

T.C.
KARA HARP OKULU
SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAREKÂT ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI

MATEMATİKSEL MODEL VE STOKASTİK ÇOK KRİTERLİ
KABUL EDİLEBİLİRLİK ANALİZİ İLE BİR KAMU KURUMU İÇİN
TESİS YERİ SEÇİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan
Topçu Ütğm. Selahattin KARABAY

Tez Danışmanı
Dr.P.Yb. Erkan KÖSE

ANKARA-2013

TEZ TANITIM FORMU

TEZİN TARİHİ : 22.05.2013

TEZİN TİPİ : Yüksek Lisans Tezi

TEZİN BAŞLIĞI: Matematiksel Model Ve Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi İle Bir Kamu Kurumu İçin Tesis Yeri Seçimi

TEZİN YAPILDIĞI BİRİM: Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Harekât Araştırması Ana Bilim Dalı

SPONSOR KURULUŞ: -

DAĞITIM LİSTESİ: Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Tez Hazırlama, Onay, Dağıtım ve Muhafaza Esasları Kılavuzunda Belirtilen Yerlere

TEZİN ÖZETİ: Bu çalışmada bir kamu kurumuna ait gerçek bir tesis yeri seçimi problemi ele alınmıştır. İlk olarak sistemde il merkezlerindeki tesisler dışında hiç bir tesis yokmuş gibi yeni tesislerin nerelere yerleştirilmesi gerektiği ve hangi ilçelerin hangi tesislerden hizmet alacağı bir matematiksel programlama modeli ile belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonra mevcut tesisler arasında, kamu kurumunun sahip olmasını istediği niteliklerden en fazlasına sahip olanlar Stokastik Çok Kriterli Kabuledilebilirlik Analizi-TRI (SMAA-TRI) metodu ile tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında matematiksel modelin açılmasını önerdiği tesislerin SMAA-TRI çözümünde de tercih edilen tesisler olduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Tesis Yeri Seçimi, Stokastik Çok Kriterli Kabuledilebilirlik Analizi

SAYFA SAYISI: 81

GİZLİLİK DERECESESİ: Tasnif Dışı

T.C.
KARA HARP OKULU
SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAREKÂT ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI

MATEMATİKSEL MODEL VE STOKASTİK ÇOK KRİTERLİ
KABUL EDİLEBİLİRLİK ANALİZİ İLE BİR KAMU KURUMU İÇİN
TESİS YERİ SEÇİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan
Topçu Ütğm. Selahattin KARABAY

Tez Danışmanı
Dr. P. Yb. Erkan KÖSE

ANKARA-2013

KARA HARP OKULU

SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Selahattin KARABAY'ın, Matematiksel Model ve Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi ile Bir Kamu Kurumu için Tesis Yeri Seçimi konulu tez çalışması, jürimiz tarafından HAREKÂT ARAŞTIRMASI Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan -----
Prof. Dr. Cevriye Gencer TEMEL

Üye -----
Doç. Dr. Metin DAĞDEVİREN

Üye -----
Dr. P. Yb. Erkan KÖSE
(Danışman)

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

... / ... / 2013

Ali IŞIK
Yrd. Doç. Dr. Öğ. Alb.
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Öncelikle mensubu olmaktan gurur duyduğum ve bana bu imkânı sağlayan Türk Silahlı Kuvvetleri, O'nun ayrılmaz bir parçası olan Kara Kuvvetleri Komutanlığı'na Őükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

Çalışmam süresince beni yönlendiren tez danışmanım Dr. P. Yb. Erkan KÖSE'ye, Savunma Bilimleri Enstitüsü'ndeki öğrenimim süresince bana yardımcı olan komutanlarıma, öğretim elemanları ve beraber öğrenim gördüğüm silah arkadaşlarıma Őükranlarımı sunar ve teşekkür ederim.

Çalışmam süresince geceler boyu beni hep destekleyen, ayrıca tez çalışmamda en az benim kadar emeği olan değerli eşim Melek KARABAY'a ve oyun saatlerinden çaldığım oğlum Mehmet Efe KARABAY'a sonsuz teşekkürler.

T.C.
KARA HARP OKULU
SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAREKÂT ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI
ANKARA 2013

MATEMATİKSEL MODEL VE STOKASTİK ÇOK KRİTERLİ
KABUL EDİLEBİLİRLİK ANALİZİ İLE BİR KAMU KURUMU İÇİN
TESİS YERİ SEÇİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selahattin KARABAY

ÖZET

Tesis yeri seçimi problemi, özellikle son 50 yıldır, yöneylem araştırması dalında birçok çalışmanın yer aldığı bir alandır. Hızla gelişen teknoloji ve diğer koşullar daha etkin tesis yeri seçimini zorunlu kılmaktadır. Kurulmuş sistemlerin günün ihtiyaçlarına cevap verememesi, tesis yeri seçimi problemleri konusundaki çalışmaları cazip kılmaktadır.

Bu çalışmada bir kamu kurumuna ait gerçek bir tesis yeri seçimi problemi ele alınmıştır. Bu problem, temel olarak kamu kurumunun ülke çapında çeşitli il ve ilçelerde konuşlu hizmet merkezi sayısını azaltmak istemesinden kaynaklanmaktadır. Ancak, mevcut tesislerin genel yönetimin taleplerini karşılayamaması durumunda yeni tesislerin açılması da söz konusudur.

Bu problemin çözümü için iki farklı yöneylem araştırması yöntemi birlikte kullanılmıştır. İlk olarak sistemde il merkezlerindeki tesisler dışında hiç bir tesis yokmuş gibi yeni tesislerin nerelere yerleştirilmesi gerektiği ve hangi ilçelerin hangi tesislerden hizmet alacağı bir matematiksel programlama

modeli ile belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonra mevcut tesisler arasında, kamu kurumunun sahip olmasını istediği niteliklerden en fazlasına sahip olanlar Stokastik Çok Kriterli Kabuledilebilirlik Analizi-TRI (SMAA-TRI) metodu ile tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında matematiksel modelin açılmasını önerdiği tesislerin SMAA-TRI çözümünde de tercih edilen tesisler olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Tesis Yeri Seçimi, Stokastik Çok Kriterli Kabuledilebilirlik Analizi, SMAA.

Tez Yöneticisi : Dr.P.Yb. Erkan KÖSE

Sayfa Sayısı : 81

**T.C.
TURKISH MILITARY ACADEMY
DEFENSE SCIENCE INSTITUTE
DEPARTMENT OF OPERATION RESEARCH
ANKARA 2013**

**FACILITY LOCATION FOR A PUBLIC INSTITUTION BY
MATHEMATICAL MODEL AND STOCHASTIC MULTICRITERIA
ACCEPTABILITY ANALYSIS**

MASTER'S THESIS

Selahattin KARABAY

ABSTRACT

The facility location problem, especially in the last 50 years, is an area where too many studies occur, in the field of operations research. Rapidly evolving technology and other conditions requires a more efficient facility location selection. The reason that established systems are unable to respond to the needs of the day, make studies in the field of facility location problems more attractive.

In this study a real-life public sector facility location problem is considered. This problem fundamentally originated from the desire of public sector to downsize the number of service centers stationed in various cities and towns country-wide. However, opening of new facilities are also considered in case the current facilities fail to fulfill general management's demands.

Two operation research methodologies are used together to solve this problem. First, a mathematical programming model is introduced to determine where the new facilities will be located, and which districts get

service from which facilities as if there are currently no existing facilities except the facilities at central districts. Then, the service centers that have the more specific qualifications were determined by Stochastic Multi-criteria Acceptability Analysis-TRI (SMAA-TRI) method, among existing facilities. It is seen that the facilities which mathematical model tries to open, are also favored by SMAA-TRI solution by the compression of outcomes.

Keywords : Facility Location, Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis, SMAA.

Advisor : Dr.P.Yb. Erkan KÖSE

Number of Pages : 81

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xv
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xvi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1. İLK ÇALIŞMALAR.....	5
2. TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	6
3. KAPASİTE KISITLI TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMLERİ	10
4. TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME.....	12

İKİNCİ BÖLÜM

TESİS YER SEÇİMİ PROBLEMLERİ

1. GİRİŞ.....	18
2. ŞEBEKE TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMLERİ	20
a. Ortanca Problemleri	20

b. Kaplama Problemleri.....	23
c. Merkez Problemleri	25
ç. Ana Dağıtım Üssü Tesis Yeri Seçimi Problemleri	26

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

STOKASTİK ÇOK KRİTERLİ KABUL EDİLEBİLİRLİK ANALİZİ

1. GİRİŞ.....	29
2. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME	30
3. STOKASTİK ÇOK KRİTERLİ KABUL EDİLEBİLİRLİK ANALİZİ	32
4. SMAA METODUNUN GELİŞİMİ	34
5. SMAA ÇEŞİTLERİ VE YÖNTEM SEÇİMİ	35
a. SMAA.....	34
b. SMAA-3.....	38
c. SMAA-2.....	38
ç. SMAA-O	40
d. Ref-SMAA.....	41
e. SMAA-TRI.....	42
f. Metot Seçimi	48
6. SMAA-TRI ÖRNEK OLAY.....	49

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

1. PROBLEMİN TANIMI.....	56
2. MATEMATİKSEL MODEL.....	58
a. Kümeler.....	59
b. Girdi Değerleri ve Sabitler.....	60
c. Karar Değişkenleri.....	61
ç. Model.....	62
d. Modelin Sonuçları.....	63
3. SMAA-TRI UYGULAMASI.....	64
4. UYGULAMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	69

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

1. SONUÇLAR.....	71
2. ÖNERİLER.....	73

KAYNAKÇA

KAYNAKLAR.....	75
----------------	----

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo-1: Tesis Yeri Seçimi Problemleri İçin Sınıflandırma Matrisi	7
Tablo-2: Kapasite Kısıtlı Tesis Yeri Seçimi Problemleri Literatür Özeti	11
Tablo-3: SMAA Uygulamaları Tablosu	15
Tablo-4: ÇKKV Problemlerinin Genel Gösterimi.....	31
Tablo-5: Sıralı Kriter Değerleri Tablosu.....	41
Tablo-6: Kriter Ağırlık Değerleri Tablosu	50
Tablo-7: Alternatif Bölgelerin Kriter Değerleri Tablosu	50
Tablo-8: ELECTRE TRI Sonuçları.....	51
Tablo-9: Yeniden Analiz İçin Kriter Ağırlıkları Sınırları Tablosu.....	52
Tablo-10: Kategori Kabul Edilebilirlik İndisleri Tablosu.....	53
Tablo-11: Mevcut Tesisler Matrisi	57
Tablo-12: İlçe Gelişmişlik Matrisi.....	60
Tablo-13: Tesis Tipinde Çalışan Memur Sayıları	60
Tablo-14: Mesafe Matrisi.....	61
Tablo-15: Matematiksel Model Sonuçları	63
Tablo-16: SMAA-TRI Sonuçları Tablosu	68
Tablo-17: Matematiksel Model ve SMAA-TRI Sonuçlar Tablosu.....	69

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil-1: Weber-Fermat Problemi ve Torricelli Çözüm Yaklaşımı.....	6
Şekil-2: Ortanca/Merkez Problemleri Şematik Gösterimi.....	21
Şekil-3: Kaplama Problemleri Şematik Gösterimi.....	23
Şekil-4: ELECTRE TRI Adımları.....	46
Şekil-5: SMAA-TRI Simülasyon Adımları	47
Şekil-6: SMAA Metot Seçimi Karar Ağacı.....	48
Şekil-7: Kategori Kabul Edilebilirlik İndisleri.....	53

KISALTMALAR LİSTESİ

AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
ELECTRE	: Elimination Et Choix Traduisant La Realite
GAMS	: General Algebraic Modeling System
PROMETHEE	: Preference Ranking Orginazation Method For Enrichment Evaluations
SMAA	: Stochastic Multi-criteria Acceptability Analysis
TOPSIS	: Technique For Order Preference By Similarity To İdeal Solution

GİRİŞ

Tesis yeri seçimi problemleri uzun yıllardan beri araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Bu problemler yöneylem araştırması bilim dalında önemli bir yere sahiptir. Bu alanda yapılan çalışmalar genellikle matematiksel modelin veya çözüm yöntemlerinin iyileştirilmesine yöneliktir.

Özellikle gelişen ulaşım imkânları, teknolojik gelişmeler, merkezi yaşam alanlarındaki yer sıkıntısı, zaman kısıtlamaları tesis yeri seçimi problemlerinin daha karmaşık bir hal almasına neden olmuştur.

Kurulacak tesislerin özelliklerine ve üretilecek ürün ya da verilecek hizmete göre tesis yerlerinin seçiminde çok çeşitli ölçütler karara etki etmektedir. Tesis yeri seçimini etkileyen faktörler ekonomik, doğal, sosyal, psikolojik veya politik olabilir. Örneğin bir zeytinyağı fabrikası için zeytin üretilen yerlere yakınlık ya da bir demir-çelik fabrikası için madene yakınlık önemli iken itfaiye ya da hastane gibi acil yardım hizmeti sağlayan kurumlar için hizmeti en iyi şekilde sunabileceği yere konuşlanmak birinci önceliktir.

Hem kamu hem de özel sektörde karşımıza çıkan tesis yeri seçimi problemleri amaçları açısından birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Kamu sektörü için insanlara hizmet götürmek ve tüm vatandaşlara ulaşmak hedeflenirken, özel sektör için kar maksimizasyonu ya da maliyet minimizasyonu esas amacı oluşturur.

Yöneylem araştırmasının iki ana dalı, tesis yeri seçimi problemleri için etkin çözüm yolları sunmaktadır. Bunların birincisi matematiksel modellemedir. Tesis yeri seçimi için oluşturulan matematiksel modeller tesislerin nerelere kurulacaklarını ve hangi müşterilerin hangi tesislerden hizmet ya da ürün alacaklarını tespit ederler. Tesis yeri seçimi problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan diğer bir yaklaşım Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleridir. ÇKKV yöntemleri genellikle çeşitli ölçütlere

dayanarak aday yerlerden hangisi ya da hangilerine tesis kurulması gerektiğini ortaya koyar.

İlk çıktıkları günden bu yana tesis yeri seçimi için çözüm yaklaşımları sürekli gelişme göstermişlerdir. Matematiksel modellerde ilk önceleri tek bir tesisin sisteme yerleştirilmesi planlanırken, sonraları birçok tesisin yerleştirilmesi problemin konusunu oluşturmuştur. Gerçek yaşam problemlerine yaklaştırmak için modellere daha çok ve ayrıntılı kısıtlar eklenmiştir. Girdi değerleri başlarda varsayımlara dayalı kesin veriler iken, olasılıklı ve stokastik veriler modellerde kullanılmıştır. ÇKKV metotları için tesis yeri seçimi probleminin çözümü başlarda basit ve az sayıda ölçüt ile yapılırken, değişen koşullar ve gerçek hayatı modelleme gereksinimi birçok ölçütün alternatiflerin değerlendirilmesi için kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Tesis yeri seçimi problemi için gerçek hayat modeline yaklaşma gereksinimi, metotların daha ayrıntılı olmasına neden olmuştur. Bu gereksinim bazı problemlerin çözümünde birden fazla yöntemin birlikte kullanılmasında etkili olmuştur.

Bu çalışmada bir kamu kurumuna ait gerçek bir tesis yeri seçimi problemi ele alınmıştır. Bu problem, temel olarak kamu kurumunun ülke çapında çeşitli il ve ilçelerde konuşlu hizmet merkezi sayısını azaltmak istemesinden kaynaklanmaktadır. Ancak, mevcut tesislerin genel yönetimin taleplerini karşılayamaması durumunda yeni tesislerin açılması da söz konusudur.

Bu problemin çözümü için iki farklı yöneylem araştırması yöntemi birlikte kullanılmıştır. İlk olarak sistemde il merkezlerindeki tesisler dışında hiç bir tesis yokmuş gibi yeni tesislerin nerelere yerleştirilmesi gerektiği ve hangi ilçelerin hangi tesislerden hizmet alacağı bir matematiksel programlama modeli ile belirlenmeye çalışılmıştır. Matematiksel model yardımıyla şu sorulara cevap aranmıştır:

- Sistemde kaç adet hizmet birimi bulunmalıdır.
- Hangi ilçelere hangi tür tesis açılmalıdır.
- Hangi hizmet birimleri kapatılmalıdır.
- Hangi ilçe hangi hizmet merkezinden hizmet almalıdır.

Sistemde hiç bir tesis yokmuş gibi yeni tesislerin nerelere yerleştirilmesi gerektiğinin belirlenmesi aslında dolaylı olarak mevcut tesislerin hangilerin kapatılacağı ve ilave olarak hangi yeni tesislerin kurulacağı sorularına da cevap vermektedir.

Daha sonra mevcut tesisler arasından kamu kurumunun bir hizmet merkezinin sahip olmasını istediği niteliklerden en fazlasına sahip olanlar Stokastik Çok Kriterli Kabuledilebilirlik Analizi-TRI (SMAA-TRI) metodu ile tespit edilmiştir. Bu yöntemde sistemde mevcut hizmet birimleri genel yönetim tarafından belirlenen altı kritere göre değerlendirilmiştir. Yapılan sınıflandırma ile mevcut hizmet birimleri kapatılması gereken ve açık bulundurulması gereken tesisler şeklinde iki kategoriye ayrılmıştır.

Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında matematiksel modelin açılmasını önerdiği tesislerin SMAA-TRI çözümünde de tercih edilen tesisler olduğu görülmüştür.

Literatürde tesis yeri seçimi ile ilgili pek çok çalışmaya rastlamak mümkündür. Bu çalışmayı diğerlerinden ayıran yönleri:

- SMAA yöntemlerinden birisi olan SMAA-TRI metodunun ilk defa tesis yeri seçiminde kullanılıyor olması,

- SMAA-TRI metodu ile matematiksel modelin ilk defa bir çalışmada birlikte kullanılması,
- SMAA metodunu kullanan tesis yeri seçimi problemlerinde yerleştirilecek tesis sayısı bir iken bu çalışmada yerleştirilecek tesis sayısı birden fazla olmasıdır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde tesis yeri seçimi ile ilgili literatür araştırması yer almaktadır. İkinci ve üçüncü bölümlerde uygulanacak olan matematiksel model ve SMAA yöntemleri tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde bir kamu kurumu için gerçek bir tesis yeri seçimi problemine bu iki yöntem kullanılarak çözüm aranmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmanın son bölümünde elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve müteakip çalışmalar için teklifler sunulmuştur.

BİRİNCİ BÖLÜM

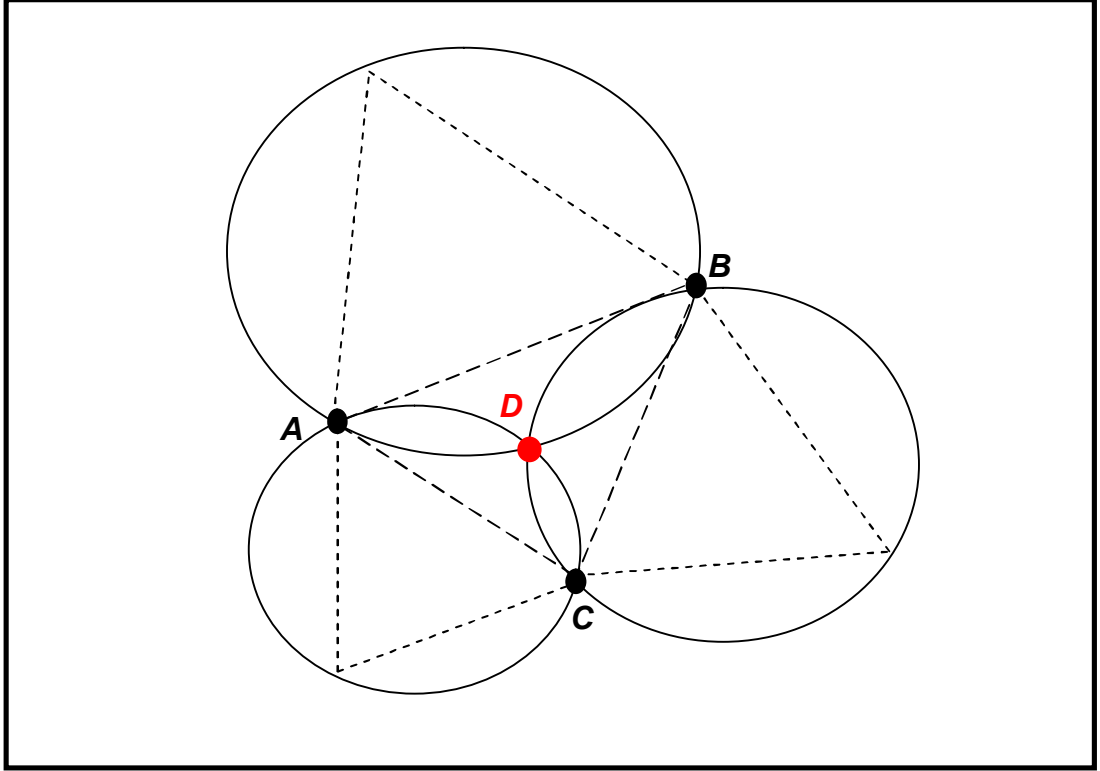
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1. İLK ÇALIŞMALAR

Tesis yeri seçimi ile ilgili literatürdeki ilk çalışma 1909 yılında Alfred Weber tarafından yapılmıştır. Weber birçok müşteriye hizmet verecek bir tesis yerinin talep noktaları ile arasındaki toplam mesafeyi minimize edecek şekilde belirlenmesi için bir model önermiştir (Weber, 1909).

Buna rağmen birçok kişi tesis yeri seçimi probleminin başlangıcı olarak Pierre de Fermat (1601-1665) tarafından ortaya atılan şu problemi göstererek 17'nci yüzyılı milat olarak kabul etmektedir:

Verilen A, B ve C noktalarına bir D noktasını, diğer noktalara olan toplam mesafeyi en küçük yapacak şekilde yerleştirilmesi; yani A-D, B-D ve C-D mesafeleri toplamını en küçük yapacak şekilde D noktasını en uygun yere yerleşimi, problemin ana hatlarını oluşturmaktadır. 1640 yılından önce Torricelli, 1647 yılında Cavalieri, 1750 yılında Simpson ve 1834 yılında Heinen problemin çözümü için çeşitli yaklaşımlar önermişlerdir. Problemin grafik gösterimi ve en meşhurlarından olan Torricelli'nin çözüm yaklaşımı Şekil 1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 1: Weber-Fermat Problemi ve Torricelli Çözüm Yaklaşımı

2. TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Tesis yeri seçimi problemleri için amaç fonksiyonları, kısıtlar, müşteri sayıları ve tipleri, tesis sayıları ve tipleri, çözüm metotları ve problemin sahip olduğu diğer niteliklere göre çok çeşitli sınıflandırmalar yapılabilir. Literatürde farklı sınıflandırmalarla karşılaşmak mümkündür. Bunların en kapsamlı olanları Owen ve Daskin (1998) ve Klose ve Drexl (2004)'ün yapmış oldukları sınıflandırmalardır.

Tablo 1'de literatürde yer alan farklı sınıflandırma türlerine ilişkin özet bilgiler sunulmuştur.

Tablo 1: Tesis Yeri Seçimi Problemleri İçin Sınıflandırma Matrisi

SINIFLANDIRMA KONUSU	SINIFLAR	AÇIKLAMALAR
PROBLEMİN BULUNDUĞU UZAY	Sürekli Uzay	Sürekli uzaydaki modellerde tesisler sistemin herhangi bir yerine yerleştirilebilir.
	Şebeke Uzayı	Sistem bir şebeke üzerinde kuruludur. Talepler ve tesisler düğümler ya da serimler üzerinde bulunabilir.
	Kesikli Uzay	Kesikli uzaydaki sistemlerde tesisler sadece aday düğümler üzerine yerleştirilebilir.
AMAÇ FONKSİYONU	Merkez	Amaç fonksiyonu toplam ya da ortalama mesafeyi minimize etmeye çalışır.
	Ortanca	Amaç fonksiyonu en büyük mesafeyi minimize etmeye çalışır.
ÇÖZÜM METODU	En İyi Sonucu Bulan Metotlar	En iyi sonucu bulmaya çalışan algoritmalar. Ör: Dal-sınır, Kesme Algoritmaları
	Sezgisel Metotlar	En iyi sonuca yaklaşık sonuç bulmaya çalışan sezgisel ve meta-sezgisel algoritmalar.
TALEP TÜRÜ	Tek Ürün	Problemden tek tip ürün mevcuttur.
	Çok Ürün	Birkaç çeşit ürün dağıtımını modelleyen problemlerdir.
TEDARİK ZİNCİR ÇEŞİDİ	Tek Aşamalı	Üreticiler ve müşteriler arasında bir birim bulunmaz.
	Çok Aşamalı	Ürün fabrikadan çıktıktan sonra depolar, toptancılar gibi ara birimlere, daha sonra müşteriye ulaşır.
ZAMAN ARALIĞI	Statik	Statik modellerde tüm değişkenler aynı anda düşünülür.
	Dinamik	Dinamik modeller farklı zaman aralıkları ele alınırken çözümün bu periyotlar için verilen değişik verilere göre değişik çözümler üretmelidir.
GİRDİ PARAMETRELERİ	Deterministik	Bu modellerde girdi verileri belirlidir.
	Stokastik	Girdi verilerinin olasılık dağılımlar gösterdiği veya belirsiz olduğu modeller bu sınıfa girer. Bu problemler gerçek hayat problemlerine daha yakındır.
TESİS SAYISI	Tek	Bir tesisin sisteme yerleştirilmesi problemlerdir.
	Belirli	Bu problemlerde sisteme yerleştirilmek istenen tesis sayısı bellidir.
	Belirsiz	Modelin çözümünde aynı zamanda yerleştirilecek tesis sayısını bulan problemlerdir.
KISIT TÜRÜ	Kapasite Kısıtlı	Yerleştirilecek tesislerin ürün miktarları veya hizmet kapasiteleri sınırlıdır.
	Kapasite Kısıtsız	Tek bir tesis tüm taleplere cevap verebilir.
TESİS TİPİ	İstenilen	Müşterilerin hastane ve benzeri tesislere yakın olmak istedikleri problem türleridir.
	İstenilmeyen	Talep noktalarının kurulacak nükleer reaktör ve benzeri tesislere uzak olmasının istendiği problemlerdir.
SEKTÖR TİPİ	Kamu Sektörü	Önceliğin vatandaşlara hizmet götürmek olduğu problem tipidir.
	Özel Sektör	Tesis yerleşiminde amaç kar maksimizasyonu ya da maliyet minimizasyonudur.

Problemin yer aldığı uzaya göre yapılan sınıflandırmalarda tesis yeri seçimi problemleri üç sınıfa ayrılır. Bunlar sürekli uzay, kesikli uzay ve şebeke uzayıdır. Sürekli uzayda yer alan problemlerde tesisler, herhangi bir yere yerleştirilebilir. Şebeke uzayında tesisler, sadece düğümler ve bu düğümleri birbirine bağlayan yollardan oluşan şebeke üzerine yerleştirilebilir. Kesikli uzayda yer alan problemlerde tesisler sadece aday noktalar üzerine yerleştirilebilir.

Literatürde tesis yeri seçimi problemlerinin çok çeşitli çözüm yaklaşımları bulunmaktadır. Ama genel olarak bu çözüm yaklaşımları, en iyi sonucu bulan algoritmalar ve en iyi sonuca yaklaşık sonuç bulan sezgisel algoritmalar olarak ikiye ayrılmaktadır. Dal-sınır algoritması ve kesme algoritmaları en iyi sonucu bulmak için kullanılan algoritmalarlardır. Büyük çaplı tesis yeri seçimi problemlerinde kullanılan algoritmalar üssel zamanlı olduğu için en iyi çözümü bulmak genellikle çok güçtür. Örneğin 30 tesisin yerleştirmesini 1 saniyede değerlendirip yapabilen bir bilgisayar, tesis sayısı 40 olduğunda 17 dakika, bu sayı 70 olduğunda ise yaklaşık olarak 31000 yılda sonuca ulaşabilmektedir. Hakimi bu problemlerin NP-Zor tür problemler olduğunu 1979 yılında ispatlamıştır (Kariv ve Hakimi, 1979). Literatürün büyük bir kısmını, etkili çözüm yaklaşımları bulmayı amaçlayan çalışmalar oluşturmaktadır. Sezgisel yaklaşımlar içerisinde Lagrange Gevşetmesi, Tepe Tırmanma, Genetik Algoritma, Tavlama Benzetimi, Karınca Kolonisi ve Tabu Arama en yaygın kullanılan yöntemlerdir.

Talep türüne göre yapılan tesis yeri seçimi problemlerinin sınıflandırması, taleplerin tek ürün veya çok ürünlü olması şeklinde yapılmaktadır. Yine talep türüne göre yapılan diğer bir sınıflandırma da ise taleplerin bölünebilir olup olmaması problemin sınıfını belirlemektedir. Bölünebilir talepli problemlerde müşterinin ürün talebi farklı tesislerden karşılanabilirken, bölünemez talepli problemlerde müşteri talebinin tamamı sadece tek bir tesisten karşılanmaktadır.

Tesis yeri seçimi problemlerini, tedarik zinciri yapısına göre tek-aşamalı ve çok-aşamalı olmak üzere iki sınıfta incelemek mümkündür. Tek-

aşamalı tedarik zincirine sahip tesis yeri seçimi problemleri hizmet dağıtımını için sadece müşteriler ve talep edilen ürünü sağlayan tedarikçiler arası ürün dağıtımını incelemektedir. Çok-aşamalı tedarik zincirine sahip tesis yeri seçimi modelleri ise ürün akışında fabrikalar, satıcılar, depolar, müşteriler gibi değişik hiyerarşik kademeler arası ürün akışını ele almaktadır (Gao ve Robinson, 1994).

Zaman aralıkları açısından tesis yeri seçimi problemlerinin sınıflandırılmasında modeller statik ve dinamik modeller olarak ikiye ayrılmaktadır. Statik modeller sistemin performansını en iyilemeye çalışırken tüm değişkenleri aynı anda ele almaktadır. Dinamik modeller ise bunun tersine aralarında veri değişiklikleri olan değişik zaman aralıklarını ele alıp, her zaman aralığı için değişen koşullara uygun çözümler önerilmektedir (Erlenkotter, 1981).

Tesis yeri seçimi problemleri için diğer bir sınıflandırma da problemin girdi parametrelerinin özellikleri açısından yapılmaktadır. Deterministik modellerde parametre değerleri kesin değerler olup, bu problemlerin çözüm yaklaşımları ve çözüm zamanları nispeten daha kolay ve hızlıdır (Marinov ve Reville, 1992). Bunun yanında çoğu gerçek yaşam problemlerinde olduğu gibi, stokastik/olasılıklı tesis yeri seçimi modellerinde girdi parametreleri kesin olmayan, stokastik veya olasılıklı değerlerdir. Bu tür modeller gerçek-yaşam problemlerinin değişkenliğini, rastgele sayıların olasılık dağılımları ya da kesin olmayan parametreler ile olası gelecek senaryoları kullanarak gidermeye çalışmaktadır (Owen ve Daskin, 1998).

Tesis yeri seçimi problemlerinde ilk çalışmalar genellikle tek tesisi sisteme yerleştirme konusu ile ilgilenmiştir. Sonraki çalışmalar p adet ($p > 1$) tesisin sisteme yerleştirilmesi veya kısıtlar ve amaç fonksiyonu sayesinde modelin tesis sayısını kendi belirlemesini sağlayan çalışmalar şeklinde yapılmıştır.

Sektör tipini esas alarak yapılan sınıflandırmada tesisi yeri seçimi problemleri iki sınıfa ayrılmaktadır. Özel sektörde yapılan çalışmalarda amaç fonksiyonu genellikle kar maksimizasyonu ya da maliyetin minimizasyonu olurken, kamu sektörü modellerinin amacı tüm vatandaşların idare etkinliğinden en iyi şekilde faydalanabilmesi sağlamaktır.

Bahsedilen sınıflandırmalar sonucunda, bu çalışmada ele alınan problemin şebeke uzayında yer alan, kamu sektörüne ait, tek-ürünlü, tek-aşamalı, statik, deterministik girdi parametrelerine sahip, tesis sayısının belirsiz olduğu, kapasite kısıtlı tesis yeri seçimi problemi olduğu görülmektedir.

3. KAPASİTE KISITLI TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMLERİ

Kapasite kısıtlı tesis yeri seçimi problemi literatürünün büyük bir kısmını, etkili çözüm yaklaşımları bulmayı amaçlayan çalışmalar oluşturmaktadır (Melkote ve Daskin, 2001). Kuehn ve Hamburger kapasite kısıtlı tesis yeri seçimi problemlerinin ilk modellerinden birini ve bir sezgisel çözüm algoritmasını sunmuşlardır (Kuehn ve Hamburger, 1963). Bu çalışmada geliştirilen sezgisel yöntemin bu tip problemlerin çözümünde üç önemli avantaj sağladığı görülmektedir: Birincisi, problemin çözülebilmesi için modellemede dikkate değer esneklik sağlamasıdır. İkincisi, büyük ölçekli problemlerin çözümünde kullanılabilir olmasıdır. Üçüncü ve son olarak hesaplama zamanında önemli derecede azalma sağlamasıdır.

Kapasite kısıtlı tesis yeri seçimi probleminin çözümü konusunda gelişme sağlayan çalışmalar Tablo 2'de özet olarak sunulmuştur.

Tablo 2:Kapasite Kısıtlı Tesis Yeri Seçimi Problemleri Literatür Özeti

YAZAR(LAR)	TARİH	ÇALIŞMA KONUSU
Davis ve Ray	1969	Benders ayrıştırması
Akınc ve Khumawala	1977	Doğrusal programlama gevşetmesi ile dal-sınır algoritması
Van Roy	1986	Çapraz ayrıştırma
Beasley	1988	Lagrange tabanlı yaklaşım
Magnanti ve Mong	1990	Çözüm yaklaşımları taraması
Jacobsen	1990	Problemin çeşitleri ve birkaç sezgisel yaklaşım
Delmaire vd.	1998	Reaktif GRASP ve tabu araması
Agar ve Salhi	1998	Lagrange Gevşetmesi yaklaşımının çeşitli problemlerdeki performansı
Hindi ve Pienkosz	1999	Büyük ölçekli kapasite kısıtlı tesis yeri seçim problemi
Hinojosa vd.	2000	Çift aşamalı kapasite kısıtlı tesis yeri seçim problemi
Alfieri vd.	2002	Doğrusal programlama tabanlı sezgisel
Baldacci vd.	2002	Kümelere ayırma yaklaşımı tabanlı yeni bir metot
Diaz ve Fernandez	2002	Dal-Bedel algoritması
Ghiani vd.	2002	Bir aday noktaya birden çok tesis açmayı konu alan bir çalışma
Cortinhal ve Captivo	2003	Tabu araması
Ahuja vd.	2004	Çoklu-değişim sezgiseli
Contreras ve Diaz	2008	Dağınık arama
Chen ve Ting	2008	Lagrange gevşetmesi ve karınca kolonisi yaklaşımlarının birleştirilmesi
Lai vd.	2010	Melez algoritma
Yang vd.	2012	Kes-Çöz tabanlı algoritma

Yakın zamanda yapılan çalışmalardan Hinojosa vd. çok-zamanlı, iki aşamalı ve çok-ürünlü bir kapasite kısıtlı tesis yeri seçim problemi üzerinde çalışmışlardır (Hinojosa vd., 2000). Yazarlar ürünün fabrikalarda üretilip depolara taşındığı, oradan müşterilere dağıtıldığı çok-aşamalı ve çok-periyotlu bir problem formülüne etmişlerdir. Problemin çözümü tesislerin kapasiteleri ve yerlerinin yanı sıra safhalara göre dağıtım modellerini de göstermektedir. Amaç fonksiyonu maliyet minimizasyonu olan problemde bir Lagrange Gevşetmesi geliştirilmiştir. Problem 4 periyot, 75 müşteri, 25 depo ve 2 çeşit ürün içermektedir.

Meltok ve Daskin kapasiteli sabit maliyetli tesis yeri seçim problemini yol eklentileri yaparak geliştirmişlerdir (Meltok ve Daskin, 2001).

Model 40 nokta ve bu noktaları birleştiren 160 yola kadar büyüyen, rastgele üretilmiş şebekelerde çözülmüştür.

Ghiani vd. aynı aday nokta üzerine birden fazla tesisin kurulmasına izin veren bir kapasite kısıtlı tesis yeri seçim problemi çalışmışlardır (Ghiani vd., 2002). Çalışmalarının esas katkısı Lagrange Gevşetmesi tabanlı yeni bir sezgisel yaklaşım olmuştur. Lingo programı problemi 4 günde çözemezken, söz konusu sezgisel şu anda otoritelerin kullandıklarına nazaran üçte bir oranında daha ekonomik bir çözüm bulmuştur.

Diaz ve Fernandez tek kaynaklı kapasite kısıtlı tesis yeri seçim problemi için Dal ve Bedel Algoritması geliştirmişlerdir (Diaz ve Fernandez, 2002). Amaç fonksiyonu inşaat ve ulaştırma maliyetlerini minimize etmek olan problemde yazarlar tesislerin nerede açılacağına ve kaç tane olacağına karar veren bir model oluşturmuşlardır. Çalışmada iki farklı problem ele alınmıştır. Birincisinde müşteri talebi çeşitli tesislerden sağlanabiliyorken ikincisinde müşteri talebi sadece tek tesisten karşılanabilmektedir. Önerilen Dal-Bedel Algoritması 90 müşterili ve 30 potansiyel tesis yerine kadar denenmiş, elde edilen sonuçlar algoritmanın Lagrange Gevşetmesinden daha iyi olduğunu göstermiştir.

4. TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN ÇKKV

Tesis yeri seçimi probleminin çözümü için matematiksel modellerin dışında ÇKKV metotları da kullanılmaktadır. Tesis yerleri için aday noktaların alternatifleri oluşturduğu bu tip problemlerde kriterler belirlenerek bu kriterlere göre en uygun yerlere tesis kurulması metotların temelini oluşturur. Literatürde tesis yeri seçimi için ÇKKV metotlarının kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur.

Ishizaka vd. bir çalışmada Londra'ya yapılacak bir gazino için alternatif yerlerin değerlendirmesini ÇKKV metotları kullanarak yapmışlardır (Ishizaka vd., 2013). Yazarlar bu çalışmada TOPSIS ve PROMETHEE

metotlarını kullanmışlardır. Araştırmacılar karlılık ve sosyal fayda sağlama açılarından probleme yaklaşmışlar ve bu iki yöntem dışında bir de ağırlıklı toplam adında bir yöntem daha kullanmışlardır.

Güneri vd. 2009 yılında yaptıkları çalışmada tersane yerinin seçimi problemi için ÇKKV metotlarından biri olan bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır (Güneri vd., 2009). Tersane yeri için ele alınan dört alternatiften (İzmir, Yalova, Yumurtalık ve Samsun) biri olan Yalova en uygun yer olarak seçilmiştir.

Karaman vd. tesis yeri seçim problemleri için, içerisinde bulanık AHP metodunun da bulunduğu dört bulanık ÇKKV metodunu analiz etmişlerdir (Karaman vd., 2003). Diğer metotlar sırası ile Blin tarafından önerilen bulanık model grup karar verme (Blin, 1974), bulanık sentetik değerlendirme ve Yeger'in ağırlıklandırılmış hedefler metodudur.

Chou vd. uluslararası turistik otel yerlerinin seçimi için 21 kriterin kullanıldığı bulanık ÇKKV metodu önermişlerdir (Chou vd., 2008). Yazarlar bu çalışmada değerlendirmede kullanılan 21 kriterin ağırlıklandırılması için dört farklı yöntem kullanmışlardır. Bu yöntemler; bulanık küme teorisi, dilbilimsel değerler, hiyerarşik yapı analizi ve bulanık AHP yöntemleridir.

Literatürde tesis yeri seçimi problemlerinin çözümü için birden fazla yöntemin birleştirilerek ya da birbirlerinden bağımsız olarak kullanıldığına rastlanmaktadır. Araştırmacıların, birden fazla yöntem kullanma nedenleri şöyle sıralanabilir:

- Verilecek kararlar önemli ve değiştirilmesi çok maliyetlidir.
- Daha çok bilgi kullanarak varsayımların azaltılır.
- Bir yöntemde yapılacak büyük hatalar meydana çıkar.

- Karar vericilere farklı çözümler sunulur.

Badri 1999 yılında hedef programlama ve AHP metodunu birleştirerek tesis yeri seçim problemleri için yeni bir model önermiştir (Badri, 1999). Çalışmada büyük bir petrokimya şirketinin Suudi Arabistan, Birleşik Arap Emirlikleri, Bahreyn, Kuveyt, Katar ve Umman arasından birine açacağı büyük bir dağıtım üssünün yerine karar verilmektedir. Bu alternatifler politik durum, küresel rekabet potansiyeli, hükümet kuralları ve ekonomi ilişkili faktörler gibi dört kritere göre değerlendirilmiştir. Uygulamada ilk önce AHP ve hedef programlama tek-tek kullanılmış daha sonra bütünleşik metot kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Vahidnia vd. coğrafi bilgi sistemleri ve bulanık AHP metodunu birleştirmişlerdir. Bu çalışmalarında yazarlar Tahran'da inşa edilecek yeni bir hastanenin yerine karar vermeyi amaçlamışlardır (Vahidnia vd., 2009).

Farahani vd. tesis yeri seçimi için kullanılan ÇKKV yöntemlerini üç kategoride incelemişlerdir (Farahani vd., 2010). Bu çalışmada öncelikle yöntemler iki-amaçlı, çok-amaçlı ve çok-nitelikli olarak ayrılmıştır. Daha sonra problemlerin çözüm yöntemleri incelenmiştir.

ÇKKV yöntemlerini gerçek yaşam problemlerine yaklaştırmak için bazı belirsizlik durumlarının çözüm yaklaşımlarına dâhil edildiği görülmektedir. Bulanıklık, bilgi eksikliği, olasılıklı değerler bu belirsizlik durumlarının bazılarıdır. SMAA metodu hem kriter ağırlıklarında hem de alternatiflerin kriter değerlerinde görülen belirsizliklerin probleme stokastik değişkenler olarak eklenilebildiği ilk metottur (Tervonen ve Lahdelma, 2007).

SMAA metodu bir gerçek yaşam probleminin çözümü ile bağlantılı olarak ortaya çıkmıştır (Tervonen ve Figueira, 2008). Bu problem Helsinki'de bir liman yeri seçimi problemidir. Bundan sonra birçok gerçek yaşam probleminde SMAA metotları kullanılmıştır. Tablo-3'te yayınlanmış SMAA uygulamaları ve bu uygulamaların özellikleri gösterilmiştir.

Tablo-3: SMAA Uygulamaları Tablosu

UYGULAMA	ÖZELLİK	UYGULANAN YÖNTEM	YAYIN
Liman yer seçimi	SMAA ortaya çıkmıştır. Kriter ağırlıkları yoktur.	SMAA	Hokkanen vd., 1999
Atık değerlendirme tesisi yer seçimi	Sadece sıralı kriter değerleri mevcuttur	SMAA-2	Lahdelma vd., 2002
Genel planlama	SMAA-3 ortaya çıkmıştır.	SMAA-3	Hokkanen vd., 1998
Kirli toprağın temizlenmesi için aday sıralama	Ağırlık sınırları uygulanmıştır.	SMAA-2	Hokkanen vd., 2000
Arazi doldurma onarım metodu seçimi	Sıralı ve asıl kriter değerleri ve sıralı kriter ağırlıkları kullanılmıştır.	SMAA-2	Lahdelma vd., 2001
Ekosistem yönetim planlama	Sıralı ve asıl değerler birlikte kullanılmıştır.	SMAA-2	Kangas vd., 2003
Katı atık yönetim sistemi seçimi	SMAA-O ortaya çıkmıştır.	SMAA-O	Lahdelma vd., 2003
Elektrik dağıtıcısı için stratejik karar verme	Ref-SMAA ortaya çıkmıştır.	Ref-SMAA	Lahdelma vd., 2005
Orman planlama	Çok kriterli onay metodu ile karşılaştırma yapılmıştır.	SMAA-2	Kangas vd., 2006
Sosyoekolojik arazi planlaması	Sadece sıralı kriter değerleri mevcuttur	SMAA-2	Kangas vd., 2005
Asansör planlama	Bağımsız kriterler kullanılmıştır.	SMAA-2	Tervonen vd., 2008
Bölgelerin risk kategorilerinin belirlenmesi	SMAA-TRI ortaya çıkmıştır	SMAA-TRI	Tervonen vd., 2009a
Nano-Malzeme sınıflandırması	Bir karar destek sistemi önerilmiştir.	SMAA-TRI	Tervonen vd., 2009b
Hava kargo sistemi için ana dağıtım üssü yer seçimi	Hem kriter değerlerinde hem ağırlıklarda belirsizlik mevcuttur.	SMAA-O	Menou vd., 2010
Ormanlık alan verimlilik tahmini	Sıralı kriter değerleri kullanılarak model seçimi yapılmıştır.	SMAA	Aertsen vd., 2011
İlaç fayda risk analizi	Sıralı kriter ağırlık değerleri ile çalışılmıştır.	SMAA-2	Tervonen vd., 2011
Makineli tüfek seçimi	Stokastik kriter değerleri kullanılmıştır.	SMAA-TOPSIS	Okul, 2012
Üniversite kalitelerine göre ülkelerin sıralanması	Katkı değer teorisi uygulanmıştır.	SMAA-2	Kadzinski ve Tervonen, 2013

Tablo-3'te sunulan SMAA uygulamaları arasından tesis yeri seçimi problemlerini konu alan çalışmalar şunlardır:

Hokkanen vd. SMAA metodunun kullanıldığı ilk çalışmada Helsinki liman inşası için 24 alternatif yer içerisinde 11 kritere göre en uygun olanını belirlemeye çalışmışlardır (Hokkanen vd., 1999). Bu çalışma SMAA metodunun kullanıldığı ilk gerçek yaşam problemi ve SMAA metodunun kullanıldığı ilk tesis yeri seçim problemi olarak göze çarpmaktadır.

Lahdelma vd. sıralı kriter değerlerine sahip alternatifler için sundukları yeni bir SMAA metodu olan SMAA-O metodu ile Finlandiya'da bir atık arıtma tesisinin yerini seçmişlerdir (Lahdelma vd., 2002). Bu çalışmada yazarlar dört alternatifi 17 kriter göre değerlendirmişlerdir.

Fas'a yapılacak bir havaalanı ana dağıtım üssünün 9 alternatif yer içerisinde nereye kurulması gerektiğini bulmak için Menou vd. SMAA-O metodunu kullanmışlardır (Menou vd., 2010). Yazarlar bu alternatifleri yatırım maliyeti, üreticilere yakınlık, bölge potansiyeli, ulaştırma maliyeti, servis seviyesi ve çevre olmak üzere altı kritere göre değerlendirmişlerdir.

Gerçek hayat problemlerine ait çözümlerin doğruluğu artırmak ve daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için tesis yeri seçimi literatüründe yapılan iki uygulama göze çarpmaktadır. Bunlardan birincisi girdi verilerinin stokastik/olasılıklı ya da kesin olmayan değerler şeklinde ele alındığı yöntemler kullanmak, ikincisi ise birden fazla yöntemi bir arada kullanmaktır.

Bu çalışmada SMAA yöntemlerinden birisi olan SMAA-TRI metodu ve bir matematiksel model gerçek yaşam problemine çözümünde birlikte kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmayı literatürdeki diğer çalışmalardan ayıran yönleri şöyle sıralamak mümkündür:

- SMAA-TRI metodu ilk defa tesis yeri seçiminde kullanılmıştır.
- SMAA-TRI metodu ile matematiksel model ilk defa bir çalışmada birlikte kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.
- SMAA metodunu kullanan tesis yeri seçimi problemlerinde yerleştirilecek tesis sayısı bir iken bu çalışmada yerleştirilecek tesis sayısı birden fazladır.

İKİNCİ BÖLÜM

TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMLERİ

1. GİRİŞ

Tesis yeri seçimi problemleri yüzyıllardır çok çeşitli şekillerde çalışılan ve sürekli gelişim halinde olan bir araştırma alanıdır. Tesis yeri seçimi problemlerinin içerikleri değişiklikler gösterse de ana özellikleri her zaman aynıdır (Revelle vd., 2008). Bu özellikler:

- Problemden belirli *ölçüm sistemine* sahip *bir alan* mevcuttur.
- Verilen alanda yerleri belli olan *müşteriler* bulunur.
- Bir amaç fonksiyonuna göre yerleri belirlenmek istenen *tesisler vardır*.

Özellikle son 50 senede gelişme gösteren tesis yeri seçimi problemlerinin günümüzde özel sektörde maksimum kazancı ve minimum maliyeti sağlamak, kamu sektöründe tüm vatandaşların idare etkinliklerine erişimlerini kolaylaştırmak, askeri çalışmalarda en az malzeme ve personel zayıflığı ile hareket icra etmek gibi uygulama alanları bulmaktadır.

Önceleri sadece bir kentten diğerine malzeme gönderme sorumluluğu olan şirketler, gelişen teknoloji ve günümüz koşullarında kıtalararası tesisler kurmak ve bu tesisler arasında büyük miktarlarda malzeme akışı sağlamak zorundadırlar. İletişim, özellikle de internet teknolojisindeki muazzam gelişim sayesinde bu malzeme akışı çok kısa sürelerde gerçekleştirilmelidir. Günümüz rekabetçi piyasasında bu koşullara ayak uyduramayan şirketlerin ayakta durmaları mümkün görünmemektedir. İşte tesis yeri seçimi çalışma alanına giren tüm bu konular, söz konusu alanın sayısız çalışma yapılmış olmasına rağmen, halen çalışılması cazip ve sürekli gelişmeye açık olmasını sağlamaktadır.

Bir tesis yeri seçimi problemini karakterize eden dört bileşen mevcuttur (Revelle ve Eiselt, 2005). Bunlar (1) sistemde talepleri olan ve yerleri belli müşteriler, (2) yerleştirilmesi istenen tesisler, (3) müşteri ve tesislerin bulunduğu bir alan ve (4) müşteriler ve tesisler arası mesafe ya da zamanı hesaplamaya yarayan bir ölçüm sistemidir.

Problemlerin çözümü için amaç fonksiyonu ya da kısıtlarda önemli bir parametre değeri olan müşteriler ve tesisler arası mesafe ya da zaman bir ölçü birimi ile hesaplanmalıdır. Zaman hesabındaki kullanılan ölçü birimleri problemlerde farklılık göstermezken, kullanılan mesafe ölçüleri çeşitlilik göstermektedir.

Mesafeler çoğunlukla Minkowski mesafeleri denilen tek p parametrelili mesafe ailesinden gelmektedir. Bu mesafe $i \neq j$ olmak üzere koordinatları (a_i, b_i) ve (a_j, b_j) olan iki nokta için aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$d_{ij}^p = \left[|a_i - a_j|^p + |b_i - b_j|^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad (2.1)$$

P parametresinin değişimi ile bu mesafe ölçüm sistemleri değişik isimler alır. Literatürde yer alan çalışmaların büyük çoğunluğu şu üç ölçü sistemi üzerinde durmaktadır:

(1) $p=1$ durumu Manhattan ölçü sistemidir. Dikdörtgensel ölçü sistemi de denilen bu sistemde mesafeler aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$d_{ij} = |a_i - a_j| + |b_i - b_j| \quad (2.2)$$

(2) $p=2$ durumu en çok kullanılan Öklid ölçü sistemidir. Öklid ölçü sistemine göre mesafeler aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$d_{ij}^2 = \sqrt{(a_i - a_j)^2 + (b_i - b_j)^2} \quad (2.3)$$

(3) Son olarak $p=\infty$ durumu Chebyshev ölçü sistemidir. Bu durumda mesafeler aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$d_{ij} = \max\{|a_i - a_j|; |b_i - b_j|\} \quad (2.4)$$

Literatürde geçen tesis yeri seçim problemlerinin çoğunluğu şebeke uzayında yer almaktadır. Yerleştirilecek tesislerin aday noktalar içerisinde hangilerine yerleştirileceği ve müşterilerin bu tesislerin hangisinden hizmet alacağı problemin temelini oluşturmaktadır.

2. ŞEBEKE TESİS YERİ SEÇİM PROBLEMLERİ

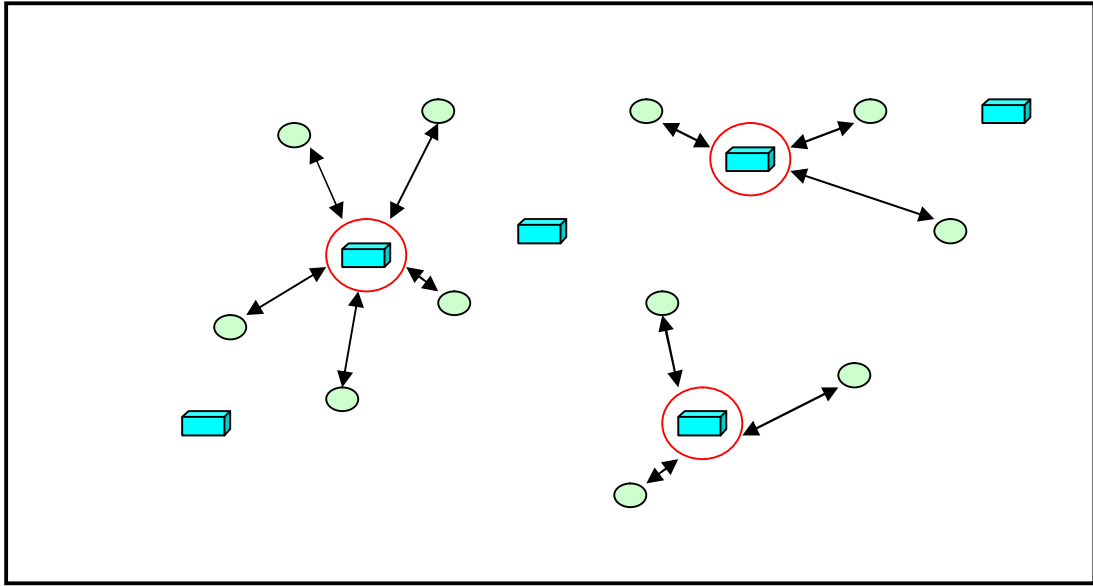
Eğer bir tesis yeri seçim problemi noktalar ve bu noktaları birleştiren bağlantılar şeklinde yapılandırılmışsa, müşteri talepleri noktalarda olabileceği gibi bu noktalar arasındaki bağlantılarda da oluşabilir. Şebeke tesis yeri problemleri beş şekilde sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma aynı zamanda tesis yeri seçim problemlerinin amaç fonksiyonlarına göre yapılan sınıflandırmasına da benzemektedir. Bunlar ortanca problemleri, kaplama problemleri, merkez problemleri, ana dağıtım üssü tesis yeri seçimi problemleri ve hiyerarşik tesis yeri seçimi problemleridir (Arabani ve Farahani, 2012).




a. Ortanca Problemleri

P -ortanca problemleri, önce tek bir tesisin modele yerleştirilmesi problemi olarak ortaya çıkmış daha sonra geliştirilerek p adet tesisin sisteme eklenmesi şeklini almıştır. Ortanca problemleri sistemin tüm performansı ile ilgilidir. Amaç müşteriler ve tesisler arası toplam mesafe ya da ağırlıklı toplam mesafeyi minimize etmektir.

P -ortanca problemleri şematik olarak Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi ortanca problemleri tüm mesafe toplamları ile

ilgilenmektedir ve bir minimizasyon problemidir. Bu nedenle bu problemlere en küçük toplam anlamına gelen minsum problemleri de denmektedir.



-  Açılan tesis
-  Açılmayan tesis
-  Müşteri

Şekil 2: Ortanca/Merkez Problemleri Şematik Gösterimi

P -ortanca probleminin matematiksel gösterimi ve bu gösterimde kullanılan küme, parametre ve değişken tanımlamaları aşağıdaki gibidir (Revelle ve Swain, 1970):

- i : müşterilerin bulunduğu noktalar kümesi
- j : tesis yerleri için aday noktalar kümesi
- w_i : i noktasındaki müşterinin talebi.
- d_{ij} : i noktası ile j noktası arası mesafe.
- p : yerleştirilmek istenen tesis sayısı

$$x_j = \begin{cases} 1, & j \text{ noktasında tesis kurulursa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda.} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ noktasındaki müşteri } j \text{ noktasındaki tesise atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda.} \end{cases}$$

Amaç fonksiyonu:

$$\min \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} w_i d_{ij} y_{ij} \quad (2.5)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2.6)$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (2.7)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (2.8)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (2.9)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (2.10)$$

Modelin amaç fonksiyonu (2.5) talep ağırlıklı tesis-müşteri arası mesafe toplamını minimize etmektedir. (2.6) numaralı kısıt tüm müşterilerin bir açık tesise atanmalarını, (2.7) numaralı kısıt müşterilerin sadece açık tesislere atanmalarını sağlamaktadır. (2.8) numaralı kısıt sisteme p adet tesis açılacağını ifade eder. (2.9) ve (2.10) numaralı kısıtlar karar değişkenlerinin 0 ya da 1 değerini alacağını göstermektedir.

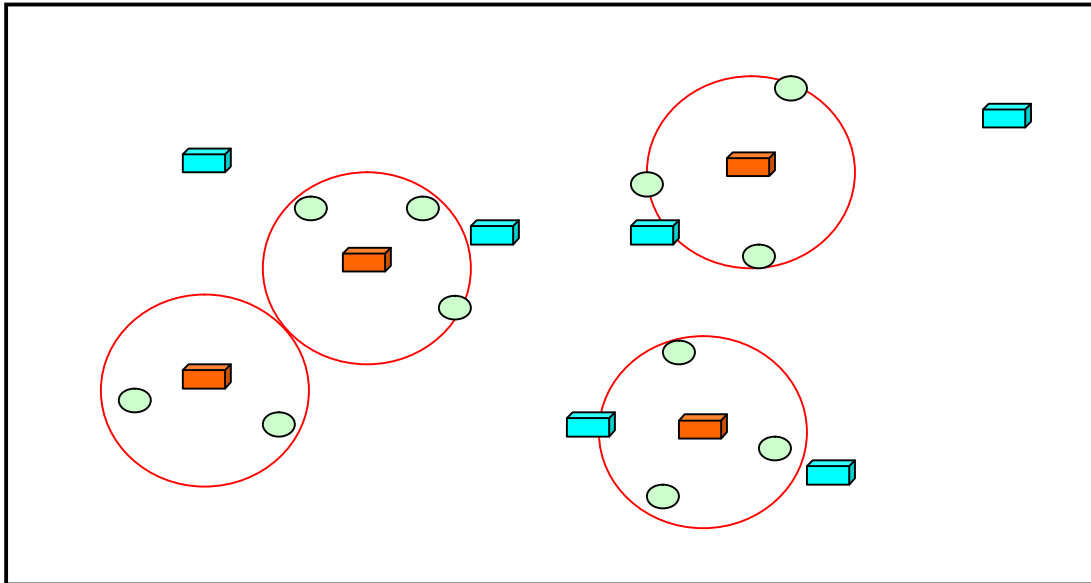
Hakimi 1965'te yaptığı çalışma ile şebekelerde konuşlandırılacak p adet tesisin en azından bir en iyi sonuçta sadece düğümlerde konuşlanması gerektiğini ispatlamıştır (Hakimi, 1965). Bu çalışma, şebekelerde kurulu tesis yeri seçimi problemlerinde çözüm uzayını ve en iyi çözüm için yapılan arama zamanı önemli ölçüde azaltmıştır.




P -ortanca modeli kurulacak tüm tesislerin kurulma maliyetlerinin eşit olduğunu varsayar. Gerçek yaşam problemlerine uzak olan bu varsayımı ortadan kaldırmak için Balinski p -ortanca probleminin matematiksel modelini geliştirerek yeniden formüle etmiştir (Balinski, 1965).

b. Kaplama Problemleri

Kaplama problemlerinde tüm müşteriler kaplama mesafesi ya da kaplama zamanı denilen mesafe veya süre içerisindeki her tesisten hizmet alabilmektedir. Bu problemler tüm müşterileri kapsama zamanı veya mesafesi içerisinde olacak şekilde tesisleri yerleştirmeyi hedeflemektedir. Amaç tüm müşterileri bu kapsama alanı içerisinde alırken kurulacak tesis sayısını minimize etmektir. Literatürde maksimum kaplama, küme kaplama gibi çeşitli kaplama problemine rastlamak mümkündür.

Kaplama problemleri şematik olarak Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi kaplama problemlerinde tesisler tüm müşteriler belirlenen mesafe içerisinde hizmet alacak şekilde konuşlandırılırken, tesis sayısının da en az olması hedeflenmektedir.



-  Açılan tesis
-  Açılmayan tesis
-  Müşteri

Şekil 3: Kaplama Problemleri Şematik Gösterimi

Kaplama probleminin matematiksel gösterimi ve bu gösterimde kullanılan küme, parametre ve değişken tanımlamaları aşağıdaki gibidir (Toregas vd., 1971).

j : müşteriler ve aday tesis yerleri kümesi

$$x_j = \begin{cases} 1, & j \text{ noktasında tesis kurulursa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Amaç fonksiyonu:

$$\min \sum_{j \in J} x_j \quad (2.11)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j \in J} x_j \geq 1 \quad \forall j \in J \quad (2.12)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (2.13)$$

Kısıt (2.12) ile tüm müşterilerin taleplerinin en az bir tesis tarafından karşılanması sağlanmaktadır. Amaç fonksiyonu (2.11) yerleştirilecek tesis sayısını minimize etmekte, (2.13) numaralı kısıt karar değişkeninin alabileceği değerlerin 0 ya da 1 olması gerektiğini ifade etmektedir.

Kaplama problemleri ilk defa Hakimi tarafından ortaya atıldıktan sonra (Hakimi, 1964), Church ve Reville 1974 yılında maksimum kaplama problemini formüle etmişlerdir (Church ve Reville, 1974). Maksimum kaplama problemlerinde amaç en çok talebi karşılayacak şekilde tesisleri yerleştirmektir. Bütün talep noktalarının kaplanmasına gerek yoktur. Kaynakların sınırlı olduğu varsayılarak bu sınırlama kısıt olarak modele eklenmiştir (Gencer ve Açıkgöz, 2006).

Kaplama problemleri, literatürde hastane yerleşimi, itfaiye yerleşimi, ambulans sayısı tespiti gibi hayati öneme sahip tesislerin belli süreler

içerisinde tüm vatandaşlara hizmet etmesi gerekliliği düşüncesiyle ortaya çıkmış problemlerdir.

c. Merkez Problemleri

P -merkez problemlerinde amaç; p adet tesisi bütün talepleri karşılayacak şekilde yerleştirmektir. Bu bakımdan p -merkez ve p -ortanca problemleri birbirine benzemektedir. Aralarındaki temel fark; p -merkez problemlerinde amaç en uzak müşteri-tesis mesafesinin minimize edilmesi, p -ortanca problemlerinde tüm sistemdeki tesis ve tesise atanan müşteri mesafeleri toplamı minimize edilmeye çalışılmaktadır.

P -merkez problemlerinde amaç maksimum mesafenin minimizasyonu olduğundan bu tür problemlere minimaks problemleri de denmektedir.

P -merkez probleminin matematiksel gösterimi ve bu gösterimde kullanılan küme, parametre ve değişken tanımlamaları aşağıdaki gibidir (Daskin, 1995).

i : müşterilerin bulunduğu noktalar kümesi

j : tesis yerleri için aday noktalar kümesi

w_i : i noktasındaki müşterinin talebi.

d_{ij} : i noktası ile j noktası arası mesafe.

p : yerleştirilmek istenen tesis sayısı

$$x_j = \begin{cases} 1, & j \text{ noktasında tesis kurulursa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda.} \end{cases}$$

y_{ij} : i noktasındaki müşteri talebinin j tesisi tarafından karşılanma oranı.

M : müşteri ile en yakın tesis arası maksimum mesafe

Amaç Fonksiyonu:

$$\min M \quad (2.14)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2.15)$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (2.16)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (2.17)$$

$$M \geq \sum_{j \in J} d_{ij} y_{ij} \quad \forall i \quad (2.18)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (2.19)$$

$$y_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (2.20)$$

Modelin amaç fonksiyonu (2.14) maksimum mesafeyi minimize etmektir. Kısıt (2.15), tüm müşterileri en az bir açık tesise atarken, kısıt (2.16), atama yapılacak tesislerin kapalı tesis olmamasını sağlamaktadır. Kısıt (2.17), p adet tesis açılacağını belirtmektedir. Kısıt (2.18)'de yer alan M değeri müşterilerin kendilerine en yakın tesise olan mesafelerden en büyüğüdür. Amaç bunu minimize etmektir. Kısıtlar (2.19), x değişkenin 0 veya 1 değerini almasını sağlarken kısıtlar (2.20), y değişkenin 0 veya pozitif bir değer olduğunu göstermektedir.

ç. Ana Dağıtım Üssü Tesis Yeri Seçimi Problemleri

Ana dağıtım üssü tesis yeri seçimi problemleri, özellik arz eden tesislerin yerleşim problemleri ile uğraşır. Ana dağıtım üsleri genellikle, fabrikalardan gelen ürünlerin depolandığı, ayrıldığı, aktarmalarının yapıldığı ve daha küçük birimlere dağıtımının yapıldığı tesislerdir. Bu daha küçük birimler küçük depo ya da firmalar olabileceği gibi müşteriler de

olabilmektedir. Merkezden tüm birimlere doğrudan dağıtımın yapılması yerine, ürün akışının ana dağıtım üssü vasıtasıyla sağlanması daha ekonomik olabilmektedir. Ana dağıtım üsleri bu maliyet etkinliğini ölçek ekonomileri ile sağlamaktadırlar.

Ana dağıtım üssü tesis yeri seçimi problemleri, dağıtım üslerini yerleştirmek ve diğer birimleri bu üslere atamakla uğraşırlar. Bu tür problemleri genel olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Birinci grupta tek ana dağıtım üssü tesis yeri seçimi problemleri, ikinci grupta ise çoklu ana dağıtım üssü tesis yeri seçimi problemleri yer alır. Tekli ana dağıtım üssü kurma amaçlı problemlerde tüm ürünler merkezlerden tek bir dağıtım üssünde toplanmakta ve tüm birimlere bu üsten gönderilmektedir. Çoklu ana dağıtım üssü problemlerinde ise merkezler ve diğer birimler arasında birden fazla dağıtım üssü yerleştirilirken, merkezlerin hangi dağıtım üssüne ne kadar ürün gönderecekleri ve birimlerin hangi üsten taleplerinin ne kadarını karşılayacağı problemin konusunu oluşturmaktadır.

Literatürde ana dağıtım üssü problemlerinden ilk olarak Goldman tarafından 1969 yılında yapılan çalışmada bahsedilse de (Goldman, 1969); bilinen ilk matematiksel formülasyon, hava yolu şebekesini konu alan çalışmasında O'Kelly tarafından yapılmıştır (O'Kelly, 1987).

Tek aşamalı p-ana dağıtım üssü probleminin matematiksel formülasyonu ile bu formülasyonda kullanılan parametre ve değişken tanımlamalar aşağıdaki gibidir (O'Kelly, 1987).

W_{ij} : i ve j noktaları arası yolcu akışı.

C_{ij} : i noktası ile j noktası arası bir adet ürünün taşıma maliyeti.

α : ölçek ekonomileri faktörü

$$X_{ik} = \begin{cases} 1, & i \text{ noktası } k \text{ ana dağıtım üssüne atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda.} \end{cases}$$

$$X_{kk} = \begin{cases} 1, & k \text{ noktası bir ana dağıtım üssü ise.} \\ 0, & \text{diğer durumlarda.} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$\min \sum_{j \in I} \sum_{i \in I} W_{ij} \left(\sum_k x_{ik} C_{ik} + \sum_m x_{jm} C_{jm} + \alpha \sum_k \sum_m x_{ik} x_{jm} C_{km} \right) \quad (2.21)$$

Kısıtlar:

$$(n-p+1)x_{kk} - \sum_{i \in I} x_{ik} \geq 0 \quad \forall k \in K \quad (2.22)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ik} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2.23)$$

$$\sum_{k \in K} x_{kk} = p \quad (2.24)$$

$$x_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \text{ ve } \forall k \in K \quad (2.25)$$

Amaç fonksiyonu (2.21) ürün akışı maliyetini minimize etmeye çalışmaktadır. Kısıt (2.22) şayet bir müşteri bir ana dağıtım üssüne atanacaksa, o dağıtım üssünün açık olmasını garanti eder. (2.23) ve (2.25) numaralı kısıtlar her bir noktanın sadece bir ana dağıtım üssüne atanmasını, kısıt (2.24) ana dağıtım üssü sayısının p kadar olmasını garanti eder.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

STOKASTİK ÇOK KRİTERLİ KABUL EDİLEBİLİRLİK ANALİZİ

1. GİRİŞ

Karar verme antik çağlardan bugüne, birçok düşünürün çalışma alanını oluşturmuştur. Aristo, Plato ve Thomas Aquinas insanların karar verme kapasiteleri konusunda çalışmışlar ve derin düşünmenin insanlar ile hayvanları ayırt eden temel özellik olduğunu iddia etmişlerdir (Figueira vd., 2005).

Karar verme problemi en genel anlamda; bir seçenek kümesinden en az bir amaç veya ölçüte göre en uygun seçeneğin seçimidir (Yılmaz ve Dağdeviren, 2010).

Karar verme; alternatif sonuçlara sahip bir problemde, bazı amaçlar ve hedefler doğrultusunda bir ya da birkaç alternatifin seçim sürecidir. İnsanlar bir gün içerisinde farkında olmadan bu süreci defalarca yaşarlar ve kendilerine özgü metotlarla hedeflerine ulaşmak için birçok karar verirler. Karar verme problemlerinin başlangıcı olarak Benjamin Franklin'in 1772 yılında yazmış olduğu meşhur "artılar ve eksiler" isimli mektup gösterilmektedir (Figueira vd., 2005).

Özellikle son 30 yılda, karar verme süreci konusunda birçok sistematik metodoloji üretilmiştir. Günümüzde bu metodolojiler gerçek hayat problemlerine ilişkin varsayımları en aza indirerek, alternatiflerden en uygun olanını seçmek için kullanılmaktadır. Seçenekler arasından en iyinin tercih edilmesi için, alternatiflerin bazı kriterlere göre değerlendirmelerinin yapılması ve bu değerlendirmelerin karşılaştırılması gerekmektedir. Literatürde karar verme problemlerine bu tür yaklaşımlarla çözüm arayan metotlara Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) teknikleri denilmektedir.

2. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

ÇKKV problemlerinin tanımı için literatürde atılan ilk ve en önemli adım Roy tarafından 1985 yılında yayınlanan “*problematique*” adlı eserdir (Roy, 1985). Fransızca olan isim temel problemler anlamına gelmektedir. Roy çalışmasında şu dört problemden bahsetmiştir:

Seçim: Alternatiflerin oluşturduğu bir küme içerisinde seçim yapma.

Sınıflandırma: Alternatifleri daha önce belirlenmiş homojen sınıflara ayırma.

Sıralama: Alternatiflerin en iyiden en kötüye doğru sıralanması.

Tanımlama: Alternatifleri ayırt edici özelliklerine göre tanımlama.

ÇKKV, karar vericinin sayılabilir sonlu ya da sayılamaz sayıda seçenekten oluşan bir küme içinde en az iki kriter kullanarak yaptığı seçim işlemi olarak tanımlanabilir (Ersöz ve Kabak, 2010). ÇKKV problemleri sistemin birden fazla alternatif içerisinde en iyi olanı seçerken bu işlemin birden fazla kritere göre yapılması olarak da tanımlanılmaktadır. ÇKKV problemlerinde problemin amacı, alternatifler, kriterler, alternatiflerin her bir kriter için değerleri ve kriter ağırlıkları problemin temel unsurlardır. n adet kriter ve m adet alternatifin yer aldığı bir ÇKKV probleminin genel gösterimi Tablo-4'teki gibidir.

Tablo-4: ÇKKV Problemlerinin Genel Gösterimi

KRİTERLER:	K_1	K_2	.....	K_j	.....	K_n
KRİTER AĞIRLIKLARI:	W_1	W_2	.....	W_j	.....	W_n
ALTERNATİFLER						
X_1	X_{11}	X_{12}	.....	X_{1j}	.....	X_{1n}
X_2	X_{21}	X_{22}	.....	X_{2j}	.....	X_{2n}
X_i	X_{i1}	X_{i2}	.....	X_{ij}	.....	X_{in}
X_m	X_{m1}	X_{m2}	.....	X_{mj}	.....	X_{mn}

Tablo-4'deki bilgiler ele alınan problemde m adet alternatifin (X_1, X_2, \dots, X_m); (W_1, W_2, \dots, W_n) ağırlık değerlerine sahip; n adet kriter (K_1, K_2, \dots, K_n) tarafından değerlendirildiğini göstermektedir. X_{ij} değerleri ise alternatiflerin her bir kriter için aldığı değerlere karşılık gelmektedir.

ÇKKV problemlerinin çözümünde genellikle aşağıdaki prosedür takip edilir:

- 1- Problemin tanımlanması ve amacının belirtilmesi
- 2- Alternatiflerin belirlenmesi
- 3- Kriterlerin belirlenmesi
- 4- Alternatiflerin kriter değerlerinin belirlenmesi
- 5- Kriterlerin ağırlıklandırılması
- 6- Karar ve duyarlılık analizi

ÇKKV metotları karar verme sürecinde, karar vericilerden tüm alternatiflerin kriter değerleri ve kriter ağırlık değerlerini talep etmektedir. Bir problemde bu bilgilerin tümünü sağlamak şu nedenlerle mümkün olmayabilir:

- Veri yetersizliği,
- Birden fazla karar vericinin olduğu durumlarda karar vericilerin aynı değerde uzlaşmaması,
- Karar vericinin tercihini belirtmek istememesi,
- Karar vericinin bu bilgi için tecrübesinin yetersiz olması.

Bu ve bunun gibi sebeplerle son yıllarda yapılan çalışmalar ÇKKV problemlerinin çözümü için gerekli bilgilerin gerçek hayata daha yakın şekilde, eksik olduğu, stokastik olduğu ve hatta hiç bulunmadığı durumlara çözüm aramaktadır. Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi (SMAA) bu nedenle ortaya konulmuş yöntemlerden birisidir.

3. STOKASTİK ÇOK KRİTERLİ KABUL EDİLEBİLİRLİK ANALİZİ

ÇKKV problemlerinde kararın niteliği büyük ölçüde karar vericilerden sağlanan kriter ağırlıkları ve alternatiflerin kriterlere göre aldıkları değerlerin doğru bir şekilde belirlenmesine bağlıdır. Gerçek hayat problemlerinde bu değerlerin tümüne doğru şekilde ulaşmak çoğu zaman mümkün değildir. Politik ve kamusal problemlerde, karar vericilerin birden çok olduğu, verilerin büyük ölçüde değişkenlik gösterdiği durumlarda, söz konusu değerlerin doğru bir şekilde belirlenmesi daha da karmaşık bir hal almaktadır.

SMAA metodu alternatiflerin kriter değerlerinin ve kriter ağırlıklarının politik ve benzeri nedenlerle karar vericilerden temin edilemediği, eksik, veya belirsiz olduğu kesikli ÇKKV problemlerinin çözümü için geliştirilmiştir (Tervonen ve Lahdelma, 2007).

SMAA metodunun diğer çok kriterli karar verme metotları ile kıyaslandığında en önemli avantajlarından bir tanesi, bu yöntemin hiçbir kriter ağırlık değeri olmadan kullanılabilmesi olmasıdır (Lahdelma vd., 1998).

Kriter ağırlık değerlerinin karar vericilerden talep edildiği ÇKKV problemleri için çeşitli ağırlık bulma yöntemleri geliştirilmiştir. Fakat bu yöntemler aynı problem için farklı kriter ağırlıkları bulabilmektedir. Kriter ağırlık bilgisine ihtiyaç duymayan SMAA metodu bu tür problemler için oldukça kullanışlıdır.

ÇKKV çözüm yöntemlerini gerçek hayat problemlerine yaklaştırmak için eksik veya belirsiz bilgi içeren çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Bu alanda uzun yıllar çalışmalar yapılmasına rağmen hem alternatiflerin kriter değerleri hem de kriter ağırlıklarının stokastik değişkenler olarak ifade edilebildiği ilk yöntem SMAA yöntemi olmuştur (Tervonen ve Lahdelma, 2007). SMAA metodunun gerçek hayat problemlerine uygun olmasının nedenlerini Tervonen ve Lahdelma şu şekilde belirtmişlerdir (Tervonen ve Lahdelma, 2007):

- 1- SMAA metodunun kullandığı ters ağırlık uzayı yaklaşımı, karar vericilerden alternatiflerin kriter değerlerinin sağlanamadığı problemler için uygun bir yaklaşımdır. Böyle durumlarda alternatiflerin kriter değerleri, bir aralık veya üzerinde uzlaşılan bir istatistiksel dağılımla ifade edilebilir.
- 2- SMAA metodu eksik veya belirsiz kriter ağırlıklarının yer aldığı problemlerin çözümü için uygun bir yöntemdir.
- 3- SMAA hesaplamaları sayısal metotlarla etkin olarak gerçekleştirilebilmektedir.

4. SMAA METODUNUN GELİŞİMİ

Gerçek yaşam problemleri için geliştirilmiş birçok ÇKKV metodu bulunmaktadır. Bunların en eski olanlarından bir tanesi fayda fonksiyonudur. Bu metotla ilgili ayrıntılı bilgi ve uygulamalar Figueira vd.'nin yaptığı çalışmada mevcuttur (Figueira vd., 2005). Fayda fonksiyonu metodu problemin çözümü için kesin parametre değerlerine ihtiyaç duymaktadır. Gerçek hayatta kesin değerlere ulaşmak her zaman mümkün değildir. Bunun üstesinden gelmek için ters ağırlık uzayı yaklaşımı kullanılmıştır (Figueira vd., 2005). Ters ağırlık uzayı yaklaşımı; problemi çözmek için parametre değerlerini sormak yerine farklı alternatiflerin hangi parametre değerleri ile seçilebileceğine cevap aramaktadır.

SMAA ters ağırlık uzayı hesaplamalarını çok boyutlu integrallerle gerçekleştirmektedir. İntegral hesaplamalarını yaparken kullandığı yöntemlerden birisi Monte Carlo simülasyonudur.

SMAA'dan önce ters ağırlık uzayı mantığına dayanan başka ÇKKV metotları da kullanılmıştır (Tervonen ve Figueira, 2008). SMAA metodu için temel teşkil eden iki yöntem şunlardır:

- Kıyaslamalı yüksek hacim kriteri metodu
- Kapsamlı uzlaşma kriteri metodu

SMAA metodolojisinin ilk şekli Charnestki (1973) ve Charnestki ve Soland (1978) tarafından geliştirilen kıyaslamalı yüksek hacim kriteri metodudur. Metot her bir alternatifi en çok tercih edilen alternatif yapacak çok boyutlu ağırlık kümesi hesaplamasına dayanır. Bu yöntem kriterlerin ağırlık değerlerini doğrusal kısıtlar şeklinde ele alır. Fakat alternatiflerin kriter değerleri deterministiktir ve ilave fayda fonksiyonları ile sınırlandırılmıştır (Tervonen ve Figueira, 2008).

İkinci bir başlangıç noktası olarak kabul edilen kapsamlı uzlaşma kriteri 1986 yılında Bana e Costa tarafından ortaya koyulmuştur (Tervonen ve Figueira, 2008). Bu metotta karar vericilerin tercihleri arasındaki çatışmaların hesaplanması üzerinde durulmuştur. Yöntemin en önemli eksikliği sadece üç kriter kullanılabilir olmasıdır. Bu nedenle yöntem gerçek hayat problemlerini yansıtmada yetersiz kalmaktadır.

5. SMAA ÇEŞİTLERİ

a. SMAA (1998)

SMAA metotlarının temelini teşkil etmektedir. Gerçek yaşam ÇKKV problemlerinin çözümü için ortaya konmuştur (Lahdelma vd., 1998). Hem kriter değerleri hem de kriterlerin ağırlıklarında stokastik değerler kullanılabilen ilk yöntemdir. Metodun amacı en iyi alternatifin seçimidir.

SMAA metodu bir gerçek yaşam probleminin çözümü ile bağlantılı olarak ortaya çıkmıştır (Tervonen ve Figueira, 2008). Bu problem Helsinki'de bir liman yeri seçimi problemidir. Bundan sonra birçok gerçek yaşam probleminde SMAA metotları kullanılmıştır.

ÇKKV yöntemlerini gerçek yaşam problemlerine yaklaştırmak için bazı belirsizlik durumlarının çözüm yaklaşımlarına dâhil edildiği görülmektedir. Bulanıklık, bilgi eksikliği, olasılıklı değerler bu belirsizlik durumlarının bazılarıdır. SMAA metodu hem kriter ağırlıklarında hem de alternatiflerin kriter değerlerinde görülen belirsizliklerin probleme stokastik değişkenler olarak eklenilebildiği ilk metottur (Tervonen ve Lahdelma, 2007).

Eğer alternatiflerin kriter değerleri kesin olarak belirlenebilir ve kriterlerin ağırlık değerleri üzerinde de uzlaşma sağlanırsa, alternatiflerin fayda fonksiyonları hesaplanması sonucu elde edilen değerlerin büyüken

küçüğe sıralanması ile problem çözülmüş olur. En yüksek fayda fonksiyon değeri olan alternatif en iyi olandır.

SMAA metodu alternatiflerin kriter değerlerinin ve kriter ağırlıklarının kesin olarak bilinemediği durumlar için geliştirilmiştir. Belirsiz veya kesin olmayan alternatiflerin kriter değerleri stokastik değişkenler ile temsil edilirler. Aynı şekilde karar vericilerin üzerinde uzlaşmadığı kriterlerin ağırlıkları da birleşik yoğunluk fonksiyonlu ağırlık dağılımı ile temsil edilir.

SMAA metodunda temel amaç, stokastik parametre kümesindeki çok boyutlu integraller gibi tanımlayıcı ölçümler vasıtasıyla, karar desteği sağlamaktır. İlk SMAA metodunda bu ölçümler için tanımlayıcı üç ölçek kullanılmıştır. Bu tanımlayıcı ölçekler Monte Carlo simülasyonu kullanılarak hesaplanır. Monte Carlo simülasyonu ile binlerce defa yapılan ölçümler ile karşılaşılabilecek hatalar dikkate alınmayacak kadar az hale getirilmektedir. Bu tanımlayıcı ölçekler aşağıda belirtilmiştir.

1. Kabul Edilebilirlik İndisi
2. Merkezi Ağırlık Vektörü
3. Güvenilirlik Faktörü

Kabul Edilebilirlik İndisi

Bir alternatifin kabul edilebilirlik indisi, o alternatifin tercih edilebilmesi için gerekli değeri tanımlar. Bu değer olasılıklı kriter değerleri dağılımı ve uygun kriter ağırlıkları uzayı üzerinde çok boyutlu integrallerle hesaplanır.

Alternatifler için kabul edilebilirlik indisleri, alternatiflerin kabul edilebilir olanlar ($a_i > 0$) ve kabul edilemez olanlar şeklinde sınıflandırılmasında kullanılabilir. Kabul edilebilirlik indeksinin sıfır olması alternatifin kullanılan

fayda fonksiyonuna göre en iyi alternatif olma olasılığının sıfır olduğu anlamına gelmektedir.

Merkezi Ağırlık Vektörü

Merkezi ağırlık vektörü, uygun kriter ağırlıkları kümesinin beklenen ağırlık merkezi olarak tanımlanır. Kriter ve ağırlık dağılımları üzerine çok boyutlu integrallerle hesaplanır.

Merkezi ağırlık vektörü, tercih modeli ile bu alternatifi destekleyen karar vericinin tercihlerini tanımlar. Merkezi ağırlık vektörlerinin karar vericilere sunumuyla, karar için ters bir yaklaşıma başvurulabilir. Bu sayede karar vericiler herhangi bir kriter ağırlıklandırması olmadan, hangi ağırlık vektörlerinin hangi alternatifleri en iyi yaptığını görebilirler.

Güvenilirlik faktörü

Güvenilirlik faktörü, merkezi ağırlık vektörünün seçilmesi halinde alternatifin, tercih edilme ihtimali olarak tanımlanır. Güvenlik faktörü kriter dağılımları üzerine çok boyutlu integrallerle hesaplanır.

Güvenilirlik faktörü, merkezi ağırlık vektörü kullanıldığında, alternatiflerin kriter değerlerinin alternatifleri birbirinden ayırabilecek kadar sağlıklı olup olmadığını ölçer. Herhangi bir alternatif ve uygun kriter ağırlığı vektörü için hesaplanabilir. Güvenilirlik faktörü verilen ağırlık vektörü ile alternatifin fayda değerini en iyi yapan stokastik kriter uzayı olarak tanımlanabilir.

SMAA için belirtilen formülasyon ve hesaplamalar, alternatiflerin belirsiz kriter değerleri ve eksik kriter ağırlıkları bilgisinin esnek ve ayrıntılı olarak modellenmesine izin verir. Çok boyutlu integraller genellikle sayısal teknikler kullanılarak hesaplanır.

b. SMAA-3 (1998)

SMAA-3 metodu Hokkanen vd. tarafından 1998 yılında geliştirilmiştir (Hokkanen vd., 1998). SMAA prosedürüne paralel olarak çalışan bir ayırma metodudur. Fayda fonksiyonu yerine ELECTRE-tip yapay kriter ve maximin seçim prosedürünü kullanması ile orijinal SMAA'dan ayrılmaktadır. SMAA-3 metodunun hedefi alternatiflerden birini seçmek yerine, problem için kabul edilebilir olanların seçimidir.

Literatürde SMAA yöntemi ile SMAA-3'ün sonuçları üzerine yapılan simülasyon testleri bulunmaktadır. Bu testlerin sonuçları SMAA-3'ün bazı değerlerinde tutarlı olmadığını göstermiştir (Lahdelma ve Salminen, 2002).

c. SMAA-2 (2001)

SMAA metodu alternatifler arasında en iyisinin seçimini yapmaktadır. En iyi alternatifin seçimi dışında diğer alternatifler bir sıraya konmaz. Bu eksikliğin üstesinden gelmek için Lahdelma ve Salminen SMAA metodunu tüm alternatifleri sıralayacak şekilde geliştirmişlerdir (Lahdelma ve Salminen, 2001). SMAA-2 metodu tüm alternatifleri sıraya koyarken aynı zamanda en iyi alternatifi de ortaya çıkardığı için uygulamalarda öne çıkmaktadır.

SMAA-2 metodu sıra kabul edilebilirlik hesaplarını işin içine katarak alternatiflerin en iyisinin seçilmesinin yanı sıra alternatiflerin sıralamasını da sağlamaktadır. Bu metot SMAA yöntemini tüm alternatifleri sıralayabilecek şekilde geliştirirken, beş yeni tamamlayıcı ölçek ortaya koymuştur. Bunlar sıra kabul edilebilirlik indisi, üç adet en iyi sıra tipi ölçeği ve tümleşik kabul

edilebilirlik indisleridir. Bu ölçekler ile karar vericiye, alternatiflerin son durumları hakkında daha fazla bilgi sağlar.

Sıra Kabul Edilebilirlik İndisi

Sıra kabul edilebilirlik indisi, daha önce tanımlanan kabul edilebilirlik indisinin sıraları dikkate alınacak şekilde genişletilmiş halidir. Sıra kabul edilebilirlik indisi alternatifin o sırada olma ihtimalini gösterir. Bir alternatifin sıra kabul edilebilirlik indisleri toplamı birdir. Bu indis alternatiflerin r sırasını almaları gereken değerlerin ölçümüdür ve çok boyutlu integraller ile hesaplanır.

Sıra kabul edilebilirlik indisleri 0 ile 1 aralığındadır. En iyi alternatifler yüksek kabul edilebilirlik indislerine sahiptirler.

Sıra kabul edilebilirlik indisi dışında diğer kabul edilebilirlik indislerinin incelenmesi analiz için yeni bilgiler sağlar. Bu yeni bilgiler şöyle sıralanabilir.

1. Yüksek birinci sıra kabul edilebilirliği olan uç alternatifler, aynı zamanda diğer kabul edilebilirlik indis sıralamalarında da yüksek sıralarda olmazlarsa genel değerlendirmede iyi olmazlar.
2. Birbirlerinin ilk sıra kabul edilebilirliğini azaltan komşular, sonraki sıralar için birbirlerinin kabul edilebilirliğini arttırlar.
3. Sıfır ya da sıfıra yakın ilk sıra kabul edilebilirliği olan potansiyel uygun alternatifler eğer sıklıkla iyi sıralarda olurlarsa genel değerlendirmede iyi olurlar.

Sıra kabul edilebilirlik indisleri, alternatiflerin çok kriterli değerlendirilmesinde doğrudan kullanılabilir.

Tümleşik Kabul Edilebilirlik İndisi

Alternatiflerin, sıralama kabul edilebilirlik indislerine göre karşılaştırılma problemi “ikinci sırada yapılması gereken” bir ÇKKV işi gibi görülebilir. Bu durumda tamamlayıcı bir yaklaşımla her alternatif için sıralama kabul edilebilirlikleri birleştirilerek tümleşik kabul edilebilirlik indisleri elde edilir.

Tümleşik kabul edilebilirlik indisi alternatiflerin sıra kabul edilebilirlik indisleri açısından toplam değerini hesaplanması ile elde edilir.

ç. SMAA-O (2003)

SMAA metodunda alternatiflerin kriter değerleri kullanılmaktadır. SMAA-O metodu alternatiflerin kriter değerleri olmadan, sadece kriterlere göre sıralamasını kullanarak hesaplamaları yapabilmektedir (Lahdelma vd., 2003). Örneğin Tablo-5’de ikinci sütunda yer alan kriter değerleri bulunmadığı durumlarda, sadece son sütunda bulunan kriter sıra değerleri SMAA-O metodu için yeterlidir.

Tablo-5: Sıralı Kriter Değerleri Tablosu

Alternatifler	K Kriter Değerleri	K Kriter Sırası
A ₁	62	3
A ₂	76	2
A ₃	111	1
A ₄	42	4

SMAA-O metodunun bir faydası da sıralı kriter değerleri ile diğer kriterler için normal kriter değerlerinin birlikte kullanılabiliyor olmasıdır.

SMAA-O sıralama değerlerini Monte Carlo simülasyonu kullanarak probleme ekler. Bu süreçte alternatiflerin kriter değerleri, sıraları korunacak şekilde, rastgele değerler olarak probleme eklenir.

d. Ref-SMAA (2005)

SMAA metodu, hiçbir kriter ağırlık değeri olmadan kullanılabilmesine rağmen, karar vericilerden bu konuda bazı bilgiler edinilmesi tercih edilir. Bu sebeple Lahdelma vd. Ref-SMAA metodunu geliştirmişlerdir (Lahdelma vd., 2005). Metot, kriterler için referans noktaları belirlenmesi esasına dayanır. Ref-SMAA birden fazla karar vericinin tespit ettiği farklı referans noktalarını kullanarak alternatiflerin sıralamasını yapar. Metot 2006 yılında Durbach tarafından SMAA-A metodu adı altında geliştirilmiştir (Durbach, 2006).

e.SMAA-TRI (2009)

ÇKKV yöntemleri üç tür probleme çözüm aramaktadır. Bunlar seçim, sıralama ve sınıflandırmadır. 2009 yılına kadar geliştirilen SMAA metotlarının tümü seçim ve sıralama problemleri içindir. SMAA-TRI metodu Tervonen vd. tarafından sınıflandırma problemlerinin çözümü için geliştirilmiştir (Tervonen vd., 2009a). Bu metot ELECTRE TRI metodunun (Yu, 1992) kriter değerleri ve kriter ağırlık değerlerinde belirsizliğe izin verecek şekilde geliştirilmesi ile ortaya çıkmıştır.

Bu bölüm, Tervonen vd. (2009a) makalesinde yararlanılarak yazılmıştır.

SMAA-TRI metodu bir sınıflandırma metodudur ve kendisi gibi bir sınıflandırma metodu olan ELECTRE TRI metodunun geliştirilmiş şeklidir .

ELECTRE TRI

Electre-tri, alternatifleri, önceden belirlenmiş ve sıralanmış kategorilere göre sınıflandırmak için uyumluluk ve uyumsuzluk indislerini kullanır. Artan tercih sırasına göre kategoriler şu şekilde gösterilebilir. $C_1, C_2, \dots, C_h, \dots, C_k$, (C_k en iyi kategoridir). Bu kategoriler her kriter için ölçümleri içeren alt ve üst profiller ile tanımlanır. Atama prosedüründe alternatifler, teker-teker profiller ile kıyaslanır. Profiller, $p_1, \dots, p_h, \dots, p_{k-1}$, ile simgelenir. p_h , C_h kategorisinin üst limiti ve C_{h+1} kategorisinin alt limitidir. Profiller aşağıdaki ilişkiyi karşılayacak şekilde tam olarak sıralı olmalıdır ($p_1 \Delta p_2$, p_2 'nin p_1 'e baskın olduğu anlamına gelir):

$$p_1 \Delta p_2 \Delta \dots p_{k-2} \Delta p_{k-1}$$

Bu baskınlık ilişkisi dikkatli yorumlanmalıdır çünkü baskınlık sadece iki profilin bileşenlerinin değerine değil aynı zamanda eşik değerlerine de bağlıdır. Atama prosedürü ilave teknik bir parametreye, lambda kesme seviyesine ihtiyaç duyar (Tervonen ve Figueira, 2008).

SMAA-TRI

Metot, ELECTRE TRI metodunun parametre değerlerinde kesinlik olması gereksinimini ortadan kaldırmak için buna izin verecek şekilde geliştirilmiştir. Her alternatif için farklı kategorilere atayan parametre değerleri ölçümünü tanımlar. SMAA-TRI kriter ağırlıklarının, profillerin ve kesme seviyesinin dengesini analiz eder.

SMAA-TRI metodu ELECTRE TRI metodundan aşağıdakileri girdi olarak kullanır:

1. Lambda kesme seviyesi, $[0.5, 1]$ aralığında $f_L(\lambda)$ yoğunluk fonksiyonuna sahip λ stokastik değişkeni ile tanımlanır.

2. Alternatiflerin kriter değerleri ve kriter ağırlıkları eksik, bir aralık olarak ya da bir dağılım fonksiyonuna uygun olarak girilebilir.

3. Ağırlıklar, W uygun ağırlık uzayında $f_W(w)$ birleşik yoğunluk fonksiyonlu bir ağırlık dağılımıyla tanımlanır. Toplam kriter ağırlıkları bilgisi eksikliği W 'deki düzgün kriter ağırlık dağılımı $f_w(w)=1/vol(W)$ ile gösterilir. Ağırlıklar sıfır veya sıfırdan büyük ve normalize edilmiştir. Ağırlık uzayı n boyutlu uzayda $(n-1)$ boyutlu bir simplekstir.

$$W = \left\{ \omega \in R^n : \omega \geq 0 \text{ ve } \sum_j \omega_j = 1 \right\}$$

Karar vericilerin birden fazla olduğu durumlarda kesin olmasa bile kısmen kriter ağırlıklarına ulaşma imkanı vardır. Temelde SMAA metotları için iki çeşit kriter ağırlıklarını ilave etme şekli vardır. Birincisi uygun bir yoğunluk fonksiyonu kullanarak, ikincisi ise ağırlık uzayı W 'de düzgün dağılımı kısıtlarken uygun kriter ağırlıkları kümesine kısıtlar eklemektir. Bir kriter ağırlıkları uzayına eklenen kısıtlar aşağıdaki şekillerde olabilir.

- Kriter ağırlıklarının kısmen veya tamamının sıralanması
 $(\omega_j \leq \omega_k)$
- Kriter ağırlıkları için aralıklar $(\omega_j \in [\omega_j^{\min}, \omega_j^{\max}])$

- Kriter ağırlıkları için oransal ağırlıklar

$$\left(\omega_j / \omega_k \in \left[\omega_{jk}^{\min}, \omega_{jk}^{\max} \right] \right)$$
- Kriter ağırlıkları için doğrusal eşitsizlik kısıtları $(A\omega \leq c)$
- Kriter ağırlıkları için doğrusal olmayan eşitlik kısıtları

$$(f(\omega) \leq 0)$$

4. ELECTRE TRI'ye ait veri ve diğer parametreler $T = \{ M, B, q, p, v \}$ kümesi ile gösterilir. M , kriter değerlendirme matrisi, B ise profil kümesidir. Problemi basitleştirme amaçlı bu bileşenlerin deterministik değerler olduğu kabul edilmektedir.

SMAA-TRI tüm alternatifler ve kategoriler için *kategori kabul edilebilirlik indisleri* üretir. Kategori kabul edilebilirlik indisleri alternatiflerin, (a_i) , kategorilere, (C_h) , yüzde olarak hangi oranda uyum sağladığını gösterir. Kategori kabul edilebilirlik indisleri π_i^h ile gösterilir. Alternatiflerin ELECTRE TRI tarafından kategori indisi h 'ye atanmasını değerlendiren kategorileme fonksiyonu şöyledir.

$$h = K(i, \Lambda, W, T)$$

Kategori üyeliği fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanır

$$m_i^h(\lambda, w, t) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } K(i, \Lambda, w, T) = h \\ 0, & \text{diğer durumlarda.} \end{cases}$$

SMAA-TRI metodunda kategori kabul edilebilirlik indisi çoklu integraller ile ELECTRE TRI değerleri yardımıyla hesaplanır.

Kategori Kabul edilebilirlik indisleri 0 ile 1 aralığındadır. O alternatifin o kategoriye atanma olasılığının olmadığını, 1 ise alternatifin kesinlikle o kategoriye ait olduğunu gösterir. Her alternatifin tüm kategoriler için kategori Kabul edilebilirlik indisleri toplamı 1'dir.

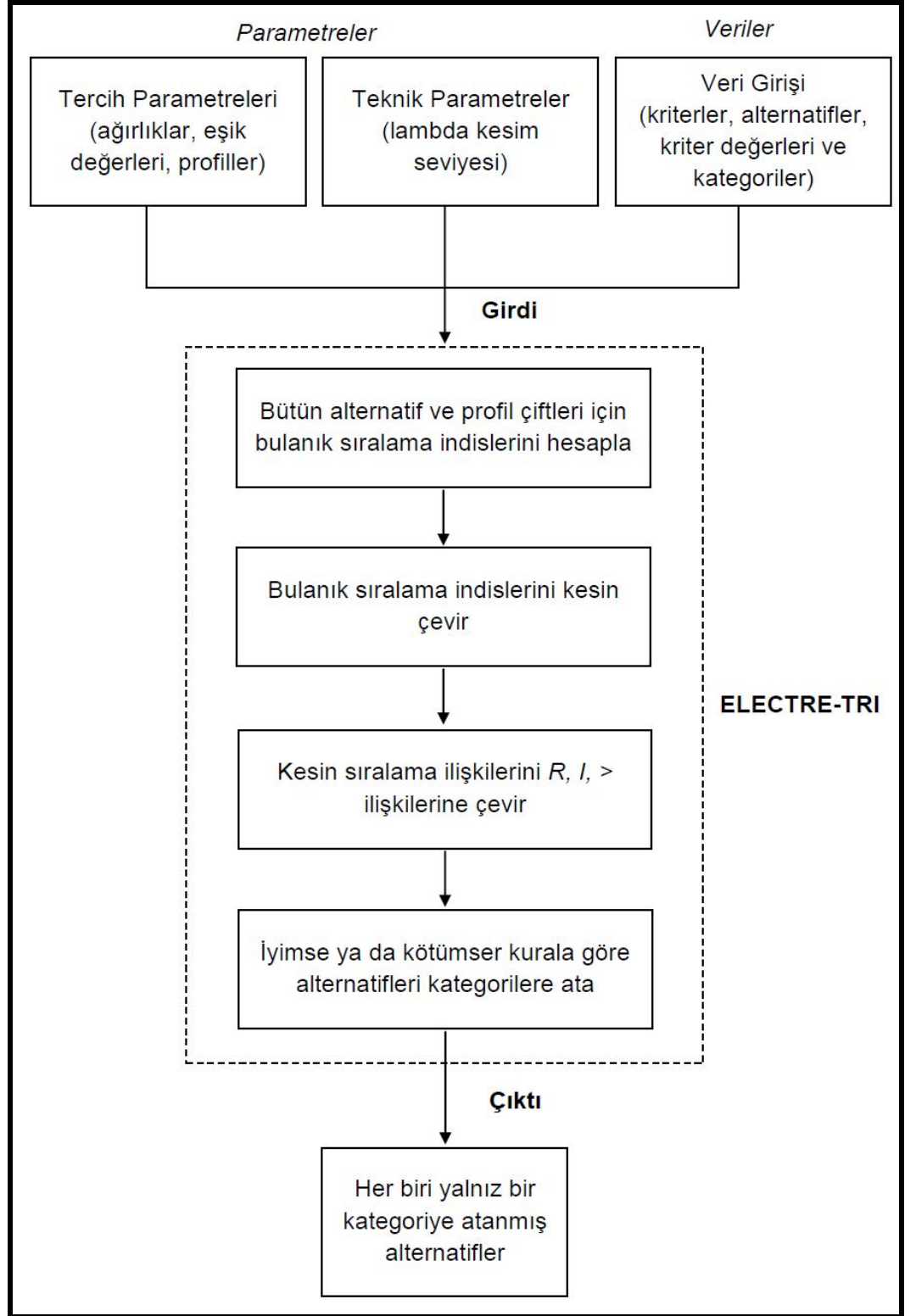
ELECTRE TRI alternatifin hangi kategorilere ait olabileceğine dair bir bilgi sağlarken, SMAA-TRI alternatifin hangi oranda hangi kategoriye ait olabileceği bilgisini verir. Bu ilave bilginin sağladığı üç avantaj şunlardır.

1. Duyarlılık analizinde parametrelerin uç noktalarının belirlenmesi için ihtiyaç duyulan çaba azaltılmıştır çünkü uzayın, örnek olarak, düzgün dağılımlı olmasına karar verilmiş ve böylece aralıktaki küçük değişiklikler sonucu büyük oranda değiştirmez.
2. Durağan olmayan atamalarla sonuçlanan parametre değerlerinin miktarının sayısallaştırılması kesin olmayan parametrelerle ilgili riski belirler.
3. Kriter ağırlıkları belirleme teknikleri farklı ağırlık değerleri sağlar, böylece ağırlıkları deterministik değerler yerine kesin olmayan değerler şeklinde belirlemek daha uygun görünmektedir.

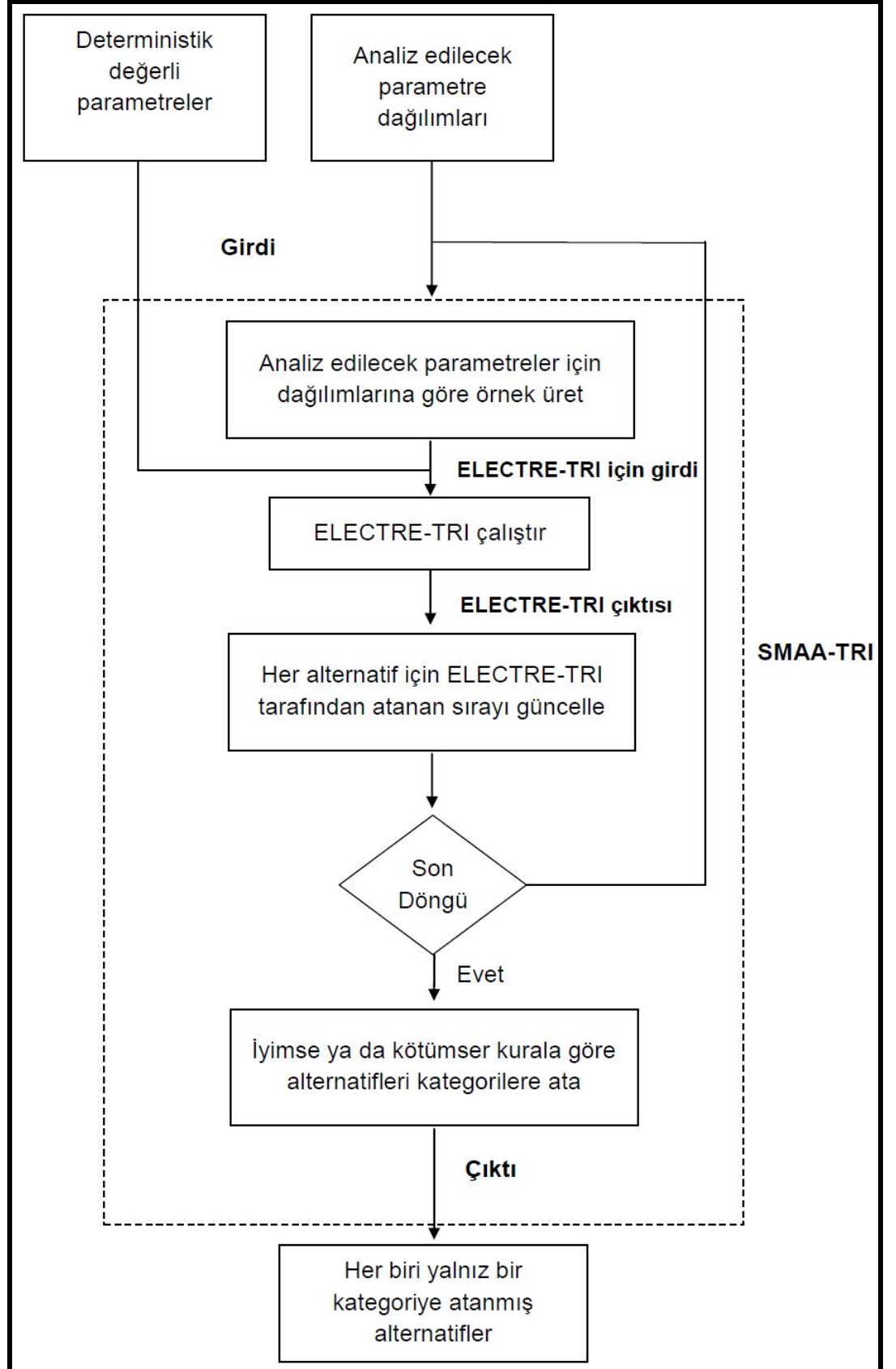
SMAA-TRI metodu karar verme sürecinde, birden fazla karar verici olduğu durumlar için ELECTRE TRI'nin uygulanmasını sağlar. Metot birbirinde farklı kriter ağırlık değerlerini, aralık şeklinde ifade edilmesini sağlar.

Kategori kabul edilebilirlik indisleri de Monte Carlo simülasyonu kullanılarak hesaplanabilir.

İki yöntemin arasındaki farklılıkların ve süreçlerin belirtilmesi için ELECTRE TRI adımları Şekil-4'te, SMAA-TRI Simülasyon adımları Şekil-5'te gösterilmiştir.



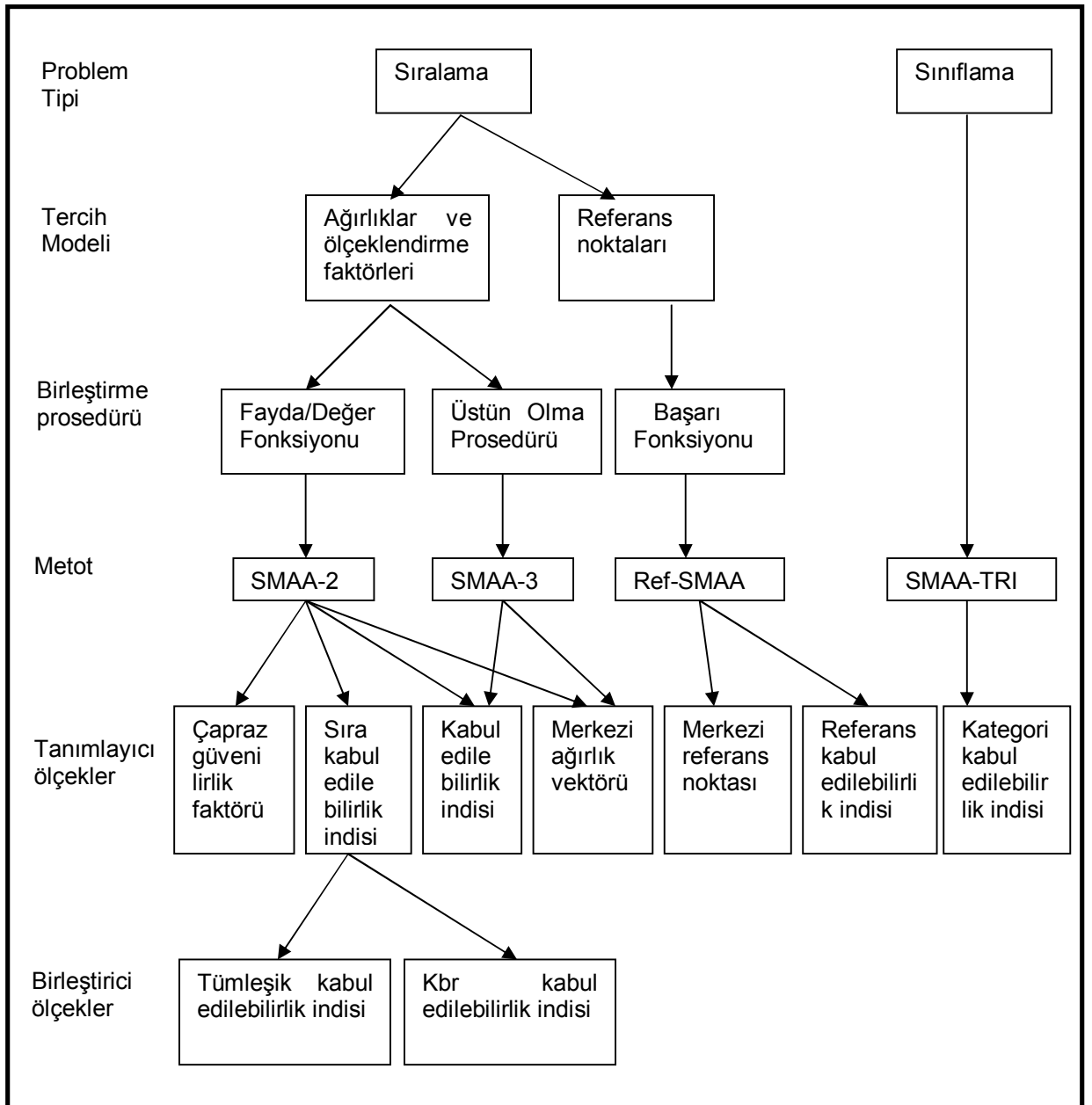
Şekil-4: ELECTRE TRI Adımları



Şekil-5: SMAA-TRI Simülasyon Adımları

f. Metot Seçimi

SMAA metotları, ÇKKV problem türleri olan; en iyi olanı seçme, alternatifleri sıralama ve alternatifleri sınıflandırma (Figueira vd., 2005) problemlerine geniş ölçüde cevap verebilmektedir. Tervonen ve Figueira 2008 yılında, SMAA metotlarını tanıttıkları çalışmalarında, hangi SMAA metodunun ne tür problemlerde kullanılması gerektiği konusunda Şekil-6'daki karar ağacını önermişlerdir (Tervonen ve Figueira, 2008).



Şekil-6: SMAA Metot Seçimi Karar Ağacı

6.SMAA-TRI ÖRNEK OLAY

Tervonen vd. SMAA-TRI metodunu tanıttıkları çalışmalarında daha önce ELECTRE TRI metodu ile ele alınmış bir problemi tekrar analiz etmişlerdir (Tervonen vd., 2009a). Problemin aslı 2004 yılında Merad vd. tarafından çalışılmıştır (Merad vd., 2004).

Çalışma; yüz yıldan uzun bir süredir demir madeni çıkarılan Fransa'nın Lorraine bölgesi ile ilgilidir. Yeraltına kazılmış tüneller toprak kaymasına ve binaların çökmesine neden olmaktadır. Çalışmanın amacı bölgeleri ayırarak daha önceden belirlenmiş risk kategorilerine atamaktır. Böylece hangi bölgelerin sürekli gözetim altında tutulacağına karar verilecektir.

Çalışmada 10 bölge 10 kritere göre değerlendirilmiş ve 4 risk kategorisinden hangisine girdikleri tespit edilmiştir. Kriterler şunlardır:

1. Sütunlar üzerine uygulanan düzeltilmiş ortalama stres
2. Var olan hatalar
3. Sütunların yüksekliği
4. Sütunların boyut ve düzeni
5. Kayaların su baskınına karşı duyarlılığı
6. Bölgede en çok kazılmış madenin derinliği
7. Beklenen maksimum çökme
8. Beklenen sath bozulması
9. Bölge ölçüleri
10. Bölgedeki binaların hassaslığı

Bu kriterlerin 5 tanesi nitel değerlere diğer 5 tanesi ise nicel değerlere sahiptir. Kriter ağırlıkları karar vericilerden elde edildikten sonra normalize edilmiştir. Kriterlerin ağırlık ve normalize edilmiş ağırlık değerleri Tablo-6'da gösterildiği gibidir.

Tablo-6: Kriter Ağırlık Değerleri Tablosu

Kriter Ağırlıkları	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆	W ₇	W ₈	W ₉	W ₁₀
Normalize Edilmemiş	5	1	1	1	5	1	1	20	1	10
Normalize Edilmiş	0,109	0,022	0,022	0,022	0,109	0,022	0,022	0,435	0,022	0,217

Alternatif bölgelerin kriter değerleri ve ELECTRE TRI metodu sonuçları sırasıyla Tablo-7 ve Tablo-8'deki gibidir.

Tablo-7: Alternatif Bölgelerin Kriter Değerleri Tablosu

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
A1	5,8	10	0	20	0	35	2,37	6,8	3,6	20
A2	4,8	0	40	0	0	70	1,28	1,83	0,2	10
A3	907	10	10	0	30	200	1,67	0,84	7,4	30
A4	10,4	10	10	10	30	203	1,68	0,83	9	20
A5	907	0	10	0	10	222	1,2	0,54	1,8	20
A6	908	10	0	20	0	50	1,27	2,54	6,7	20
A7	12,3	0	0	0	30	155	0,96	0,61	14,1	10
A8	11,2	10	0	0	30	180	0,71	0,39	6,4	20
A9	11,3	0	40	20	0	115	2,18	1,89	2,5	10
A10	11	10	0	10	30	180	0,31	0,18	2,6	20

Tablo-8: ELECTRE TRI Sonuçları

Bölge	Sonuç	Duyarlılık analizi
A ₁	Kategori 1	Kategori 1 ve 2
A ₂	Kategori 1	Kategori 1 ve 2
A ₃	Kategori 2	Kategori 2
A ₄	Kategori 2	Kategori 2
A ₅	Kategori 4	Kategori 3 ve 4
A ₆	Kategori 1	Kategori 1 ve 2
A ₇	Kategori 3	Kategori 3 ve 4
A ₈	Kategori 4	Kategori 3 ve 4
A ₉	Kategori 1	Kategori 1 ve 2
A ₁₀	Kategori 4	Kategori 4

ELECTRE TRI metodunun sonuçları alternatif bölgelerin hangi risk kategorilerine girdiklerini göstermektedir. Kategori 1 en yüksek risk sınıfını, kategori 4 ise en düşük risk sınıfına karşılık gelmektedir.

SMAA-TRI metodunun ELECTRE TRI metoduna göre üstün özelliklerinden bir tanesi alternatiflerin kriter değerlerini stokastik ya da olasılıklı olarak ele alabilmesidir. ELECTRE TRI sonuçları elde edildikten sonra SMAA-TRI metodunun bu üstünlüğünden faydalanılarak ikinci analiz yapılmıştır. SMAA-TRI ile yapılan ikinci analizde kriterlerin ağırlık değerleri Tablo-9'da gösterildiği şekilde kesin değerler yerine aralıklı değerler olarak ele alınmıştır.

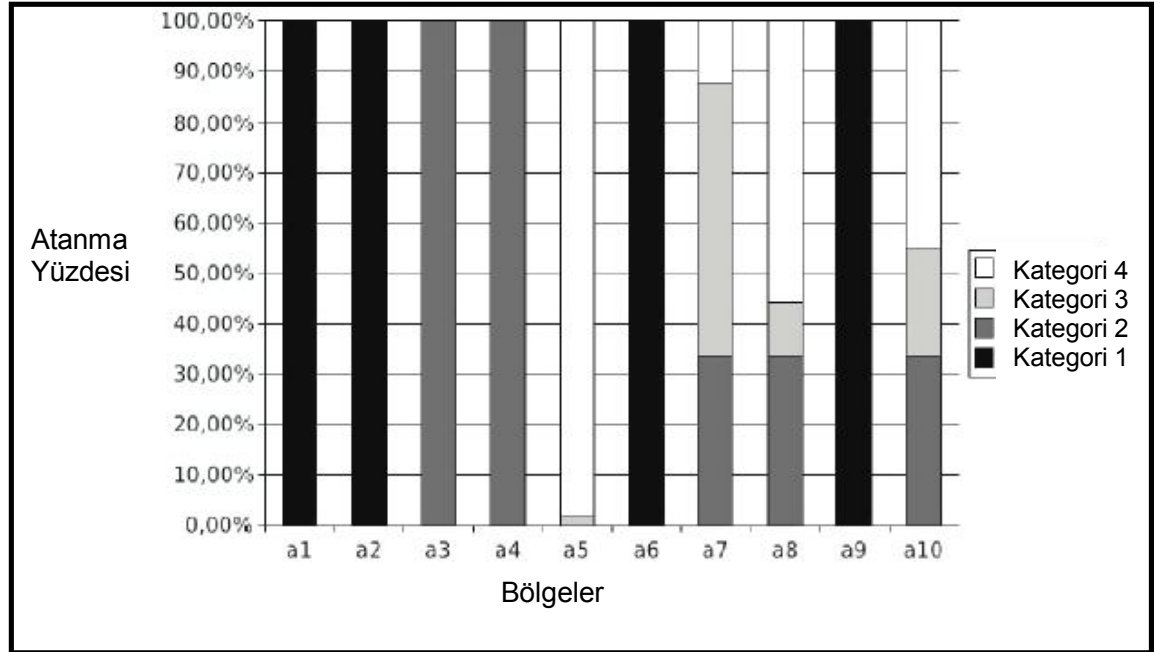
Tablo-9: Yeniden Analiz İçin Kriter Ağırlıkları Sınırları Tablosu

Ağırlık	Alt Sınır	Üst Sınır
W_1	3	7
W_2	0	2
W_3	0	2
W_4	0	2
W_5	3	7
W_6	0	2
W_7	0	2
W_8	15	25
W_9	0	2
W_{10}	7	13

Bundan sonra SMAA-TRI metodu uygulanarak tüm alternatifler için kategori kabul edilebilirlik indisleri hesaplanmıştır. Tablo-10 alternatiflerin kategori kabul edilebilirlik indislerini göstermektedir. Şekil-6 da alternatiflerin hangi kategoriye hangi olasılıkla girdiği grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo-10: Kategori Kabul Edilebilirlik İndisleri Tablosu

Bölge	Kategori 1	Kategori 2	Kategori3	Kategori 4
A ₁	100	0	0	0
A ₂	100	0	0	0
A ₃	0	100	0	0
A ₄	0	100	0	0
A ₅	0	0	2	98
A ₆	100	0	0	0
A ₇	0	34	54	12
A ₈	0	34	10	56
A ₉	100	0	0	0
A ₁₀	0	34	21	45



Şekil-7: Kategori Kabul Edilebilirlik İndisleri

ELECTRE TRI metodunun sonuçlarına baktığımızda beşinci bölge 3 ya da 4'üncü risk kategorilerine girebilmektedir. Bu bilgi ile karar vericiler (özellikle risk yanlı olanlar) beşinci bölgeyi daha yüksek risk kategorisi olan kategori 3'e koyacaklardır. Fakat SMAA-TRI analizi sonucu elde edilen kategori indisleri ile daha detaylı bilgiye sahip karar vericiler, ağırlık bilgisine eklenen belirsizliğe rağmen beşinci bölgeyi rahat bir şekilde (%98 oranında) kategori 4'e koyacaklardır.

Yeniden yapılan analiz ağırlık değerlerine eklenen belirsizlikle beraber bazı ilginç sonuçlar sağlamıştır. Örneğin onuncu bölge ELECTRE TRI metodu sonucunda en az risk kategorisinde yer alırken, SMAA-TRI analizi sonucunda %34 oranında kategori 2'ye, %21 oranında kategori 3'e, %45 oranında kategori 4'e girmektedir.

SMAA-TRI yöntemi verilerin olasılıklı, stokastik ve ya tüm karar vericilerin tercihlerini kapsar şekilde aralıklı olarak probleme yansıtılmasını sağlamakla gerçek-yaşam problemlerine yaklaşmaktadır. Bunun yanı sıra karar vericilere yapılan analiz sonucunda daha detaylı bilgiler sunmaktadır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

1. PROBLEMİN TANIMI

Bu çalışmada bir kamu kurumuna ait gerçek bir tesis yeri seçimi problemi ele alınmıştır. Bu problem, temel olarak kamu kurumunun ülke çapında çeşitli il ve ilçelerde konuşlu hizmet merkezi sayısını azaltmak istemesinden kaynaklanmaktadır. Ancak, mevcut tesislerin genel yönetimin taleplerini karşılayamaması durumunda yeni tesislerin açılması da söz konusudur.

Kamu kurumu ülkeyi 20 bölgeye ayırmış ve bölgelerin başına birer bölge başkanlığı tahsis etmiştir. Kurum ülke genelinde tesis sayısını azaltmak ve maliyet-etkin bir yapıya getirmek istemektedir. Çalışmada ülkenin tamamı yerine kurum yönetiminin belirlediği bir bölgede uygulama gerçekleştirilmiştir. Kurumun talepleri doğrultusunda herhangi bir vatandaş sadece kendi ili içerisindeki bir tesise atanabilmektedir. Bu nedenle çalışmada tek bir bölgenin ele alınmış olması problemin geneli için herhangi bir sorun teşkil etmemektedir. İstendiği takdirde benzer uygulama aynı esaslarla diğer bölgeler için de gerçekleştirilebilecektir.

Kurumun yönetim kademesiyle yapılan görüşmeler sonucunda hâlihazırda kurulu sistemin artık ihtiyaca etkin olarak cevap vermediği ve daha maliyet etkin bir sistem arzu edildiği anlaşılmıştır. Atıl kapasitenin azaltılması ve ihtiyaç gösteren yerlerde daha fazla hizmet verilmesi için bazı tesislerin kapatılması, eğer gerek duyulursa yeni tesisler açılması planlanmaktadır. Bu ihtiyacın ortaya çıkmasındaki nedenleri şöyle sıralayabiliriz:

1. İlçeler arasındaki göç sonucunda nüfus oranlarının önemli ölçüde değişmiş olması.
2. Ulaşım imkânlarındaki gelişmeler.
3. Tesis sayısının azaltılması ile elde edilecek personel fazlasının diğer işlerde kullanılma imkânı.
4. Tesis sayısının azaltılması sonrası elde kalacak binaların diğer kamu kurumları tarafından kullanılacak olması.
5. Kapatılacak tesisler sayesinde ayrılan kaynaklardan yapılacak tasarruf.

Çalışma kapsamında ele alınan bölgede altı tanesi merkez ilçe olmak üzere 55 adet ilçe vardır. Mevcut durumda bölgedeki ilçelerin bazılarında hizmet veren 24 adet tesis bulunmaktadır. Tesisler çalışan sayıları ve kapasitelerine göre beş gruba ayrılmaktadır. Tablo-11 bölgedeki mevcut tesis kurulu ilçeleri, bu tesislerin türlerini ve merkez ilçeleri göstermektedir.

Tablo-11: Mevcut Tesisler Matrisi

Tesislerin Bulunduğu İlçeler						Merkez İlçeler
	A	B	C	D	E	
D1	x					D1 D12 D22 D32 D42 D52
D2				x		
D7			x			
D8				x		
D9		x				
D10				x		
D11			x			
D12	x					
D21		x				
D22		x				
D23			x			
D24			x			
D31				x		
D32		x				
D38			x			
D39			x			
D40		x				
D41			x			
D42	x					
D43		x				
D49			x			
D50				x		
D51			x			
D52			x			
Toplam	3	6	10	5	0	24

Kurum yönetiminin, tesislerin yerleşimine ilişkin bazı istekleri bulunmaktadır. Bu istekler şu şekilde sıralanmıştır;

1. Merkez ilçelerde tesis bulunması gerekmektedir.
2. Tesislerin bulunacağı ilçeler yeterli güvenlik ve gelişmişlik seviyesinde olmalıdır.
3. Hiçbir vatandaş için kendisine hizmet verecek tesise ulaşım mesafesi bir saatten fazla olmamalıdır.

Problemin çözümü için iki farklı yöneylem araştırması metodu birlikte kullanılmıştır. İlk olarak sistemde il merkezlerindeki tesisler dışında hiç bir tesis yokmuş gibi yeni tesislerin nerelere yerleştirilmesi gerektiği ve hangi ilçelerin hangi tesislerden hizmet alacağı bir matematiksel programlama modeli ile belirlenmeye çalışılmıştır. Sistemde hiç bir tesis yokmuş gibi yeni tesislerin nerelere yerleştirilmesi gerektiğinin belirlenmesi aslında dolaylı olarak mevcut tesislerin hangilerin kapatılacağı ve ilave olarak hangi yeni tesislerin kurulacağı sorularına da cevap vermektedir. Daha sonra mevcut tesisler arasından, kurum tarafından belirlenen niteliklerden en fazlasına sahip olanlar Stokastik Çok Kriterli Kabuledilebilirlik Analizi-TRI (SMAA-TRI) metodu ile tespit edilmiştir.

2. MATEMATİKSEL MODEL

Kurumun istekleri doğrultusunda oluşturulan matematiksel model ve modelde yer alan değişken/parametre tanımlamaları aşağıda sunulmuştur:

Kümeler

- N : Hizmet alacak ilçeler ve tesis yerleşimi için aday yerler kümesi.
($i:1,2,\dots,55$), ($j:1,2,\dots,55$)
- N_1 : Hâlihazırda bünyesinde tesis bulunan ilçeler kümesi
- N_2 : Tesis bulunmayan ilçeler kümesi
- N_c : Merkez ilçeler kümesi
- N_s : Uygun güvenlik seviyesine sahip ilçeler kümesi
- N_d : Uygun gelişmişlik seviyesine sahip ilçeler kümesi
- T : Tesis tipleri kümesi ($k :1,2,\dots,5$)

Girdi değerleri

- W_i : i ilçesinin nüfusu
- C_k : k tipi tesisin yıllık hizmet kapasitesi
- M_k : k tipi tesisin yıllık bakım-işletme maliyeti
- F_k : k tipi tesisin açılma maliyeti
- d_{ij} : i ilçesi ile j ilçesi arasındaki mesafe.

Sabitler:

c: kilometre başına ulaşım ücreti

δ : 1 saatlik ulaşım mesafesi

Karar Değişkenleri:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } i \text{ ilçesi } j \text{ ilçesine kurulan tesisden hizmet alırsa,} \\ 0 & \text{diğer durumlarda.} \end{cases}$$

$$y_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } k \text{ tipi tesis } j \text{ ilçesine açılırsa,} \\ 0 & \text{diğer durumlarda.} \end{cases}$$

a.Kümeler

Hizmet alacak ilçeler ve tesislerin yerleştirilebileceği aday ilçeler aynı kümeyi oluşturmaktadır. Merkez ilçelerin bulunduğu küme altı elemana sahiptir ve yönetimin isteği doğrultusunda tüm merkez ilçelerde tesis bulunmalıdır. Hâlihazırda tesis bulunan ve bulunmayan ilçeler, yeni tesis kurulması için gereken maliyet hesabı için N_1 ve N_2 olarak birbirinden ayrılmıştır. Bu iki kümenin birleşimi ($N_1 \cup N_2$), bölgedeki tüm ilçeler kümesini (N) oluşturmaktadır.

İlçelerin tamamı yönetimin kendi değerlendirmesi ile 5 güvenlik seviyesine ayrılmış ve yeterli güvenlik seviyesine sahip olmayan ilçelerde tesis kurulması arzu edilmemektedir. Tüm bölgeler için kurum yönetiminin yapmış olduğu subjektif değerlendirmeye göre en düşük güvenlik seviyesine sahip olan ilçeler, uygun güvenlik seviyesine sahip ilçeler kümesi (N_s) dışında kalmaktadır.

Yönetimin, ilçelerin yeterli gelişmişlik düzeyine sahip olması gerektiği yönündeki istekleri, modele yansıtılırken Kalkınma Bakanlığı tarafından 2004 yılında yapılan bir çalışmaya ait veriler kullanılmıştır (Kalkınma Bakanlığı, 2004). Kalkınma Bakanlığı bu çalışmada Türkiye'nin tüm ilçelerinin gelişmişlik sıraları, içinde buldukları gelişmişlik grupları ve gelişmişlik indisleri yayınlanmıştır. Tablo-12'de bölgedeki ilçelerin gelişmişlik matrisinin bir bölümünü görmek mümkündür.

Tablo 12: İlçe Gelişmişlik Matrisi (Kalkınma Bakanlığı, 2004)

İlçeler	Gelişmişlik Sırası	Gelişmişlik Grubu	Gelişmişlik İndisi
D ₁	145	2	0,75922
D ₂	827	6	-1,17754
...
D ₅₄	821	6	-1,15538
D ₅₅	763	6	-0,83619

T kümesi tesis tipleri kümesini göstermektedir. Kurum Türkiye genelinde beş tip tesis kullanmaktadır. Bu tesisler kapasiteleri, içerisinde çalışan memur sayıları ve büyüklükleri açısından farklılık göstermektedir. A tipi en büyük tesis tipi iken, E tipi tesis en küçük olanıdır.

b.Girdi Değerleri ve Sabitler

Tesis kurulacak ilçelerin seçimi için, hizmet verilecek ilçe nüfusları, Türkiye İstatistik Kurumunun 2012 yılında yaptığı adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçlarından elde edilmiştir (Türkiye İstatistik Kurumu, 2012). Hizmet alacak ilçelerin nüfusları (W_i) ile gösterilmiştir.

Her bir tesis tipinin yıllık çalışma kapasiteleri (C_k), kurumun tesis tipleri için planladığı memur sayısına göre hesaplanmıştır. Randevu sistemine göre günlük olarak hizmet verilebilecek vatandaş sayısı ve yıllık işgünü sayısı hesabı ile tesislerin yıllık çalışma kapasiteleri bulunmuştur. Tesis tiplerine göre vatandaşlara hizmet veren memur sayıları Tablo-13'te sunulmuştur.

Tablo-13: Tesis Tipinde Çalışan Memur Sayıları

Tesis Tipi	Memur Sayısı
A	25-35
B	18
C	10-12
D	5-8
E	3-5

Kurum yönetiminden, hâlihazırda bulunan tesislerin yıllık bakım-ışletme maliyetleri temin edilerek, her tesis tipi için yıllık ortalama bakım-ışletme maliyetlerini gösteren M_k değerleri hesaplanmıştır.

Tesis açma maliyetleri (F_k), kurum yönetiminin geçmiş yıllardaki tecrübelerine dayanarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada kurum yönetimi farklı tiplerdeki tesislerin her şeyi ile işler hale gelebilmesi için gerekli maliyetleri belirlemiştir.

Tesislerden hizmet alacak ilçeler ile yine bu ilçelere kurulacak tesisler arası mesafelerin modele eklenmesi için bir mesafe matrisi (d_{ij}) hazırlanmıştır. Bu matrisin bir bölümü Tablo-14'te görülmektedir.

Tablo-14: Mesafe Matrisi

İlçeler	D ₁	D ₂	D ₃	...	D ₅₃	D ₅₄	D ₅₅
D ₁	-	61	36	...	201	241	215
D ₂		-	64	...	152	189	209
D ₃			-	...	251	240	220
...				-
D ₅₃					-	181	61
D ₅₄						-	121
D ₅₅							-

Eldeki mesafe verileri ile uyumlu olarak 2013 yılına ait şehirlerarası otobüs fiyatlarının ortalaması alınarak kilometre başına bir kişinin ulaşım için ödeyeceği fiyat (c) hesaplanmıştır.

Kurum yönetiminin isteklerinden birisi vatandaşların kendilerine tahsis edilen tesislere ulaşmak için en fazla bir saat harcamalarıdır. Bu kısıt bir saatlik şehirlerarası yolculuk mesafesinin 90 km. (δ) olduğu varsayılarak modele yansıtılmıştır.

c. Karar Değişkenleri

Modelin iki tip karar değişkeni bulunmaktadır. x tipi karar değişkenleri ilçelerin atanmasını, yani hangi ilçenin kurulacak hangi tesisten hizmet alacağını belirtmektedir. y tipi karar değişkenleri ise ilçeye tesis kurulup

kurulmayacağını ve kurulacaksa hangi tip tesis kurulacağını belirlemek için modelde bulunmaktadır.

d. Model

Amaç Fonksiyonu

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} W_i d_{ij} x_{ij} c + \sum_{j \in N_s} \sum_{k \in T} F_k y_{jk} + \sum_{j \in N} \sum_{k \in T} M_k y_{jk} \quad (4.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (4.2)$$

$$\sum_{k \in T} y_{jk} \leq 1 \quad \forall j \quad (4.3)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ij} \leq M \sum_{k \in T} y_{jk} \quad \forall j \quad (4.4)$$

$$\sum_{k \in T} y_{jk} C_k \geq \sum_{i \in N} x_{ij} W_i \quad \forall j \quad (4.5)$$

$$x_{ij} d_{ij} \leq \delta \quad \forall i, \forall j \quad (4.6)$$

$$\sum_{j \in N_s} \sum_{k \in T} y_{jk} = n \quad (4.7)$$

$$\sum_{k \in T} y_{jk} = 0 \quad \forall j \notin N_s \quad (4.8)$$

$$\sum_{k \in T} y_{jk} = 0 \quad \forall j \notin N_d \quad (4.9)$$

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

$$y_{jk} \in \{0,1\} \quad \forall j \in N, \forall k \in T \quad (4.11)$$

Modelin amaç fonksiyonu (4.1) bünyesinde tesis bulunmayan ilçelerdeki vatandaşların atandıkları ilçelere taşınma, tesis olmayan ilçelerde tesis açılması ve belli bir zaman aralığındaki bakım-işletme maliyetlerini minimize etmeyi hedeflemektedir. Kısıt (4.2) tüm ilçelerin bir tesise atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (4.3) ilçede tesis açılması halinde bunun beş çeşitten tesisten yalnızca biri olmasını sağlamaktadır. Kısıt (4.4) aday ilçelerden tesis kurulmayacak olanlara diğer ilçelerin atanmasını engellemek için eklenmiştir. Yani karar değişkenlerinin birbiri ile ilişkilerini sağlamaktadır. Kısıt (4.5) açılacak tesislere atanan ilçeler için işlem hacminin tesisin

kapasitesini geçmemesini sağlamaktadır. Kısıt (4.6) tesis açılmayacak ilçelerin atıldığı ilçelere en fazla 90 km. uzaklıkta olmasını sağlamaktadır. Kısıt (4.7) ilçe merkezlerinin tümüne en az bir tip tesis kurulmasını sağlamaktadır. Kısıt (4.8) ve (4.9) kurulacak tesislerin bulunacağı ilçelerin yeterli güvenlik ve gelişmişlik seviyesinde olmaları için eklenmiştir. Kısıt (4.10) ve (4.11) karar değişkenlerinin 0 ya da 1 olmasını sağlamaktadır.

e. Modelin Sonuçları

Önerilen model GAMS IDE 2.0.34.19 programı kullanılarak çözülmüş ve en iyi çözüme ulaşılmıştır. Modelin 3300 (0-1) tamsayı değişkeni ve 3190 kısıtı bulunmaktadır. Sonuçlar Tablo-15'te sunulmuştur.

Tablo-15: Matematiksel Model Sonuçları

Mevcut Tesisler						Model Önerisi					
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
D ₁	X					D ₁			X		
D ₂				X		D ₉					X
D ₇			X			D ₁₂		X			
D ₈				X		D ₁₄					X
D ₉		X				D ₁₈					X
D ₁₀				X		D ₂₁				X	
D ₁₁			X			D ₂₂				X	
D ₁₂	X					D ₂₃					X
D ₂₁		X				D ₃₁					X
D ₂₂		X				D ₃₂				X	
D ₂₃			X			D ₃₉					X
D ₂₄			X			D ₄₀				X	
D ₃₁				X		D ₄₂		X			
D ₃₂		X				D ₄₃				X	
D ₃₈			X			D ₅₂				X	
D ₃₉			X			D ₅₅					X
D ₄₀		X				Toplam	0	2	1	6	7
D ₄₁			X								
D ₄₂	X										
D ₄₃		X									
D ₄₉			X								
D ₅₀				X							
D ₅₁			X								
D ₅₂			X								
Toplam	3	6	10	5	0						

Matematiksel modelin sonuçlarına göre şu an kurulu durumdaki 11 tesis (D_2 , D_7 , D_8 , D_{10} , D_{11} , D_{24} , D_{38} , D_{41} , D_{49} , D_{50} ve D_{51}) kapatılmalıdır. Bölgeye üç yeni tesis (D_{14} , D_{18} , D_{55}) eklenmelidir. Böylece bölgede bulunan tesis sayısı 24'den 16'ya düşmektedir.

Mevcut durumda bölgede A tipi tesis sayısı üç iken matematiksel model A tipi tesis önermemektedir. B tipi tesis sayısını altıdan ikiye düşmesi, C tipi tesis sayısının 10'dan bire düşmesi, D tipi tesis sayısı beşten altıya çıkması ve bölgede bulunmayan E tipi tesis sayısının yedi olması önerilmektedir.

Bölgede kurulması önerilen en büyük tesisler şu anda olduğu gibi D_{12} ve D_{42} ilçelerindedir.

3. SMAA-TRI UYGULAMASI

Bu bölümde matematiksel model ile elde edilen çözümleri test etmek ve kamu kurumu tarafından belirlenen niteliklerden en fazlasına sahip olan tesisleri belirlemek amacıyla Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi-TRI (SMAA-TRI) metodu kullanılmıştır.

Bu yöntemde sistemde mevcut hizmet birimleri genel yönetim tarafından belirlenen altı kritere göre değerlendirilmiştir. Yapılan sınıflandırma ile mevcut hizmet birimleri kapatılması gereken ve açık bulundurulması gereken tesisler şeklinde iki kategoriye ayrılmıştır.

Problemin çözümü için ÇKKV yöntemleri arasından SMAA-TRI metodunun seçilme nedenleri şöyle sıralanabilir:

1. Bazı alternatifler için kriter değerleri bilinmemektedir.

2. İncelenen problem kamuyu ilgilendiren, politik bir problemdir ve karar verici sayısı birden fazladır.
3. Karar vericiler tercihlerini net olarak ifade etmekten kaçınmaktadır. Bu nedenle alternatiflerin kesin kriter değerlerine ulaşmak mümkün değildir.
4. Kriter ağırlıkları kesin olarak bilinmemektedir. Yönetimden kriterlerin birbirlerine olan hiyerarşik üstünlükleri dışında herhangi bir bilgi alınamamaktadır.
5. Problem bir sınıflandırma yapmayı gerektirmektedir.

Kurumun genel yönetimi il merkezlerindeki tesislerin açık kalmasını istemektedir. Bu nedenle (D₁, D₁₂, D₂₂, D₃₂, D₄₂, ve D₅₂) kodları ile temsil edilen altı adet il merkezi değerlendirme dışında tutulmuştur. Böylece sınıflandırma problemi, geri kalan 18 tesisten hangilerinin açık tutulup hangilerinin kapatılması gerektiğine karar verme problemine indirgenmiştir.

Mevcut tesislerin değerlendirilmesi için kurumun genel yönetimi tarafından belirlenen kriterler ve bu kriterlere ilişkin açıklamalar aşağıda sunulmuştur.

K1- İlçe Nüfusu:

İlçede ikamet eden ve o tesisten hizmet alacak vatandaşların sayısını göstermektedir. Genel yönetim nüfus yoğunluğu fazla olan ilçelerdeki tesislerin mümkün olduğunca açık bulundurulmasını istemektedir. Bu kriter için Türkiye İstatistik Kurumu 2012 yılı verilerinden yararlanılmıştır.

K2- İl Merkezine Uzaklık:

İl merkezlerindeki tesislerin açık kalması yönetimin taleplerinden biridir ve bu nedenle il merkezlerindeki tesislerin açık olması buraya yakın ilçelerdeki tesislerin açık kalma şansını azaltacaktır. Bu kriter alternatif ilçelerin il merkezlerine olan uzaklıklarını göstermektedir. Genel yönetim herhangi bir vatandaşa en yakın hizmet merkezinin 90 Km den daha uzakta olmasını istememektedir.

K3- Yıllık Bakım İşletme Maliyeti:

Kurum yönetiminden, hâlihazırda bulunan tesislerin yıllık bakım-işletme maliyetleri temin edilerek, her tesis tipi için yıllık ortalama bakım-işletme maliyetleri hesaplanmıştır.

Bu kriter sistemde mevcut tesislerin yıllık bakım ve işletme maliyetlerini yansıtmaktadır. Kurum yönetiminin maliyet etkin bir yapı istemesi, ortalama yıllık bakım ve işletme maliyetleri az olan tesislerin mümkün olduğunca açık bulundurulmasını gerektirmektedir.

K4- İlçe Gelişmişlik düzeyi:

Bu kriter, alternatif ilçelerin gelişmişlik düzeylerini yansıtmaktadır. İlçelerin gelişmişlik düzeyleri Kalkınma Bakanlığı tarafından 2004 yılında yapılan bir çalışmaya ait veriler kullanılarak modele yansıtılmıştır (Kalkınma Bakanlığı, 2004). Gelişmişlik düzeyi yüksek olan ilçelerdeki tesislerin mümkün olduğunca açık bulundurulması hedeflenmektedir.

K5- İlçe Güvenlik Düzeyi:

Bu kriter ilçelerin güvenlik seviyelerini yansıtmaktadır. İlçelerin tamamı yönetimin subjektif değerlendirmesi ile beş güvenlik seviyesine

ayrılmıştır. Yeterli güvenlik seviyesine sahip olmayan ilçelerde tesis kurulması arzu edilmemektedir.

K6- Tesis Bina Durumu:

Bu kriter kurulu tesis binalarının durumlarını göstermektedir. Bina durumuna ilişkin değerlendirmeler kurum yönetimi tarafından yapılmıştır. Yönetim bina durumu iyi olan tesislerin mümkün olduğunca açık kalmasını istemektedir.

Politik, siyasi ve kamusal bir karar olması nedeniyle karar vericiler kriterlerin ağırlıkları konusunda kesin bir yargıya varamamışlardır. Ancak kriterleri önem derecelerine ilişkin olarak bir sıralama yapmışlardır. Kurum yönetimi kriterlerin önem sırası şu şekildedir.

1. İlçe Nüfusu
2. İl Merkezine Uzaklık
3. Yıllık Bakım İşletme Maliyeti
4. İlçe Gelişmişlik düzeyi
5. İlçe Güvenlik Düzeyi
6. Tesis Bina Durumu

Yani kriterlerin önem sırası aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

$$K1 \geq K2 \geq K3 \geq K4 \geq K5 \geq K6$$

SMAA metodunun gelişmesine önemli katkılarda bulunan Tervonen JAVA tabanlı bir açık kaynak yazılımını JSMAA adı altında internet üzerinden

kullanıma sunmuştur (Tervonen 2012). JSMAA yazılımı ile SMAA-2 ve SMAA-TRI uygulamaları gerçekleştirilebilmektedir.

SMAA-TRI metodu uygulaması için JSMAA yazılımı kullanılmıştır. Altı il merkezindeki tesis, kurum yönetiminin isteği doğrultusunda açık kalacaktır. Sınıflandırma için kalan 18 alternatif tesis belirlenen altı kritere göre değerlendirilmiş ve alternatifler iki kümeye ayrılmıştır. Birinci küme açık kalacak tesisler kümesi iken, ikinci küme kapatılacak tesisler kümesini oluşturmaktadır.

SMAA-TRI metodu alternatiflerin kriter değerleri ve kriter ağırlık değerleri girildikten sonra kategori kabul edilebilirlik indislerini vermektedir. Problemden kriterlerin ağırlık değerleri bulunmadığı ve sadece kriterlerin önem sıraları belli olduğu için, kriterler ağırlıkları sıraları modele girilmiştir. Tablo-16 modelin sonucu olarak alternatiflerin kategori kabul edilebilirlik indislerini göstermektedir.

Tablo-16: SMAA-TRI Sonuçları Tablosu

	Kategori Kabul Edilebilirlik İndisi	
	Kapatılacaklar	Açık Kalacaklar
D ₂	0,55	0,45
D ₇	0,98	0,02
D ₈	0,58	0,42
D ₉	0	1
D ₁₀	0,84	0,16
D ₁₁	0,54	0,46
D ₂₁	0	1
D ₂₃	0,14	0,86
D ₂₄	0,54	0,46
D ₃₁	0,98	0,02
D ₃₈	0	1
D ₃₉	0,08	0,92
D ₄₀	0	1
D ₄₁	0,9	0,1
D ₄₃	0	1
D ₄₉	0,13	0,87
D ₅₀	0,13	0,87
D ₅₁	0,03	0,97

Kategori kabul edilebilirlik indisleri bir alternatifin o kategoriye ne kadar uyduğunun göstergesidir. Örneğin D₇ ilçesindeki tesisin birinci kategori kabul edilebilirlik indis değeri 0.98'dir. Bu değer ilçedeki tesisin %98 oranında kapatılmayacak tesisler grubuna girdiğini göstermektedir.

Modelde iki kategori bulunduğundan, ilçelerdeki tesisler en fazla hangi kategoride bulunma olasılığı fazla ise o grubun üyesi sayılmıştır. SMAA-TRI metodu bölgedeki açık olan tesislerden sekiz tanesinin kapatılmasını öngörmüştür. Bu tesisler Tablo-16'da görüldüğü gibi D₂, D₇, D₈, D₁₀, D₁₁, D₂₄, D₃₁, ve D₄₁'dir.

4. UYGULAMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Kapasite kısıtlı tesis yeri seçimi için uygulanan matematiksel model ve SMAA-TRI uygulamaları sonucunda kapanması önerilen tesisler bulunmuştur. İki ayrı yöntem problem için farklı yaklaşımlar öngörmesine rağmen, sonuçlar büyük ölçüde örtüşmektedir. Tablo-17 kamu kurumu tesis yeri seçim problemine uygulanan iki yöntemin sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 17: Matematiksel Model ve SMAA-TRI Sonuçlar Tablosu

MATEMATİKSEL MODEL			SMAA-TRI		İki Yöntemin Kapanmasını Önerdikleri
Açılsın	Kapansın	Açık Kalsın	Kapansın	Açık Kalsın	
D ₁₄	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂
D ₁₈	D ₇	D ₉	D ₇	D ₉	D ₇
D ₅₅	D ₈	D ₁₂	D ₈	D ₁₂	D ₈
	D ₁₀	D ₂₁	D ₁₀	D ₂₁	D ₁₀
	D ₁₁	D ₂₂	D ₁₁	D ₂₂	D ₁₁
	D ₂₄	D ₂₃	D ₂₄	D ₂₃	D ₂₄
	D ₃₈	D ₃₁	D ₃₁	D ₃₂	D ₄₁
	D ₄₁	D ₃₂	D ₄₁	D ₃₈	
	D ₄₉	D ₃₉		D ₃₉	
	D ₅₀	D ₄₀		D ₄₀	
	D ₅₁	D ₄₂		D ₄₂	
		D ₄₃		D ₄₃	
		D ₅₂		D ₄₉	
				D ₅₀	
				D ₅₁	
				D ₅₂	

İlçe Sayısı: 55

Mevcut Tesis Sayısı:24

Matematiksel model bulunan bölgede 11 tesisin kapatılmasını, üç yeni tesisin de kurulmasını önermektedir. Böylelikle bölgedeki tesis sayısı 24'ten 16'ya düşürülmektedir. Mevcut tesislerden 13 tanesinin durumunda bir değişiklik bulunmamaktadır.

SMAA-TRI metodunun sonuçlarına baktığımızda bölgedeki 24 tesisin sekiz tanesinin kapatılması gerektiği görülmektedir. Matematiksel modelde olduğu gibi SMAA-TRI metodu da bölgede bulunması gereken tesis sayısını 16 olarak öngörmektedir.

İki yöntemin sonuçları karşılaştırıldığında, özellikle kapatılması gereken yedi hizmet birimi konusunda her iki yöntemde hemfikir oldukları görülmektedir. Bu tesisler D_2 , D_7 , D_8 , D_{10} , D_{11} , D_{24} ve D_{41} 'dir.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. SONUÇLAR

Tesis yeri seçimi uygun olmayan yerleşmelerin düzeltilmesindeki yüksek maliyet, hızlı değişim, ileri teknoloji, zaman kısıtlamaları nedenleriyle günümüzde çok önemli bir araştırma konusu olma özelliğini korumaktadır. Bu konu özellikle kamu kurumlarında politik ve siyasi nedenlerle zor kararlar alınması ile daha karmaşık bir hal almaktadır. Süreçte bulunan birçok belirsizlik hatasız bir karar vermeyi imkânsız hale getirmektedir. Bu koşullar altında kamu kurumları için gerçek-yaşam tesis yeri seçim problemlerinin çözümünde tek bir yöntem uygulamak karar vericilerde hep bir eksiklik duygusunu beraberinde getirecektir. İşte bu eksikliğin üstesinden gelebilmek adına birden çok yöntemin bir arada kullanılmasının daha güvenilir sonuçlar ortaya koyacağı aşikârdır.

Bu çalışmada bir kamu kurumuna ait gerçek bir tesis yeri seçimi problemi ele alınmıştır. Bu problem, temel olarak kamu kurumunun ülke çapında çeşitli il ve ilçelerde konuşlu hizmet merkezi sayısını azaltmak istemesinden kaynaklanmaktadır. Ancak, mevcut tesislerin genel yönetimin taleplerini karşılayamaması durumunda yeni tesislerin açılması da söz konusudur.

Bu problemin çözümü için iki farklı yöneylem araştırması yöntemi birlikte kullanılmıştır. İlk olarak sistemde il merkezlerindeki tesisler dışında hiç bir tesis yokmuş gibi yeni tesislerin nerelere yerleştirilmesi gerektiği ve hangi ilçelerin hangi tesislerden hizmet alacağı bir matematiksel programlama modeli ile belirlenmeye çalışılmıştır. Matematiksel model yardımıyla şu sorulara cevap aranmıştır:

- Sistemde kaç adet hizmet birimi bulunmalıdır.
- Hangi ilçelere hangi tür tesis açılmalıdır.
- Hangi hizmet birimleri kapatılmalıdır.
- Hangi ilçe hangi hizmet merkezinden hizmet almalıdır.

Sistemde il merkezlerindeki tesisler dışında hiç bir tesis yokmuş gibi yeni tesislerin nerelere yerleştirilmesi gerektiğinin belirlenmesi aslında dolaylı olarak mevcut tesislerin hangilerin kapatılacağı ve ilave olarak hangi yeni tesislerin kurulacağı sorularına da cevap vermektedir.

Daha sonra mevcut tesisler arasında, kamu kurumunun sahip olmasını istediği niteliklerden en fazlasına sahip olanlar Stokastik Çok Kriterli Kabul edilebilirlik Analizi-TRI (SMAA-TRI) metodu ile tespit edilmiştir. Bu yöntemde sistemde mevcut hizmet birimleri genel yönetim tarafından belirlenen altı kritere göre değerlendirilmiştir. Yapılan sınıflandırma ile mevcut hizmet birimleri kapatılması gereken ve açık bulundurulması gereken tesisler şeklinde iki kategoriye ayrılmıştır.

Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında matematiksel modelin açık kalmasını önerdiği tesislerin SMAA-TRI çözümünde de tercih edilen tesisler olduğu görülmüştür. Bölgedeki tesis sayısı hâlihazırda 24 iken, matematiksel model 11 tesisin kapatılıp üç yeni tesisin açılmasını öngörmektedir. 16 tesis ile sağlanacak kamu hizmeti ile hiçbir vatandaş bu hizmete ulaşmak için bir saatten fazla ulaşım zamanı harcamayacaktır. SMAA-TRI metodu bölgedeki sekiz tesisin kapatılmasını önermektedir. Sonuçlar karşılaştırıldığında iki yöntemin kapatılması gereken 7 tesis konusunda hemfikir oldukları tespit edilmiştir.

Ayrıca matematiksel model ile kurulan sistem ile vatandaşların en fazla 1 saatlik yolculuk ile tesislere ulaşmaları sağlanmakta ve 211 kamu görevlisinden tasarruf edilmektedir.

Literatürde tesis yeri seçimi ile ilgili pek çok çalışmaya rastlamak mümkündür. Bu çalışmayı diğerlerinden ayıran yönleri:

- SMAA yöntemlerinden birisi olan SMAA-TRI metodunun ilk defa tesis yeri seçiminde kullanılıyor olması,
- SMAA-TRI metodu ile matematiksel modelin ilk defa bir çalışmada birlikte kullanılması,
- SMAA metodunu kullanan tesis yeri seçimi problemlerinde yerleştirilecek tesis sayısı bir iken bu çalışmada yerleştirilecek tesis sayısı birden fazla olmasıdır.

2. ÖNERİLER

Kamu kurumu yönetiminden temin edilen bilgiler ışığında problemin çözümü için iki yöntem uygulanması, yönetime bu konuda üç seçenek sunmaktadır. Yönetim bu metotlardan birisini esas alarak tesis sayısını azaltabileceği gibi uygulanan yöntemlerdeki verileri, öncelikleri ya da yöntemin bir bölümünü değiştirerek kendi sonuçlarını elde edebilir.

Tesis yeri seçimi problemi için gerçek hayat modeline yaklaşma gereksinimi, metotların daha ayrıntılı olmasına neden olmaktadır. Bu konuda probleme ait bilgilerin tam, doğru ve yansız olarak sağlanması önemlidir. Problemlerin çözümünde birden fazla yöntemin birlikte kullanılması hataların en aza indirilmesini sağlarken, karar vericilere alternatif çözümler sunmaktadır.

Yöneticiler kurumlarda verilecek kararlar üzerinde büyük ölçüde söz sahibi olmak isterler. Özel kurumlarda yöneticiler tercihlerini açıkça dile getirerek ortaya koyabilirler. Ama kamu kurumlarında alınacak kararların siyasi ve politik nitelikleri ve kamuoyunda yaratacağı etki düşünülerek özel sektör kadar rahat davranılamaz. İşte SMAA metodu bu durumlar için geliştirilmiştir. Yöneticiye alternatifler arasından en iyisini sunmak yerine, hangi alternatiflerin ne oranda seçilebilir olduğu bilgisini verir. SMAA bu özelliği nedeniyle özellikle kamu sektörü için uygun bir çok kriterli karar verme metodudur.

Sonuç olarak ;

- Kamu kurumlarına ait tesis yeri seçim problemleri için ÇKKV yöntemlerinden SMAA kullanılmalı,
- Yapılacak hataların yüksek maliyetlere neden olacağı önemli problemlerde birden fazla yöntemin kullanılmalı ve karar vericilere alternatif sonuçlar sunulmalıdır.

KAYNAKÇA

- Aertsen, W., Kint, V., Orshoven, J. v. Muys, B. (2011). "Evaluation of modelling techniques for forest site productivity prediction in contrasting ecoregions using stochastic multicriteria acceptability analysis (SMAA)." **Environmental Modelling & Software**, 26 (7): 929-937,
- Agar, M.C., Salhi, S., (1998). "Lagrangean Heuristics Applied to a Variety of Large Capacitated Plant Location Problems." **Journal of the Operational Research Society** 49, 1072–1084.
- Ahuja, R.K., Orlin, J.B., Pallottino, S., Scaparra, M.P., Scutell., (2004). "A multi-exchange heuristic for the single-source capacitated facility location problem." **Management Science** 50 (6), 749–760.
- Akinc, U., Khumawala, B.M., (1977) "An efficient branch and bound algorithm for the capacitated warehouse location problem." **Management Science** 23:585–594.
- Alfieri, A., Brandimarte, P., D’Orazio, S., (2002). "LP-Based Heuristics for the Capacitated Lot-Sizing Problem: the Interaction of Model Formulation and Solution Algorithm." **International Journal of Production Research** 40, 441–458.
- Arabani A.B., Farahani R.Z., (2012). "Facility location dynamics: an overview of classifications and applications." **Computers & Industrial Engineering**, 62(1), pp. 408-420.
- Badri M. A., (1999). "Combining the analytic hierarchy process and goal programming for global facility location allocation problem." **International Journal of Production Economics** 62(3): 237-248.
- Baldacci, R., Hadjiconstantinou, E., Maniezzo, V., Mingozzi, A., (2002). "A New Method for Solving Capacitated Location Problems Based on a Set Partitioning Approach." **Computers & Operations Research** 29, 365–386.
- Balinski, M.L., (1965). "Integer Programming: Methods, Uses, Computation." **Management Science**, 12, 253-313.
- Beasley J.E. (1988) "An algorithm for solving large capacitated warehouse location problems." **European Journal of Operations Research** 33:314–325.
- Blin J.M., (1974), Fuzzy relations in group decision theory **Journal of Cybernetics**, 4 pp. 17–22
- Chou T.Y., Hsu C.L., and Chen M.C., (2008). "A fuzzy multicriteria decision model for international tourist hotels location selection." **International journal of hospitality management**, 27: 293-301
- Church, R., ReVelle, C., (1974). "The maximal covering location problem." **Papers of the Regional Science Association** 32, 101-118.

Contreras, I.A., Diaz, J.A., (2008). "Scatter search for the single source capacitated facility location problem." **Annals of Operations Research** 157, 73–89.

Cortinhal, M.J., Captivo, M.E., (2003). "Upper and lower bounds for the single source capacitated location problem." **European Journal of Operational Research** 151, 333–351.

Daskin, M.S., (1995). "Network and discrete location: Models, algorithms, and applications." **New York, NY: Wiley.**

Davis, P.S., Ray, T.L., (1969). "A branch-bound algorithm for capacitated facilities location problem." **Naval Research Logistics Quarterly** 16, 331-344.

Delmaire, H., Diaz, J.A., Fernandez, E., Ortega, M., (1999). "Reactive GRASP and Tabu Search Based Heuristics for the Single Source Capacitated Plant Location Problem." **INFOR** 37, 194–225.

Diaz, J.A., Fernandez, E., (2002). "A Branch-and-Price Algorithm for the Single Source Capacitated Plant Location Problem." **Journal of the Operational Research Society** 53, 728–740.

Durbach, I. (2006). "A simulation-based test of stochastic multicriteria acceptability analysis using achievement functions." **European Journal of Operational Research**, 170 (3): 923-934.

Erlenkotter, D. (1981)" A comparative study of approaches to dynamic location problems." **European Journal of Operational Research**, 6, 133-143.

Ersöz F., Kabak M., (2010) "Savunma Sanayi Uygulamalarında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Literatür Araştırması", **KHO Savunma Bilimleri Dergisi** , 97-125 pp.

Farahani R. Z., SteadieSeifi M. Asgari N. (2010). "Multiple criteria facility location problems: A survey." **Applied Mathematical Modelling** 34: 1689–1709.

Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M. (Eds.), (2005). "Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys." **Springer Science&Business Media, Inc., New York.**

Gao, L.L. ve Robinson Jr., E.P. (1994). "A dual-based optimization procedure for the two-echelon incapacitated facility location problem." **Naval Research Logistics**, 39, 191-212.

Gencer, C., Açıkgoz, A., (2006). "Türk Silahlı Kuvvetleri Arama Kurtarma Timlerinin Yerleşiminin Yeniden Düzenlenmesi." **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.** Cilt 21, No 1, 87-105.

Ghiani, G., Guerriero, F., Musmanno, R., (2002). "The Capacitated Plant Location Problem with Multiple Facilities in the Same Site." **Computers & Operations Research** 29, 1903–1912.

Goldman, A.J., (1969). "Optimal location for centers in a network." **Transportation Science** 3, 352–360.

Guneri A.F., Cengiz M., and Seker S., (2009). "A fuzzy ANP approach for ship yard location selection." **Expert systems with applications**, 36: 7992-7999.

Hakimi, S.L., (1964). "Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph." **Operations Research** 12, 450–459.

Hakimi, S.L., (1965). "Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems." **Operations Research** 13, 462–475.

Hindi, K.S., Pienkosz, K., (1999). "Efficient Solution of Large Scale, Single-Source, Capacitated Plant Location Problems." **Journal of the Operational Research Society** 50, 268–274.

Hinojosa, Y., Puerto, J., Fernandez, F., (2000). "A Multi-Period Two-Echelon Multi-Commodity Capacitated Plant Location Problem." **European Journal of Operational Research** 123 (2), 271–291.

Hokkanen J, Lahdelma R, Miettinen K, Salminen P., (1998). "Determining the implementation order of a general plan by using a multicriteria method." **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis** 7(5): 273–284.

Hokkanen, J., Lahdelma, R. Salminen, P. (1999). "A multiple criteria decision model for analyzing and choosing among different development patterns for the Helsinki cargo harbor." **Socio-Economic Planning Sciences**, 33: 1-23.

Hokkanen, J., Lahdelma, R. and Salminen, P., (2000). "Multicriteria decision support in a technology competition for cleaning polluted soil in Helsinki." **Journal of Environmental Management**, 60 (4): 339-348.

Türkiye İstatistik Kurumu İnternet Sitesi, (2012).
<http://tuikapp.tuik.gov.tr/adnksdagitapp/adnks.zul>

Kalkınma Bakanlığı İnternet Sitesi, (2013).
<http://ekutup.dpt.gov.tr/bolgesel/gosterge/2004/ilce.pdf>

Ishizaka A., Philippe Nemery, Karim Lidouh, (2013,) "Location selection for the construction of a casino in the Greater London region: A triple multi-criteria approach" **Tourism Management**, Volume 34, Pages 211-220

Jacobsen, S.K., (1990). "Multiperiod capacitated location models. In: Mirchandani, P.B., Francis, R.L. (Eds.)," **Discrete Location Theory**. Wiley, New York, pp. 173-208.

Jacobsen, S.K., (1983). "Heuristics for the capacitated plant location model." **European Journal of Operational Research** 12, 253-261.

Kadzinski, M. and Tervonen, T. (2013). "Robust multi-criteria ranking with additive value models and holistic pair-wise preference statements." **European Journal of Operational Research**, 228 (1): 169-180.

Kahraman C., Ruan D., and Dogan I., (2003). "Fuzzy group decision-making for facility location selection." **Information Sciences**, 157: 135 -153.

Kangas, J. ve Kangas, A. Multicriteria approval and SMAA-O method in natural resources decision analysis with both ordinal and cardinal criteria. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 12 (1): 3-15, 2003.

Kangas, A. Store, R., Kangas, J., (2005) "Socioecological Landscape Planning Approach and Multicriteria Acceptability Analysis in Multiple Purpose Forest Management." **Forest Policy and Economics**, 7: 603-614.

Kangas, A., Kangas, J., Lahdelma, R. and Salminen, P. Using SMAA-2 method with dependent uncertainties for strategic forest planning. *Forest Policy and Economics*, 9: 113-125, 2006.

Kariv, O. ve Hakimi, S.L. (1979) "An algorithmic approach to network location problems. Part II: The p-median." **SIAM Journal of Applied Mathematics** 37, 539–560.

Klose, A., Drexler, A., (2004). "Facility location models for distribution system design." **European Journal of Operational Research** 162, 4-29.

Kuehn A.A, Hamburger M.J, (1963). "A heuristic program for locating warehouses." **Management Science** 9:643–666.

Lahdelma R., Miettinen K., Salminen P., (2005). "Reference point approach for multiple decision makers." **European Journal of Operational Research** 164, 785-791

Lahdelma R., Hokkanen J. ve Salminen P., (1998). "SMAA-stochastic multiobjective acceptability analysis." **European Journal of Operational Research** 106, 137-143.

Lahdelma R, Salminen P., (2001). "SMAA-2: stochastic multicriteria acceptability analysis for group decision making." **Operations Research** 49(3): 444–454.

Lahdelma R, Salminen P, Hokkanen J., (2002). "Locating a waste treatment facility by using stochastic multicriteria acceptability analysis with ordinal criteria." **European Journal of Operational Research**; 142(2):345--356.

Lahdelma, R., Miettinen, K. and Salminen, P. (2003). "Ordinal criteria in stochastic multicriteria acceptability analysis (SMAA)." **European Journal of Operational Research**, 147 (1): 117-127.

Lahdelma, R., Miettinen, K. and Salminen, P. (2005). "Reference point approach for multiple decision makers." **European Journal of Operational Research**, 164 (3): 785-791.

Lahdelma R. ve Salminen P., (2006). "Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis Using The Data Envelopment Model." **European Journal of Operational Research**, 170, 241-252.

Lai, M., Sohn, H., Tseng T., Chiang C., (2010). "A hybrid algorithm for capacitated plant location problem." **Expert Systems with Applications** 37, 8599–8605.

Magnanti, T.L., Wong, R.T., (1990). "Decomposition methods for facility location problems." **Cambridge, Mass: Operations Research Center**, pp. 209-262.

Marianov, V. ve ReVelle, C., (1996). "The queueing maximal availability location problem: A model for the siting of emergency vehicles." **European Journal of Operational Research**, 93, pp. 110-120.

Melkote. S., Daskin, M.S., (2001). "Capacitated facility location-network design problems." **European Journal of Operational Research** 129, 481-495.

Menou A, Benallou A, Lahdelma R, Salminen P., (2010). "Decision support for centralizing cargo at a Moroccan airport hub using stochastic multicriteria acceptability analysis." **European Journal of Operational Research** 204: 624-629.

Merad, M., Verdel, T., Roy, B., Kouniali, S., (2004), "Use of multi-criteria decision-aids for risk zoning and management of large area subjected to mining-induced hazards. Tunnelling and Underground" **Space Technology** 19, 125–138.

O'Kelly, M.E., (1987). "A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities." **European Journal of Operational Research** 32, 393–404.

Okul, D. (2012), "**Stokastik çok kriterli karar vermede yeni bir yöntem: SMAA-TOPSIS ve bir uygulama.**" Doktora Tezi, Kara Harp Okulu.

Owen, S.H. ve Daskin, M.S., (1998). "Strategic facility location via evolutionary programming. Working paper", **Dept of Industrial Engineering and Management Science**, Northwestern University, Evanston, Illinois.

ReVelle, C.S. ve Swain, R. (1970), "Central facilities location." **Geographical Analysis** 2, 30–42.

ReVelle, C.S., Eiselt, H.A., (2005). "Location analysis: A synthesis and survey." **European Journal of Operational Research** 165, 1–19.

ReVelle C.S., Eiselt H.A. Daskin M.S., (2008). "A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science." **European Journal of Operational Research**, vol. 184, issue 3, pages 817-848

Roy, B. (1985), *Méthodologie multicritère d'aide la décision*, **Economica**, Paris.

Tervonen, T., Almeida-Dias, J., Figueira, J., Lahdelma, R., Salminen, P., (2005). "SMAA-TRI: A parameter stability analysis method for ELECTRE TRI." Research Report 6/ 2005 of **The Institute of Systems Engineering and Computers**.

Tervonen, T. Lahdelma, R. (2007). "Implementing stochastic multicriteria acceptability analysis." **European Journal of Operational Research**, 178 (2): 500-513.

Tervonen T., Figueira J., (2008). "A Survey on Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis Methods." **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis** 15: 1-14.

Tervonen T., Lahdelma R., Dias JA, Figueira J., Salminen P., (2009a). "SMAA-TRI: A Parameter Stability Analysis Method For ELECTRE-TRI," In **Environmental Security in Harbors and Coastal Areas**, eds. GA Kiker, I. Linkov, Springer: Berlin, p. 217–231.

Tervonen, T., Linkov, I., Steevens, J., Chappell, M., Figueira, J.R. Merad, M. (2009b). "Risk-based classification system of nanomaterials." **Journal of Nanoparticle Research**, 11 (4): 757-766.

Tervonen, T., Valkenhoef, G. v., Buskens, E., Hillege, H. L. Postmus, D. (2011). "A stochastic multicriteria model for evidence-based decision making in drug benefit-risk analysis." **Statistics in Medicine**, 30 (12): 1419-1428.

Tervonen, T., (2012). "JSMAA: open source software for SMAA computations." **International Journal of Systems Science**, p.1-13.

Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., & Bergman, L., (1971). "The location of emergency services facilities." **Operations Research**, 19, 1363–1373.

Vahidnia MH, Alesheikh AA, and Alimohammadi A (2009). "Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives." **Journal of Environmental Management** 90 (10): 3048-3056

Van Roy T.J. (1986) "A cross decomposition algorithm for capacitated facility location." **Operation Research** 34:145–163.

Weber, A., (1909). "Über den Standort der Industrien," **Erster Teil: Reine Theorie des Standortes**

Yang Z., Chu F., Chen H., (2012) "A cut-and-solve based algorithm for the single-source capacitated facility location problem." **European Journal of Operational Research** 221:3, 521-532

Yılmaz, B., Dağdeviren, M., (2010). "Ekipman Seçimi Probleminde Promethee ve Bulanık Promethee yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi." **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.** Cilt 25, No 4, 811-826.

Yu W. (1992). "Aide multicritère à la décision dans le cadre de la problématique du tri :" **Concepts,méthodes et applications**. Ph.D. thesis, Université Paris-Dauphine..

