1 1

17 7 1 1 1 6.63 1 1 1 1 1 1 1 1 1

1 1

18 8 1 1 1 1 1 1 1 1 1 6.01 1 1 1

1 1

19 9 1 1 1 1 1 1 8.7 1 1 1 1 1 1

1 1
 20 10 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 6.04 1
 21 11 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 7.13 1
 1 1
 22 12 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 1 7.21
 23 13 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 1 1
 24 14 1 1 1 1 1 1 6.32 1 1 1 1 1 1
 1 1
 25 15 1 1 1 7.67 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 1 1
 26
 27
 28
 29 Table d2(i,j)
 30
 31 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1
 3 14 15
 32 0 0 38.7 41.2 42.5 42.8 42.1 44.6 46.5 46.5 49.8 53.5 68.6 72.3 7
 8 80.6 91
 33 1 38.7 0 1.8 5.2 5.3 8.8 4.8 6.6 7 10.1 29.9 32.1 37 4
 2.8 45.4 60.4
 34 2 41.2 1.8 0 5.2 5.4 9.2 4.4 6.3 6.2 9.8 31 32.6 46.1 4
 3.2 45.8 60.8
 35 3 42.5 5.2 5.2 0 0.75 5.2 3.6 6.2 6.2 9.5 26.7 28.3 33.2 3
 9 41.6 64.5
 36 4 42.8 5.3 5.4 0.75 0 5.8 2.7 4.4 5.6 9.8 27 28.6 42.1 3
 9.3 41.9 57.4
 37 5 42.1 8.8 9.2 5.2 5.8 0 9.6 10.7 10.7 14.8 32 33.6 47.1 4
 4.3 46.9 56
 38 6 44.6 4.8 4.4 3.6 2.7 9.6 0 3 3.4 6.7 23.8 25.5 30.4 3
 6.2 38.8 47.9
 39 7 46.5 6.6 6.3 6.2 4.4 10.7 3 0 1.6 4.9 24 25.7 39.2 3
 6.3 39 48.1
 40 8 46.5 7 6.2 6.2 5.6 10.7 3.4 1.6 0 3.8 24.3 25.9 40.4 3
 6.6 39.2 48.3

41 9 49.8 10.1 9.8 9.5 9.8 14.8 6.7 4.9 3.8 0 18.5 20.2 33.7 3
 0.8 33.5 42.6
 42 10 53.5 29.9 31 26.7 27 32 23.8 24 24.3 18.5 0 14.2 26.5 2
 3.6 27.4 35.3
 43 11 68.6 32.1 32.6 28.3 28.6 33.6 25.5 25.7 25.9 20.2 14.2 0 2.3 2
 .3 2 11.2
 44 12 72.3 37 46.1 33.2 42.1 47.1 30.4 39.2 40.4 33.7 26.5 2.3 0 3
 .7 2.5 9
 45 13 78 42.8 43.2 39 39.3 44.3 36.2 36.3 36.6 30.8 23.6 2.3 3.7 0
 1.7 13.6
 46 14 80.6 45.4 45.8 41.6 41.9 46.9 38.8 39 39.2 33.5 27.4 2 2.5 1
 .7 0 11
 47 15 91 60.4 60.8 64.5 57.4 56 47.9 48.1 48.3 42.6 35.3 11.2 9 1
 3.6 11 0
 48
 49 variable
 50 z
 51 z1
 52 z2
 53 u(i)
 54 u(j);
 55
 56 positive variables
 57
 58 A;
 59
 60 binary variables x;
 61
 62 equations
 63 amac
 64 amac1
 65 amac2
 66 k1
 67 k2
 68 ks1
 69 ks2;
 70
 71 amac.. z =e= A;

```

72
73 ks1.. ((349.5-z2)/(349.5-188.05)) =g= A;
74 ks2.. ((z1-32.36)/(104.56-32.36)) =g= A;
75
76
77
78 amac1 .. z1=e=sum((i,j), d1(i,j)*x(i,j));
79 amac2 .. z2=e=sum((i,j), d2(i,j)*x(i,j));
80
81 k1(i).. sum((j),x(i,j))=e=1;
82 k2(j).. sum((i),x(i,j))=e=1;
83
84
85 Set ij(ii,jj) 'exclude first row and column';
86 ij(ii,jj) = ord(ii) > 1 and ord(jj) > 1;
87 Equation se(ii,jj) 'subtour elimination constraints';
88
89 se(ij(i,j)).. u(i) - u(j) + card(i)*x(i,j) != card(i) - 1;
90
91
92 model GSP4 /all/;
93
94 solve GSP4 using MIP maximazing z ;
95
96 display A.L, z1.L, z2.L ;

```

COMPILATION TIME = 0.000 SECONDS 3 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010

---- amac =E=

amac.. z - A =E= 0 ; (LHS = 0)

---- amac1 =E=

amac1.. z1 - x(0,0) - 5.02*x(0,1) - x(0,2) - x(0,3) - x(0,4) - x(0,5) - x(0,6)

- x(0,7) - x(0,8) - x(0,9) - x(0,10) - x(0,11) - x(0,12) - x(0,13)

- x(0,14) - x(0,15) - x(1,0) - x(1,1) - x(1,2) - x(1,3) - x(1,4)

- 5.4*x(1,5) - x(1,6) - x(1,7) - x(1,8) - x(1,9) - x(1,10) - x(1,11)

- x(1,12) - x(1,13) - x(1,14) - x(1,15) - x(2,0) - x(2,1) - x(2,2)

- x(2,3) - x(2,4) - x(2,5) - x(2,6) - x(2,7) - x(2,8) - 8*x(2,9) - x(2,10)

- x(2,11) - x(2,12) - x(2,13) - x(2,14) - x(2,15) - x(3,0) - x(3,1)

- x(3,2) - x(3,3) - x(3,4) - x(3,5) - x(3,6) - x(3,7) - x(3,8) - x(3,9)

- x(3,10) - 7*x(3,11) - x(3,12) - x(3,13) - x(3,14) - x(3,15) - x(4,0)

- x(4,1) - 7.74*x(4,2) - x(4,3) - x(4,4) - x(4,5) - x(4,6) - x(4,7)

- x(4,8) - x(4,9) - x(4,10) - x(4,11) - x(4,12) - x(4,13) - x(4,14)

- x(4,15) - x(5,0) - x(5,1) - x(5,2) - x(5,3) - x(5,4) - x(5,5) - x(5,6)

- x(5,7) - 5.67*x(5,8) - x(5,9) - x(5,10) - x(5,11) - x(5,12) - x(5,13)

$$- x(5,14) - x(5,15) - x(6,0) - x(6,1) - x(6,2) - x(6,3) - x(6,4) - x(6,5)$$

$$- x(6,6) - x(6,7) - x(6,8) - x(6,9) - x(6,10) - x(6,11) - x(6,12)$$

$$- 9.02*x(6,13) - x(6,14) - x(6,15) - x(7,0) - x(7,1) - x(7,2)$$

$$- 6.63*x(7,3) - x(7,4) - x(7,5) - x(7,6) - x(7,7) - x(7,8) - x(7,9)$$

$$- x(7,10) - x(7,11) - x(7,12) - x(7,13) - x(7,14) - x(7,15) - x(8,0)$$

$$- x(8,1) - x(8,2) - x(8,3) - x(8,4) - x(8,5) - x(8,6) - x(8,7) - x(8,8)$$

$$- x(8,9) - 6.01*x(8,10) - x(8,11) - x(8,12) - x(8,13) - x(8,14) - x(8,15)$$

$$- x(9,0) - x(9,1) - x(9,2) - x(9,3) - x(9,4) - x(9,5) - 8.7*x(9,6)$$

$$- x(9,7) - x(9,8) - x(9,9) - x(9,10) - x(9,11) - x(9,12) - x(9,13)$$

$$- x(9,14) - x(9,15) - x(10,0) - x(10,1) - x(10,2) - x(10,3) - x(10,4)$$

$$- x(10,5) - x(10,6) - x(10,7) - x(10,8) - x(10,9) - x(10,10) - x(10,11)$$

$$- x(10,12) - x(10,13) - 6.04*x(10,14) - x(10,15) - x(11,0) - x(11,1)$$

$$- x(11,2) - x(11,3) - x(11,4) - x(11,5) - x(11,6) - x(11,7) - x(11,8)$$

$$- x(11,9) - x(11,10) - x(11,11) - 7.13*x(11,12) - x(11,13) - x(11,14)$$

$$- x(11,15) - x(12,0) - x(12,1) - x(12,2) - x(12,3) - x(12,4) - x(12,5)$$

$$- x(12,6) - x(12,7) - x(12,8) - x(12,9) - x(12,10) - x(12,11) - x(12,12)$$

$$- x(12,13) - x(12,14) - 7.21*x(12,15) - x(13,0) - x(13,1) - x(13,2)$$

$$- x(13,3) - x(13,4) - x(13,5) - x(13,6) - x(13,7) - x(13,8) - x(13,9)$$

$$- x(13,10) - x(13,11) - x(13,12) - x(13,13) - x(13,14) - x(13,15)$$

$$\begin{aligned}
& -x(14,0) - x(14,1) - x(14,2) - x(14,3) - x(14,4) - x(14,5) - x(14,6) \\
& - 6.32*x(14,7) - x(14,8) - x(14,9) - x(14,10) - x(14,11) - x(14,12) \\
& - x(14,13) - x(14,14) - x(14,15) - x(15,0) - x(15,1) - x(15,2) - x(15,3) \\
& - 7.67*x(15,4) - x(15,5) - x(15,6) - x(15,7) - x(15,8) - x(15,9) \\
& - x(15,10) - x(15,11) - x(15,12) - x(15,13) - x(15,14) - x(15,15) = E = 0 ;
\end{aligned}$$

$$(LHS = 0)$$

$$---- \text{amac2} = E =$$

$$\begin{aligned}
\text{amac2.. } z2 & - 38.7*x(0,1) - 41.2*x(0,2) - 42.5*x(0,3) - 42.8*x(0,4) \\
& - 42.1*x(0,5) - 44.6*x(0,6) - 46.5*x(0,7) - 46.5*x(0,8) - 49.8*x(0,9) \\
& - 53.5*x(0,10) - 68.6*x(0,11) - 72.3*x(0,12) - 78*x(0,13) - 80.6*x(0,14) \\
& - 91*x(0,15) - 38.7*x(1,0) - 1.8*x(1,2) - 5.2*x(1,3) - 5.3*x(1,4) \\
& - 8.8*x(1,5) - 4.8*x(1,6) - 6.6*x(1,7) - 7*x(1,8) - 10.1*x(1,9) \\
& - 29.9*x(1,10) - 32.1*x(1,11) - 37*x(1,12) - 42.8*x(1,13) - 45.4*x(1,14) \\
& - 60.4*x(1,15) - 41.2*x(2,0) - 1.8*x(2,1) - 5.2*x(2,3) - 5.4*x(2,4) \\
& - 9.2*x(2,5) - 4.4*x(2,6) - 6.3*x(2,7) - 6.2*x(2,8) - 9.8*x(2,9) \\
& - 31*x(2,10) - 32.6*x(2,11) - 46.1*x(2,12) - 43.2*x(2,13) - 45.8*x(2,14) \\
& - 60.8*x(2,15) - 42.5*x(3,0) - 5.2*x(3,1) - 5.2*x(3,2) - 0.75*x(3,4) \\
& - 5.2*x(3,5) - 3.6*x(3,6) - 6.2*x(3,7) - 6.2*x(3,8) - 9.5*x(3,9) \\
& - 26.7*x(3,10) - 28.3*x(3,11) - 33.2*x(3,12) - 39*x(3,13) - 41.6*x(3,14)
\end{aligned}$$

- $64.5 \cdot x(3,15) - 42.8 \cdot x(4,0) - 5.3 \cdot x(4,1) - 5.4 \cdot x(4,2) - 0.75 \cdot x(4,3)$
 - $5.8 \cdot x(4,5) - 2.7 \cdot x(4,6) - 4.4 \cdot x(4,7) - 5.6 \cdot x(4,8) - 9.8 \cdot x(4,9)$
 - $27 \cdot x(4,10) - 28.6 \cdot x(4,11) - 42.1 \cdot x(4,12) - 39.3 \cdot x(4,13) - 41.9 \cdot x(4,14)$
 - $57.4 \cdot x(4,15) - 42.1 \cdot x(5,0) - 8.8 \cdot x(5,1) - 9.2 \cdot x(5,2) - 5.2 \cdot x(5,3)$
 - $5.8 \cdot x(5,4) - 9.6 \cdot x(5,6) - 10.7 \cdot x(5,7) - 10.7 \cdot x(5,8) - 14.8 \cdot x(5,9)$
 - $32 \cdot x(5,10) - 33.6 \cdot x(5,11) - 47.1 \cdot x(5,12) - 44.3 \cdot x(5,13) - 46.9 \cdot x(5,14)$
 - $56 \cdot x(5,15) - 44.6 \cdot x(6,0) - 4.8 \cdot x(6,1) - 4.4 \cdot x(6,2) - 3.6 \cdot x(6,3)$
 - $2.7 \cdot x(6,4) - 9.6 \cdot x(6,5) - 3 \cdot x(6,7) - 3.4 \cdot x(6,8) - 6.7 \cdot x(6,9)$
 - $23.8 \cdot x(6,10) - 25.5 \cdot x(6,11) - 30.4 \cdot x(6,12) - 36.2 \cdot x(6,13) - 38.8 \cdot x(6,14)$
 - $47.9 \cdot x(6,15) - 46.5 \cdot x(7,0) - 6.6 \cdot x(7,1) - 6.3 \cdot x(7,2) - 6.2 \cdot x(7,3)$
 - $4.4 \cdot x(7,4) - 10.7 \cdot x(7,5) - 3 \cdot x(7,6) - 1.6 \cdot x(7,8) - 4.9 \cdot x(7,9)$
 - $24 \cdot x(7,10) - 25.7 \cdot x(7,11) - 39.2 \cdot x(7,12) - 36.3 \cdot x(7,13) - 39 \cdot x(7,14)$
 - $48.1 \cdot x(7,15) - 46.5 \cdot x(8,0) - 7 \cdot x(8,1) - 6.2 \cdot x(8,2) - 6.2 \cdot x(8,3)$
 - $5.6 \cdot x(8,4) - 10.7 \cdot x(8,5) - 3.4 \cdot x(8,6) - 1.6 \cdot x(8,7) - 3.8 \cdot x(8,9)$
 - $24.3 \cdot x(8,10) - 25.9 \cdot x(8,11) - 40.4 \cdot x(8,12) - 36.6 \cdot x(8,13) - 39.2 \cdot x(8,14)$
 - $48.3 \cdot x(8,15) - 49.8 \cdot x(9,0) - 10.1 \cdot x(9,1) - 9.8 \cdot x(9,2) - 9.5 \cdot x(9,3)$
 - $9.8 \cdot x(9,4) - 14.8 \cdot x(9,5) - 6.7 \cdot x(9,6) - 4.9 \cdot x(9,7) - 3.8 \cdot x(9,8)$
 - $18.5 \cdot x(9,10) - 20.2 \cdot x(9,11) - 33.7 \cdot x(9,12) - 30.8 \cdot x(9,13) - 33.5 \cdot x(9,14)$
 - $42.6 \cdot x(9,15) - 53.5 \cdot x(10,0) - 29.9 \cdot x(10,1) - 31 \cdot x(10,2) - 26.7 \cdot x(10,3)$

$$\begin{aligned}
& - 27*x(10,4) - 32*x(10,5) - 23.8*x(10,6) - 24*x(10,7) - 24.3*x(10,8) \\
& - 18.5*x(10,9) - 14.2*x(10,11) - 26.5*x(10,12) - 23.6*x(10,13) \\
& - 27.4*x(10,14) - 35.3*x(10,15) - 68.6*x(11,0) - 32.1*x(11,1) \\
& - 32.6*x(11,2) - 28.3*x(11,3) - 28.6*x(11,4) - 33.6*x(11,5) - 25.5*x(11,6) \\
& - 25.7*x(11,7) - 25.9*x(11,8) - 20.2*x(11,9) - 14.2*x(11,10) \\
& - 2.3*x(11,12) - 2.3*x(11,13) - 2*x(11,14) - 11.2*x(11,15) - 72.3*x(12,0) \\
& - 37*x(12,1) - 46.1*x(12,2) - 33.2*x(12,3) - 42.1*x(12,4) - 47.1*x(12,5) \\
& - 30.4*x(12,6) - 39.2*x(12,7) - 40.4*x(12,8) - 33.7*x(12,9) \\
& - 26.5*x(12,10) - 2.3*x(12,11) - 3.7*x(12,13) - 2.5*x(12,14) - 9*x(12,15) \\
& - 78*x(13,0) - 42.8*x(13,1) - 43.2*x(13,2) - 39*x(13,3) - 39.3*x(13,4) \\
& - 44.3*x(13,5) - 36.2*x(13,6) - 36.3*x(13,7) - 36.6*x(13,8) - 30.8*x(13,9) \\
& - 23.6*x(13,10) - 2.3*x(13,11) - 3.7*x(13,12) - 1.7*x(13,14) \\
& - 13.6*x(13,15) - 80.6*x(14,0) - 45.4*x(14,1) - 45.8*x(14,2) \\
& - 41.6*x(14,3) - 41.9*x(14,4) - 46.9*x(14,5) - 38.8*x(14,6) - 39*x(14,7) \\
& - 39.2*x(14,8) - 33.5*x(14,9) - 27.4*x(14,10) - 2*x(14,11) - 2.5*x(14,12) \\
& - 1.7*x(14,13) - 11*x(14,15) - 91*x(15,0) - 60.4*x(15,1) - 60.8*x(15,2) \\
& - 64.5*x(15,3) - 57.4*x(15,4) - 56*x(15,5) - 47.9*x(15,6) - 48.1*x(15,7) \\
& - 48.3*x(15,8) - 42.6*x(15,9) - 35.3*x(15,10) - 11.2*x(15,11) - 9*x(15,12) \\
& - 13.6*x(15,13) - 11*x(15,14) = E = 0 ; (LHS = 0)
\end{aligned}$$

---- k1 =E=

k1(0).. x(0,0) + x(0,1) + x(0,2) + x(0,3) + x(0,4) + x(0,5) + x(0,6) + x(0,7)

+ x(0,8) + x(0,9) + x(0,10) + x(0,11) + x(0,12) + x(0,13) + x(0,14)

+ x(0,15) =E= 1 ; (LHS = 0, INFES = 1 ****)

k1(1).. x(1,0) + x(1,1) + x(1,2) + x(1,3) + x(1,4) + x(1,5) + x(1,6) + x(1,7)

+ x(1,8) + x(1,9) + x(1,10) + x(1,11) + x(1,12) + x(1,13) + x(1,14)

+ x(1,15) =E= 1 ; (LHS = 0, INFES = 1 ****)

k1(2).. x(2,0) + x(2,1) + x(2,2) + x(2,3) + x(2,4) + x(2,5) + x(2,6) + x(2,7)

+ x(2,8) + x(2,9) + x(2,10) + x(2,11) + x(2,12) + x(2,13) + x(2,14)

+ x(2,15) =E= 1 ; (LHS = 0, INFES = 1 ****)

REMAINING 13 ENTRIES SKIPPED

---- k2 =E=

k2(0).. x(0,0) + x(1,0) + x(2,0) + x(3,0) + x(4,0) + x(5,0) + x(6,0) + x(7,0)

+ x(8,0) + x(9,0) + x(10,0) + x(11,0) + x(12,0) + x(13,0) + x(14,0)

+ x(15,0) =E= 1 ; (LHS = 0, INFES = 1 ****)

k2(1).. x(0,1) + x(1,1) + x(2,1) + x(3,1) + x(4,1) + x(5,1) + x(6,1) + x(7,1)

+ x(8,1) + x(9,1) + x(10,1) + x(11,1) + x(12,1) + x(13,1) + x(14,1)

+ x(15,1) =E= 1 ; (LHS = 0, INFES = 1 ****)

k2(2).. $x(0,2) + x(1,2) + x(2,2) + x(3,2) + x(4,2) + x(5,2) + x(6,2) + x(7,2)$

+ $x(8,2) + x(9,2) + x(10,2) + x(11,2) + x(12,2) + x(13,2) + x(14,2)$

+ $x(15,2) =E= 1$; (LHS = 0, INFES = 1 ****)

REMAINING 13 ENTRIES SKIPPED

---- ks1 =G=

ks1.. $-0.0061938680706101*z2 - A =G= -2.16475689067823$; (LHS = 0)

---- ks2 =G=

ks2.. $0.0138504155124654*z1 - A =G= 0.448199445983379$;

(LHS = 0, INFES = 0.448199445983379 ****)

---- se =L= subtour elimination constraints

se(1,1).. $16*x(1,1) =L= 15$; (LHS = 0)

se(1,2).. $u(1) - u(2) + 16*x(1,2) =L= 15$; (LHS = 0)

se(1,3).. $u(1) - u(3) + 16*x(1,3) =L= 15$; (LHS = 0)

REMAINING 222 ENTRIES SKIPPED

---- z

z

(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)

1 amac

---- z1

z1

(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)

1 amac1

0.0139 ks2

---- z2

z2

(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)

1 amac2

-0.0062 ks1

---- u

u(1)

(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)

1 se(1,2)

1 se(1,3)

1 se(1,4)

1 se(1,5)

1 se(1,6)

1 se(1,7)

1 se(1,8)
 1 se(1,9)
 1 se(1,10)
 1 se(1,11)
 1 se(1,12)
 1 se(1,13)
 1 se(1,14)
 1 se(1,15)
 -1 se(2,1)
 -1 se(3,1)
 -1 se(4,1)
 -1 se(5,1)
 -1 se(6,1)
 -1 se(7,1)
 -1 se(8,1)
 -1 se(9,1)
 -1 se(10,1)
 -1 se(11,1)
 -1 se(12,1)
 -1 se(13,1)
 -1 se(14,1)
 -1 se(15,1)

u(2)

(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)

-1 se(1,2)
 1 se(2,1)
 1 se(2,3)
 1 se(2,4)
 1 se(2,5)
 1 se(2,6)
 1 se(2,7)
 1 se(2,8)
 1 se(2,9)
 1 se(2,10)
 1 se(2,11)
 1 se(2,12)
 1 se(2,13)

1 se(2,14)
 1 se(2,15)
 -1 se(3,2)
 -1 se(4,2)
 -1 se(5,2)
 -1 se(6,2)
 -1 se(7,2)
 -1 se(8,2)
 -1 se(9,2)
 -1 se(10,2)
 -1 se(11,2)
 -1 se(12,2)
 -1 se(13,2)
 -1 se(14,2)
 -1 se(15,2)

u(3)

(.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)

-1 se(1,3)
 -1 se(2,3)
 1 se(3,1)
 1 se(3,2)
 1 se(3,4)
 1 se(3,5)
 1 se(3,6)
 1 se(3,7)
 1 se(3,8)
 1 se(3,9)
 1 se(3,10)
 1 se(3,11)
 1 se(3,12)
 1 se(3,13)
 1 se(3,14)
 1 se(3,15)
 -1 se(4,3)
 -1 se(5,3)
 -1 se(6,3)
 -1 se(7,3)

```

-1  se(8,3)
-1  se(9,3)
-1  se(10,3)
-1  se(11,3)
-1  se(12,3)
-1  se(13,3)
-1  se(14,3)
-1  se(15,3)

```

REMAINING 12 ENTRIES SKIPPED

---- A

```

A      (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-1     amac
-1     ks1
-1     ks2

```

---- x

```

x(0,0)      (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, 1, 0)
-1          amac1
1           k1(0)
1           k2(0)

```

```

x(0,1)      (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, 1, 0)
-5.02       amac1
-38.7       amac2
1           k1(0)
1           k2(1)

```

```

x(0,2)      (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, 1, 0)
-1          amac1

```

-41.2 amac2

1 k1(0)

1 k2(2)

REMAINING 253 ENTRIES SKIPPED



MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	8	SINGLE EQUATIONS	262
BLOCKS OF VARIABLES	6	SINGLE VARIABLES	275
NON ZERO ELEMENTS	1,661	DISCRETE VARIABLES	256

GENERATION TIME = 0.031 SECONDS 4 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010

EXECUTION TIME = 0.046 SECONDS 4 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010

S O L V E S U M M A R Y

MODEL GSP4 OBJECTIVE z
 TYPE MIP DIRECTION MAXIMIZE
 SOLVER CPLEX FROM LINE 94

**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion
 **** MODEL STATUS 8 Integer Solution
 **** OBJECTIVE VALUE 0.6436

RESOURCE USAGE, LIMIT 0.774 1000.000
 ITERATION COUNT, LIMIT 11742 2000000000

IBM ILOG CPLEX Jul 4, 2010 23.5.1 WIN 18414.18495 VS8 x86/MS Windows
 Cplex 12.2.0.0, GAMS Link 34
 GAMS/Cplex licensed for continuous and discrete problems.

Cplex MIP uses 1 of 4 parallel threads. Change default with option THREADS.
 MIP status(102): integer optimal, tolerance
 Fixed MIP status(1): optimal
 Solution satisfies tolerances.

MIP Solution: 0.643629 (11728 iterations, 1076 nodes)
 Final Solve: 0.643629 (14 iterations)

Best possible: 0.706877
 Absolute gap: 0.063249
 Relative gap: 0.098269

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- EQU amac . . . 1.000

```

---- EQU amac1      .      .      .      0.014
---- EQU amac2      .      .      .      EPS

```

```

---- EQU k1

```

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
0	1.000	1.000	1.000	.
1	1.000	1.000	1.000	.
2	1.000	1.000	1.000	.
3	1.000	1.000	1.000	.
4	1.000	1.000	1.000	.
5	1.000	1.000	1.000	.
6	1.000	1.000	1.000	.
7	1.000	1.000	1.000	.
8	1.000	1.000	1.000	.
9	1.000	1.000	1.000	.
10	1.000	1.000	1.000	.
11	1.000	1.000	1.000	.
12	1.000	1.000	1.000	.
13	1.000	1.000	1.000	.
14	1.000	1.000	1.000	.
15	1.000	1.000	1.000	.

```

---- EQU k2

```

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
0	1.000	1.000	1.000	.
1	1.000	1.000	1.000	.
2	1.000	1.000	1.000	.
3	1.000	1.000	1.000	.
4	1.000	1.000	1.000	.
5	1.000	1.000	1.000	.
6	1.000	1.000	1.000	.
7	1.000	1.000	1.000	.
8	1.000	1.000	1.000	.
9	1.000	1.000	1.000	.

10	1.000	1.000	1.000	.
11	1.000	1.000	1.000	.
12	1.000	1.000	1.000	.
13	1.000	1.000	1.000	.
14	1.000	1.000	1.000	.
15	1.000	1.000	1.000	.

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
--	-------	-------	-------	----------

---- EQU ks1	-2.165	-2.104	+INF	.
---- EQU ks2	0.448	0.448	+INF	-1.000

---- EQU se subtour elimination constraints

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1.1	-INF	.	15.000	.
1.2	-INF	-12.000	15.000	.
1.3	-INF	-10.000	15.000	.
1.4	-INF	-11.000	15.000	.
1.5	-INF	15.000	15.000	EPS
1.6	-INF	-14.000	15.000	.
1.7	-INF	-9.000	15.000	.
1.8	-INF	-2.000	15.000	.
1.9	-INF	-13.000	15.000	.
1.10	-INF	-3.000	15.000	.
1.11	-INF	-4.000	15.000	.
1.12	-INF	-5.000	15.000	.
1.13	-INF	-7.000	15.000	.
1.14	-INF	-8.000	15.000	.
1.15	-INF	-6.000	15.000	.
2.1	-INF	12.000	15.000	.
2.2	-INF	.	15.000	.
2.3	-INF	2.000	15.000	.
2.4	-INF	1.000	15.000	.
2.5	-INF	11.000	15.000	.
2.6	-INF	-2.000	15.000	.
2.7	-INF	3.000	15.000	.

2.8	-INF	10.000	15.000	.
2.9	-INF	15.000	15.000	EPS
2.10	-INF	9.000	15.000	.
2.11	-INF	8.000	15.000	.
2.12	-INF	7.000	15.000	.
2.13	-INF	5.000	15.000	.
2.14	-INF	4.000	15.000	.
2.15	-INF	6.000	15.000	.
3.1	-INF	10.000	15.000	.
3.2	-INF	-2.000	15.000	.
3.3	-INF	.	15.000	.
3.4	-INF	15.000	15.000	EPS
3.5	-INF	9.000	15.000	.
3.6	-INF	-4.000	15.000	.
3.7	-INF	1.000	15.000	.
3.8	-INF	8.000	15.000	.
3.9	-INF	-3.000	15.000	.
3.10	-INF	7.000	15.000	.
3.11	-INF	6.000	15.000	.
3.12	-INF	5.000	15.000	.
3.13	-INF	3.000	15.000	.
3.14	-INF	2.000	15.000	.
3.15	-INF	4.000	15.000	.
4.1	-INF	11.000	15.000	.
4.2	-INF	15.000	15.000	EPS
4.3	-INF	1.000	15.000	.
4.4	-INF	.	15.000	.
4.5	-INF	10.000	15.000	.
4.6	-INF	-3.000	15.000	.
4.7	-INF	2.000	15.000	.
4.8	-INF	9.000	15.000	.
4.9	-INF	-2.000	15.000	.
4.10	-INF	8.000	15.000	.
4.11	-INF	7.000	15.000	.
4.12	-INF	6.000	15.000	.
4.13	-INF	4.000	15.000	.
4.14	-INF	3.000	15.000	.
4.15	-INF	5.000	15.000	.

5.1	-INF	1.000	15.000	.
5.2	-INF	-11.000	15.000	.
5.3	-INF	-9.000	15.000	.
5.4	-INF	-10.000	15.000	.
5.5	-INF	.	15.000	.
5.6	-INF	-13.000	15.000	.
5.7	-INF	-8.000	15.000	.
5.8	-INF	15.000	15.000	EPS
5.9	-INF	-12.000	15.000	.
5.10	-INF	-2.000	15.000	.
5.11	-INF	-3.000	15.000	.
5.12	-INF	-4.000	15.000	.
5.13	-INF	-6.000	15.000	.
5.14	-INF	-7.000	15.000	.
5.15	-INF	-5.000	15.000	.
6.1	-INF	14.000	15.000	.
6.2	-INF	2.000	15.000	.
6.3	-INF	4.000	15.000	.
6.4	-INF	3.000	15.000	.
6.5	-INF	13.000	15.000	.
6.6	-INF	.	15.000	.
6.7	-INF	5.000	15.000	.
6.8	-INF	12.000	15.000	.
6.9	-INF	1.000	15.000	.
6.10	-INF	11.000	15.000	.
6.11	-INF	10.000	15.000	.
6.12	-INF	9.000	15.000	.
6.13	-INF	7.000	15.000	.
6.14	-INF	6.000	15.000	.
6.15	-INF	8.000	15.000	.
7.1	-INF	9.000	15.000	.
7.2	-INF	-3.000	15.000	.
7.3	-INF	15.000	15.000	EPS
7.4	-INF	-2.000	15.000	.
7.5	-INF	8.000	15.000	.
7.6	-INF	-5.000	15.000	.
7.7	-INF	.	15.000	.
7.8	-INF	7.000	15.000	.

7.9	-INF	-4.000	15.000	.
7.10	-INF	6.000	15.000	.
7.11	-INF	5.000	15.000	.
7.12	-INF	4.000	15.000	.
7.13	-INF	2.000	15.000	.
7.14	-INF	1.000	15.000	.
7.15	-INF	3.000	15.000	.
8.1	-INF	2.000	15.000	.
8.2	-INF	-10.000	15.000	.
8.3	-INF	-8.000	15.000	.
8.4	-INF	-9.000	15.000	.
8.5	-INF	1.000	15.000	.
8.6	-INF	-12.000	15.000	.
8.7	-INF	-7.000	15.000	.
8.8	-INF	.	15.000	.
8.9	-INF	-11.000	15.000	.
8.10	-INF	15.000	15.000	EPS
8.11	-INF	-2.000	15.000	.
8.12	-INF	-3.000	15.000	.
8.13	-INF	-5.000	15.000	.
8.14	-INF	-6.000	15.000	.
8.15	-INF	-4.000	15.000	.
9.1	-INF	13.000	15.000	.
9.2	-INF	1.000	15.000	.
9.3	-INF	3.000	15.000	.
9.4	-INF	2.000	15.000	.
9.5	-INF	12.000	15.000	.
9.6	-INF	15.000	15.000	EPS
9.7	-INF	4.000	15.000	.
9.8	-INF	11.000	15.000	.
9.9	-INF	.	15.000	.
9.10	-INF	10.000	15.000	.
9.11	-INF	9.000	15.000	.
9.12	-INF	8.000	15.000	.
9.13	-INF	6.000	15.000	.
9.14	-INF	5.000	15.000	.
9.15	-INF	7.000	15.000	.
10.1	-INF	3.000	15.000	.

10.2	-INF	-9.000	15.000	.
10.3	-INF	-7.000	15.000	.
10.4	-INF	-8.000	15.000	.
10.5	-INF	2.000	15.000	.
10.6	-INF	-11.000	15.000	.
10.7	-INF	-6.000	15.000	.
10.8	-INF	1.000	15.000	.
10.9	-INF	-10.000	15.000	.
10.10	-INF	.	15.000	.
10.11	-INF	15.000	15.000	EPS
10.12	-INF	-2.000	15.000	.
10.13	-INF	-4.000	15.000	.
10.14	-INF	-5.000	15.000	.
10.15	-INF	-3.000	15.000	.
11.1	-INF	4.000	15.000	.
11.2	-INF	-8.000	15.000	.
11.3	-INF	-6.000	15.000	.
11.4	-INF	-7.000	15.000	.
11.5	-INF	3.000	15.000	.
11.6	-INF	-10.000	15.000	.
11.7	-INF	-5.000	15.000	.
11.8	-INF	2.000	15.000	.
11.9	-INF	-9.000	15.000	.
11.10	-INF	1.000	15.000	.
11.11	-INF	.	15.000	.
11.12	-INF	15.000	15.000	EPS
11.13	-INF	-3.000	15.000	.
11.14	-INF	-4.000	15.000	.
11.15	-INF	-2.000	15.000	.
12.1	-INF	5.000	15.000	.
12.2	-INF	-7.000	15.000	.
12.3	-INF	-5.000	15.000	.
12.4	-INF	-6.000	15.000	.
12.5	-INF	4.000	15.000	.
12.6	-INF	-9.000	15.000	.
12.7	-INF	-4.000	15.000	.
12.8	-INF	3.000	15.000	.
12.9	-INF	-8.000	15.000	.

12.10	-INF	2.000	15.000	.
12.11	-INF	1.000	15.000	.
12.12	-INF	.	15.000	.
12.13	-INF	-2.000	15.000	.
12.14	-INF	-3.000	15.000	.
12.15	-INF	15.000	15.000	EPS
13.1	-INF	7.000	15.000	.
13.2	-INF	-5.000	15.000	.
13.3	-INF	-3.000	15.000	.
13.4	-INF	-4.000	15.000	.
13.5	-INF	6.000	15.000	.
13.6	-INF	-7.000	15.000	.
13.7	-INF	-2.000	15.000	.
13.8	-INF	5.000	15.000	.
13.9	-INF	-6.000	15.000	.
13.10	-INF	4.000	15.000	.
13.11	-INF	3.000	15.000	.
13.12	-INF	2.000	15.000	.
13.13	-INF	.	15.000	.
13.14	-INF	15.000	15.000	EPS
13.15	-INF	1.000	15.000	.
14.1	-INF	8.000	15.000	.
14.2	-INF	-4.000	15.000	.
14.3	-INF	-2.000	15.000	.
14.4	-INF	-3.000	15.000	.
14.5	-INF	7.000	15.000	.
14.6	-INF	-6.000	15.000	.
14.7	-INF	15.000	15.000	EPS
14.8	-INF	6.000	15.000	.
14.9	-INF	-5.000	15.000	.
14.10	-INF	5.000	15.000	.
14.11	-INF	4.000	15.000	.
14.12	-INF	3.000	15.000	.
14.13	-INF	1.000	15.000	.
14.14	-INF	.	15.000	.
14.15	-INF	2.000	15.000	.
15.1	-INF	6.000	15.000	.
15.2	-INF	-6.000	15.000	.

15.3	-INF	-4.000	15.000	.
15.4	-INF	-5.000	15.000	.
15.5	-INF	5.000	15.000	.
15.6	-INF	-8.000	15.000	.
15.7	-INF	-3.000	15.000	.
15.8	-INF	4.000	15.000	.
15.9	-INF	-7.000	15.000	.
15.10	-INF	3.000	15.000	.
15.11	-INF	2.000	15.000	.
15.12	-INF	1.000	15.000	.
15.13	-INF	15.000	15.000	EPS
15.14	-INF	-2.000	15.000	.
15.15	-INF	.	15.000	.

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR z	-INF	0.644	+INF	.
---- VAR z1	-INF	78.830	+INF	.
---- VAR z2	-INF	235.750	+INF	.
---- VAR u				

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	-INF	-6.000	+INF	.
2	-INF	6.000	+INF	.
3	-INF	4.000	+INF	.
4	-INF	5.000	+INF	.
5	-INF	-5.000	+INF	.
6	-INF	8.000	+INF	.
7	-INF	3.000	+INF	.
8	-INF	-4.000	+INF	.
9	-INF	7.000	+INF	.
10	-INF	-3.000	+INF	.
11	-INF	-2.000	+INF	.
12	-INF	-1.000	+INF	.
13	-INF	1.000	+INF	.
14	-INF	2.000	+INF	.

15 -INF . +INF EPS

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- VAR A . 0.644 +INF .

---- VAR x

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

0.0	.	.	1.000	0.014
0.1	.	1.000	1.000	0.070
0.2	.	.	1.000	0.014
0.3	.	.	1.000	0.014
0.4	.	.	1.000	0.014
0.5	.	.	1.000	0.014
0.6	.	.	1.000	0.014
0.7	.	.	1.000	0.014
0.8	.	.	1.000	0.014
0.9	.	.	1.000	0.014
0.10	.	.	1.000	0.014
0.11	.	.	1.000	0.014
0.12	.	.	1.000	0.014
0.13	.	.	1.000	0.014
0.14	.	.	1.000	0.014
0.15	.	.	1.000	0.014
1.0	.	.	1.000	0.014
1.1	.	.	1.000	0.014
1.2	.	.	1.000	0.014
1.3	.	.	1.000	0.014
1.4	.	.	1.000	0.014
1.5	.	1.000	1.000	0.075
1.6	.	.	1.000	0.014
1.7	.	.	1.000	0.014
1.8	.	.	1.000	0.014
1.9	.	.	1.000	0.014
1.10	.	.	1.000	0.014
1.11	.	.	1.000	0.014

1.12	.	.	1.000	0.014
1.13	.	.	1.000	0.014
1.14	.	.	1.000	0.014
1.15	.	.	1.000	0.014
2.0	.	.	1.000	0.014
2.1	.	.	1.000	0.014
2.2	.	.	1.000	0.014
2.3	.	.	1.000	0.014
2.4	.	.	1.000	0.014
2.5	.	.	1.000	0.014
2.6	.	.	1.000	0.014
2.7	.	.	1.000	0.014
2.8	.	.	1.000	0.014
2.9	.	1.000	1.000	0.111
2.10	.	.	1.000	0.014
2.11	.	.	1.000	0.014
2.12	.	.	1.000	0.014
2.13	.	.	1.000	0.014
2.14	.	.	1.000	0.014
2.15	.	.	1.000	0.014
3.0	.	.	1.000	0.014
3.1	.	.	1.000	0.014
3.2	.	.	1.000	0.014
3.3	.	.	1.000	0.014
3.4	.	1.000	1.000	0.014
3.5	.	.	1.000	0.014
3.6	.	.	1.000	0.014
3.7	.	.	1.000	0.014
3.8	.	.	1.000	0.014
3.9	.	.	1.000	0.014
3.10	.	.	1.000	0.014
3.11	.	.	1.000	0.097
3.12	.	.	1.000	0.014
3.13	.	.	1.000	0.014
3.14	.	.	1.000	0.014
3.15	.	.	1.000	0.014
4.0	.	.	1.000	0.014
4.1	.	.	1.000	0.014

4.2	.	1.000	1.000	0.107
4.3	.	.	1.000	0.014
4.4	.	.	1.000	0.014
4.5	.	.	1.000	0.014
4.6	.	.	1.000	0.014
4.7	.	.	1.000	0.014
4.8	.	.	1.000	0.014
4.9	.	.	1.000	0.014
4.10	.	.	1.000	0.014
4.11	.	.	1.000	0.014
4.12	.	.	1.000	0.014
4.13	.	.	1.000	0.014
4.14	.	.	1.000	0.014
4.15	.	.	1.000	0.014
5.0	.	.	1.000	0.014
5.1	.	.	1.000	0.014
5.2	.	.	1.000	0.014
5.3	.	.	1.000	0.014
5.4	.	.	1.000	0.014
5.5	.	.	1.000	0.014
5.6	.	.	1.000	0.014
5.7	.	.	1.000	0.014
5.8	.	1.000	1.000	0.079
5.9	.	.	1.000	0.014
5.10	.	.	1.000	0.014
5.11	.	.	1.000	0.014
5.12	.	.	1.000	0.014
5.13	.	.	1.000	0.014
5.14	.	.	1.000	0.014
5.15	.	.	1.000	0.014
6.0	.	1.000	1.000	0.014
6.1	.	.	1.000	0.014
6.2	.	.	1.000	0.014
6.3	.	.	1.000	0.014
6.4	.	.	1.000	0.014
6.5	.	.	1.000	0.014
6.6	.	.	1.000	0.014
6.7	.	.	1.000	0.014

6.8	.	.	1.000	0.014
6.9	.	.	1.000	0.014
6.10	.	.	1.000	0.014
6.11	.	.	1.000	0.014
6.12	.	.	1.000	0.014
6.13	.	.	1.000	0.125
6.14	.	.	1.000	0.014
6.15	.	.	1.000	0.014
7.0	.	.	1.000	0.014
7.1	.	.	1.000	0.014
7.2	.	.	1.000	0.014
7.3	.	1.000	1.000	0.092
7.4	.	.	1.000	0.014
7.5	.	.	1.000	0.014
7.6	.	.	1.000	0.014
7.7	.	.	1.000	0.014
7.8	.	.	1.000	0.014
7.9	.	.	1.000	0.014
7.10	.	.	1.000	0.014
7.11	.	.	1.000	0.014
7.12	.	.	1.000	0.014
7.13	.	.	1.000	0.014
7.14	.	.	1.000	0.014
7.15	.	.	1.000	0.014
8.0	.	.	1.000	0.014
8.1	.	.	1.000	0.014
8.2	.	.	1.000	0.014
8.3	.	.	1.000	0.014
8.4	.	.	1.000	0.014
8.5	.	.	1.000	0.014
8.6	.	.	1.000	0.014
8.7	.	.	1.000	0.014
8.8	.	.	1.000	0.014
8.9	.	.	1.000	0.014
8.10	.	1.000	1.000	0.083
8.11	.	.	1.000	0.014
8.12	.	.	1.000	0.014
8.13	.	.	1.000	0.014

8.14	.	.	1.000	0.014
8.15	.	.	1.000	0.014
9.0	.	.	1.000	0.014
9.1	.	.	1.000	0.014
9.2	.	.	1.000	0.014
9.3	.	.	1.000	0.014
9.4	.	.	1.000	0.014
9.5	.	.	1.000	0.014
9.6	.	1.000	1.000	0.120
9.7	.	.	1.000	0.014
9.8	.	.	1.000	0.014
9.9	.	.	1.000	0.014
9.10	.	.	1.000	0.014
9.11	.	.	1.000	0.014
9.12	.	.	1.000	0.014
9.13	.	.	1.000	0.014
9.14	.	.	1.000	0.014
9.15	.	.	1.000	0.014
10.0	.	.	1.000	0.014
10.1	.	.	1.000	0.014
10.2	.	.	1.000	0.014
10.3	.	.	1.000	0.014
10.4	.	.	1.000	0.014
10.5	.	.	1.000	0.014
10.6	.	.	1.000	0.014
10.7	.	.	1.000	0.014
10.8	.	.	1.000	0.014
10.9	.	.	1.000	0.014
10.10	.	.	1.000	0.014
10.11	.	1.000	1.000	0.014
10.12	.	.	1.000	0.014
10.13	.	.	1.000	0.014
10.14	.	.	1.000	0.084
10.15	.	.	1.000	0.014
11.0	.	.	1.000	0.014
11.1	.	.	1.000	0.014
11.2	.	.	1.000	0.014
11.3	.	.	1.000	0.014

11.4	.	.	1.000	0.014
11.5	.	.	1.000	0.014
11.6	.	.	1.000	0.014
11.7	.	.	1.000	0.014
11.8	.	.	1.000	0.014
11.9	.	.	1.000	0.014
11.10	.	.	1.000	0.014
11.11	.	.	1.000	0.014
11.12	.	1.000	1.000	0.099
11.13	.	.	1.000	0.014
11.14	.	.	1.000	0.014
11.15	.	.	1.000	0.014
12.0	.	.	1.000	0.014
12.1	.	.	1.000	0.014
12.2	.	.	1.000	0.014
12.3	.	.	1.000	0.014
12.4	.	.	1.000	0.014
12.5	.	.	1.000	0.014
12.6	.	.	1.000	0.014
12.7	.	.	1.000	0.014
12.8	.	.	1.000	0.014
12.9	.	.	1.000	0.014
12.10	.	.	1.000	0.014
12.11	.	.	1.000	0.014
12.12	.	.	1.000	0.014
12.13	.	.	1.000	0.014
12.14	.	.	1.000	0.014
12.15	.	1.000	1.000	0.100
13.0	.	.	1.000	0.014
13.1	.	.	1.000	0.014
13.2	.	.	1.000	0.014
13.3	.	.	1.000	0.014
13.4	.	.	1.000	0.014
13.5	.	.	1.000	0.014
13.6	.	.	1.000	0.014
13.7	.	.	1.000	0.014
13.8	.	.	1.000	0.014
13.9	.	.	1.000	0.014

13.10	.	.	1.000	0.014
13.11	.	.	1.000	0.014
13.12	.	.	1.000	0.014
13.13	.	.	1.000	0.014
13.14	.	1.000	1.000	0.014
13.15	.	.	1.000	0.014
14.0	.	.	1.000	0.014
14.1	.	.	1.000	0.014
14.2	.	.	1.000	0.014
14.3	.	.	1.000	0.014
14.4	.	.	1.000	0.014
14.5	.	.	1.000	0.014
14.6	.	.	1.000	0.014
14.7	.	1.000	1.000	0.088
14.8	.	.	1.000	0.014
14.9	.	.	1.000	0.014
14.10	.	.	1.000	0.014
14.11	.	.	1.000	0.014
14.12	.	.	1.000	0.014
14.13	.	.	1.000	0.014
14.14	.	.	1.000	0.014
14.15	.	.	1.000	0.014
15.0	.	.	1.000	0.014
15.1	.	.	1.000	0.014
15.2	.	.	1.000	0.014
15.3	.	.	1.000	0.014
15.4	.	.	1.000	0.106
15.5	.	.	1.000	0.014
15.6	.	.	1.000	0.014
15.7	.	.	1.000	0.014
15.8	.	.	1.000	0.014
15.9	.	.	1.000	0.014
15.10	.	.	1.000	0.014
15.11	.	.	1.000	0.014
15.12	.	.	1.000	0.014
15.13	.	1.000	1.000	0.014
15.14	.	.	1.000	0.014
15.15	.	.	1.000	0.014

**** REPORT SUMMARY: 0 NONOPT
 0 INFEASIBLE
 0 UNBOUNDED



---- 96 VARIABLE A.L = 0.644
 VARIABLE z1.L = 78.830
 VARIABLE z2.L = 235.750

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 3 Mb WIN235-235 Jul 2, 2010

USER: Gary Goldstein
 Decision Ware, Inc.

G010614:2121CA-WIN
 DC2807

**** FILE SUMMARY

Input C:\Users\emreeren\Desktop\mezuniyet\gamskodları\15-A.gms
Output C:\Users\emreeren\Documents\gamsdir\projdir\

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: emreerenytu@gmail.com

Makaleler

1. Eren, E., & Tuzkaya, U. R. (2019). Occupational health and safety-oriented medical waste management: A case study of Istanbul. *Waste Management & Research* (Kabul Edildi).

