AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

Salih AKA

YER SEÇİMİ PROBLEMLERİNE BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI: ATIK KUTULARININ YERLEŞİMİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

İşletme Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Antalya, 2015

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

Salih AKA

YER SEÇİMİ PROBLEMLERİNE BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI: ATIK KUTULARININ YERLEŞİMİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Danışman
Doç. Dr. Gökhan AKYÜZ

İşletme Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Antalya, 2015

Akdeniz Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğüne,

Salih AKA'nın bu çalışması, jürimiz tarafından İşletme Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Programı tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan	: Prof. Dr. Ayşe ANAFARTA	(İmza)
Üye (Danışmanı)	: Doç. Dr. Gökhan AKYÜZ	(İmza)
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Ömür TOSUN	(İmza)

Tez Başlığı: Yer Seçimi Problemlerine Bulanık Hedef Programlama Yaklaşımı: Atık Kutularının Yerleşimi Üzerine Bir Uygulama

Onay: Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Tez Savunma Tarihi : 09 /07/ 2015
Mezuniyet Tarihi : 23/07/ 2015

Prof. Dr. Zekeriya KARADAVUT
Müdür

İ Ç İ N D E K İ L E R

İKİNCİ BÖLÜM

BULANIK MANTIK ve BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİR ATIK KUTULARININ YERLEŞİMİNE YÖNELİK UYGULAMA

ŞEKİLLER LİSTESİ

TABLOLAR LİSTESİ

HARİTALAR LİSTESİ

ÖZET

Yer seçimi problemleri tedarikçiden müşteriye uzanan üretim sürecinin her aşamasında ortaya çıkabilmektedir. Yeni bir tesise uygun noktanın seçimi, tesis içi makinaların yerleşimi veya hizmet birimleri için farklı yerlerin belirlenmesi tipik yer seçimi problemleridir. Problem temelinde talep, maliyet, kar beklentisi ve çevresel hassasiyet gibi birbiriyle çelişen çoklu amaçlar yer almaktadır. Birden fazla amacı olan böylesi problemlerde tüm amaçları olabildiğince tatmin edecek uzlaşık çözümler aranmaktadır. Bu çalışmada Antalya ili Konyaaltı Belediyesi Siteler Mahallesinde Geri Dönüştürülebilir Atık Kutularının yerleşimine yönelik bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Çalışmada iki ana amaca hizmet edecek Bulanık Hedef Programlama tabanlı bir yerleşim ve rotalama modeli kurulmuştur. Model yoluyla aday yerleşim noktaları arasından seçilen uygun yerleşim noktalarının maksimum sayıda haneye hizmet etmesi, aynı zamanda noktalar arasında minimum mesafeli bir rotanın oluşması amaçlanmıştır. Farklı tolerans aralıkları ve farklı öncelik yapıları için çalıştırılan model ile Geri Dönüştürülebilir Atık Kutularının bir rota üzerinde en uygun noktalara yerleştirilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok amaçlı yer seçimi modelleri, yerleşim ve rotalama problemleri, bulanık hedef programlama.

SUMMARY

FUZZY GOAL PROGRAMMING APPROACH TO LOCATION PROBLEMS: AN APPLICATION ON THE LOCATION OF WASTE CONTAINERS

The Location Problems may arise out of every stage of production processes from suppliers to customers. The selection of an appropriate place for a new plant, the location of in-plant machines, or the determination of different places for service units are typical examples of location problems. In these problems, there are some multiple conflicting objectives such as demand, cost, profit expectation, and environmental concern. Therefore, compromised solutions, which satisfy all objectives, are sought for these multi-objective problems. In this study, an application about determining the location of recyclable waste containers was executed in Siteler District part of Konyaaltı Municipality in Antalya. For this problem, a location and rotation model based fuzzy goal programming was built. It was aimed to select optimal location nodes, which serve the maximum number of dwellings from candidate locations nodes and also, to create a minimum-distanced route between selected nodes. The recyclable waste containers were located on optimal nodes of the route obtained by the mathematical model, which run for different tolerance intervals and different priority structures.

Keywords: Multi-objective location models, location and routing problems, fuzzy goal programming.

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince her daim yanımda olan aileme, saha çalışmaları ve karar süreçlerine verdiği katkı için Konyaaltı Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürü Dr. Özgür Bülent YALÇIN' a ve her zorlu aşamada artan desteği ve sınırsız ilgisiyle yol gösteren Değerli Hocam Doç. Dr. Gökhan AKYÜZ' e sonsuz teşekkür ederim.

Salih AKA

Antalya, 2015

GİRİŞ

Yer seçimi problemleri ile bir işletmenin hem kuruluş aşamasında hem de kuruluştan sonraki faaliyetlerini devam ettirmesi sırasında karşılaşılabilmektedir. Bir ana tesisin, bazen ulaşım kanallarını birleştiren çeşitli istasyonların bazen de dağıtım ağının sonundaki bir deponun kurulabilmesi amacıyla ortaya çıkan bu problemler, tesisin kurulmasından tesis ile müşteri arasındaki ürün akışının sağlanmasına kadar bir dizi kararlar içermektedir. Süreç içerisinde alınan yerleşimi ilgilendiren farklı kararlar işletmenin birçok performans kriteri üzerinde doğrudan veya dolaylı olarak etkili olabilmektedir. İyi bir yerleşim kararı için maliyet, kapasite, tesis sayısı, ürün çeşitliliği ve buna benzer birçok unsurun göz önüne alınması gerekmektedir. Dolayısıyla yer seçimi problemleri kendi doğasında çok sayıda faktörü barındıran çok amaçlı problemlerdir.

Çok amaçlı problemlerde optimum çözüme ulaşmak mümkündür. Fakat yer seçimi problemlerinde birbiriyle çelişen birden fazla amacın yer alması ve problemin zorlu 0-1 tam sayılı model yapısı gereği optimum çözümden çok, uzlaşık çözüm arama gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca problemin özünde yer alan iç ve dış çevre unsurları sürekli değişkenlik gösterdiği için bu değerler hakkında kesin ifadeler de verilememektedir. Böylesi durumlarda başvurulan yöntemlerden biri bulanık küme teorisidir.

Bu çalışmada dinamik bir yer seçimi problemi ele alınmıştır. Buradan hareketle çalışmada Konyaaltı Belediyesi Siteler Mahallesine konulması düşünülen Entegre Geri Dönüştürülebilir Atık Kutularının yerlerinin belirlenmesi ve kutular arasında minimum mesafeli bir rotanın elde edilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde yer seçimi için genel bir sınıflama sunulmuş ve temel yer seçimi problemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu bölümde ayrıca problemin temelini teşkil eden aktarma merkezi, yerleşim-rotalama ve çok amaçlı yer seçimi problemlerine yer verilmiştir. İkinci bölümde ise çeşitli Bulanık Hedef Programlama teknikleri ve bu tekniğe altyapı sağlayan bulanık mantık kavramı anlatılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde Konyaaltı Belediyesi Siteler Mahallesinde gerçekleştirilen uygulama yer almaktadır. Uygulamada aday yerleşim noktaları ve bu noktalar üzerindeki talep unsurları olan hane sayılarının tespiti için gözlem yoluyla saha çalışması gerçekleştirilmiştir.

Aday noktalar arasındaki ikili en kısa mesafelere ulaşmak için ise Coğrafik Bilgi Sistemlerinden faydalanılmıştır. Sonrasında iki amacı olan modelin kurulumu gerçekleştirilmiş ve bu amaçlar için hedefler belirlenmiştir. Hedeflerdeki belirsizlik ile model yapısı göz önüne alınarak çözüm için Bulanık Hedef Programlama tekniği kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda model farklı tolerans aralıkları ve farklı öncelik durumlarında çalıştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM
YER SEÇİMİ PROBLEMLERİ

Barınma, ilk çağlardan bugüne uzanan zaman içerisinde insanoğlunun en temel ihtiyaçlarının başında gelmektedir. Önceleri tek fonksiyonu kötü doğa şartlarından korunma olan barınaklar gereksinimlerin çeşitlenmesi ile her biri farklı amaçları gerçekleştirecek tesislere dönüşmüşlerdir. Günümüzde bu dönüşüm neticesinde hastaneler, okullar, terminaller, yangın istasyonları, arıtma tesisleri, fabrikalar ve daha birçok yapı inşa edilmektedir. Tesis kavramının bu kadar genel olması çok sayıda tesis yerleşim probleminin çalışılmasını sağlamıştır.

Yer seçimi problemleri hemen hemen her yerde karşılaşılabilir olmasından dolayı yönetim bilimci ve yöneylem araştırmacıları tarafından sıklıkla ele alınmaktadır. Yerleşim araştırmalarının bu uzun ve aşamalı gelişimi birkaç unsura dayanmaktadır. Öncelikle, insanoğlunun kurduğu organizasyonların bütün seviyelerinde yerleşim kararıyla karşılaşılmaktadır. Bir ailenin faydalanacağı evin yapımından, talebi olan bir ürünü üretecek tesisin kurulumuna kadar olan süreç ele alınabilir. Hatta ülkedeki stratejik kararlar doğrultusunda para hareketlerini yönlendiren merkez bankasının yerinin belirlenmesinden, uluslararası işbirliği neticesinde kurulacak olan füze radar merkezi aday noktalarının tespitine kadar birçok alanda bireysel ve uluslararası seviyede yer seçimi kararlarına ihtiyaç duyulabilmektedir.

Yerleşim kararı stratejiktir. Başlangıçta geniş çaplı yatırım yapılır ve ilerisi için uzun vadeli ekonomik faaliyet hedeflenir. Eylemden geri dönüş maliyetten dolayı çok zordur. Ekonomik faaliyet açısından özel sektör ve kamu sektörü tesisleri birbirinden ayrışmaktadır. Özel sektör pazardaki rekabet neticesinde varlığını devam ettirebilmek için kara odaklanmaktadır. Dolayısıyla pazara ya da tedarikçilere olan yakınlık mutlak dikkate alınmaktadır. Buna karşın kamusal tesis yer seçiminde ise halkın ortak kullanımı öncelikli karardır. Mümkün olabildiğince çok insana ulaşılmak istenmektedir.

Yönetimi mümkün olmayan dışsal gelişmeler de alınan kararları etkileyebilmektedir. Kirlilik konusundaki hükümetin politikaları, enflasyon gibi ekonomik gelişmeler, trend söz konusu unsurlardan bazılarıdır.

Son olarak bu problemleri optimum olarak çözmek oldukça zordur. En basit modeller bile genellikle geniş içeriğe sahiptirler. Her bir problemin özgün olması, benzerlerine kıyasla amaç, kısıt ve değişkenler açısından farklılık göstermesi modellerin yeniden tasarlanmasını gerektirmektedir. Bu sebepten genel bir yer seçimi modelinden bahsetmek mümkün olmamaktadır. Literatürde çok sayıda yerleşim modeli çalışması olmasına rağmen teknolojik ve ekonomik gelişmeler doğrultusunda bu alana olan ilgi artarak devam etmektedir.

1.1 Yer Seçimi Problemlerinin Sınıflandırılması

Yer seçimi problemleri birçok farklı etmeni bünyesinde barındırmaktadır. Sorunsalın doğadaki hali ve modelin kurgulanmasına etki eden etmenler özgünleşmeye neden olmaktadır. Literatürdeki çok sayıda model yer seçimi probleminin bir kolu gibi görünebilir. Fakat parametrelerin süreklilik arz edip etmediği, talebe göre ürün çeşitliliği, yerleşim biçimlerindeki benzerlikler, mesafe ölçümündeki farklar, kurulacak tesis sayısı ve bu tesisin kapasitesinin sınırlı olup olmadığı, ulaşılmak istenen hedeflerin tek ya da çoklu olması gibi benzer kriterler açısından ortak bir sınıflama yapılması mümkündür. Daskin' in (1995: 10-17) yaptığı sınıflandırma aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir:

1.1.1 Düzlemsel, Şebeke, Ayrık Yerleşim Problemleri

Yer seçimi problemlerinde talep ve aday tesis yerleşim noktalarının belirlenmesi kilit noktalardan birisidir. Düzlemsel yerleşim problemlerinde koordinat sisteminden faydalanılmaktadır. Eldeki talep noktaları bir talep kriterince ağırlıklandırılarak tesis yeri için aday nokta belirlenmektedir. Bu nokta düzlemin herhangi bir yerinde konumlanmaktadır.

Düzlemsel yerleşimin aksine şebeke modellerinde talep ve aday yerleşim noktaları belirlidir. Bu diyagramlarda talep ve aday yerleşim noktaları düğüm olarak adlandırılan alternatif bölgeler üzerinde gösterilir. Talep bölgelerinden aday yerleşim noktalarına olacak olan akış oklar ile ifade edilmektedir. Düğümler arasındaki bu akış tek ve çift yönlü olabilmektedir.

Ayrık yerleşim problemlerinde belirli bir şebekeye ihtiyaç duyulmamaktadır. Daha çok bir bölgedeki talebi kapsayacak şekilde alternatif yerleşim noktaları belirlenir. Düğümler arasındaki mesafeler keyfi alınabilmektedir (ReVelle ve Eiselt, 2005: 2-3).

1.1.2 Ağaç, Genel Grafik Problemleri

Şebeke problemleri ağaç ve tam bağlantılı genel diyagram adı verilen iki farklı tipte ağ yapısına göre sınıflandırılmaktadır. Ağaç yapısındaki bir şebekede düğümler arasında en fazla bir yol bulunmaktadır. Bu tarz bir yapıda m adet düğümün varlığında m-1 adet bağlantı kurulurken şebekede geriye hareket olmadığından herhangi bir döngü oluşmamaktadır. Aksine genel grafiklerde bir düğümden diğerine birden fazla akış söz konusudur.

Özellikle telekomünikasyon ve güç üniteleri gibi gerçek hayat problemi şebekelerinde ağaç yapısı daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu modeller genel grafik yapısına nazaran çözümünün daha kolay olmasından dolayı tercih edilmektedir (Kariv ve Hakimi, 1979: 540).

1.1.3 Uzaklık Ölçüleri

Uzaklık ölçümündeki yöntem farklılıkları yerleşim problemleri arasında ayrım yapılabilmesini sağlayan etmenlerden biridir. Bu ölçüm çeşitleri yerleşim uzayına göre değişebilmektedir. Şebeke problemleri kesikli yapıdadır ve yerleşim noktaları şebekenin düğümleri üzerinde konumlandırılmaktadır. Şebeke probleminde en kısa yolu bulabilmek için düğümler arasındaki mesafenin ölçülmesi yeterlidir. Düzlemsel yerleşimde ise noktalar arasındaki uzaklığın ölçümü için Öklid, Manhattan-sağ açı ve L_p adı verilen çeşitli ölçüm tekniklerinden faydalanılmaktadır (Daskin, 1995: 11-13).

1.1.4 Tesis Sayısı

Literatürdeki yer seçimi modelleri incelendiğinde tek tesis ve çoklu tesis yerleşimi arasındaki belirgin ayrım görülmektedir. Bazı p-medyan, p-merkez ve maksimum kapsama modeli gibi yerleşim problemlerinde tesis sayısı modele dışsal bir parametre olarak dahil edilirken, diğer küme kapsama, sabit yatırımlı tesis yerleşimi gibi problemlerde modelin tesis sayısını içsel bir çıktı olarak belirlemesi istenmektedir. Tesis sayısının dışsal olarak belirlendiği problemler tekli tesis yerleşimi ve çoklu tesis yerleşimi olarak ayrılmaktadır. Tekli tesis yerleşim modelleri çözülmesi çok daha kolay olan modellerdir.

1.1.5 Statik, Dinamik Yerleşim Problemleri

Çoğu yerleşim modeli statik modeller olarak düşünülmektedir. Statik modellerde çıktılar zamana göre değişkenlik göstermezler. Bu tarz modellerde temsili bir zaman dilimi alınmakta ve çözüm bu dönemin kapsadığı çıktı seti üzerinden yapılmaktadır.

Acil hizmet sistemlerinde statik bir yapı görülmektedir. Buna karşın diğer birçok yerleşim probleminde dinamik unsurlar yer almaktadır. Böylesi modellerde yıl içerisindeki mevsimsel iniş çıkışlar, haftanın belli günlerindeki farklılıklar hatta saatlik değişimler gibi çoklu zaman periyodları hesaba katılmaktadır. Talep, fiyat, bölgenin uygunluğuna ilişkin girdilerin zamanla değişmesi ve buna bağlı maliyet unsurları aday bölge seçimlerini de etkilemektedir. Sambola vd. (2009: 1357) dinamik olarak değişen müşteri talebini sınırlandırılmış zaman ufku nispetinde kapsayacak yeni tesis sayısının belirlendiği çok dönemli hizmet tesisi yerleşim problemi üzerinde çalışmışlardır. Langrange algoritması temelli model ile sınırlı zaman ufku dahilinde belirlenen sayıdaki müşterilerin en az maliyetle açık tesislerden hizmet alması garanti altına alınmaktadır.

Dinamik problemlerde yerleşimin yapılacağı yer kadar önemli olan bir diğer etken de yeni tesis yatırımının yapılacağı zamandır. Dinamik modellerin bir kısmında tesis sürekli açıkken, bir kısmında belirlenen zaman ufkunda bazen açık bazen de kapalı olacağı varsayımı yapılmaktadır.

1.1.6 Deterministik ve Olasılıksal Modeller

Modelin girdilerinin statik ya da dinamik olmasının yanında deterministik veya olasılıksal olması da mümkündür. Çoğu yerleşim modelinde girdilerin parametre değerleri kesinlik içermemektedir. Örneğin bir acil hizmet sisteminde gelecek aramalar bilinemez. Böyle durumlarda ileriye dönük tahmin teknikleri kullanılmaktadır. Özellikle dinamik modeller daha çok olasılıksal yapıdadır (Sorensen ve Church, 2010: 9).

1.1.7 Tek Ürün Çoklu Ürün

Yer seçimi problemlerinin çoğunda çözüm aşamasını kolaylaştırabilmek için talebi tam olarak tanımlanmış homojenize tek ürün ya da hizmet çeşidi varsayımı yapılmaktadır. Gerçekte ise aynı tesis grubundan sağlanan farklı ürün ya da hizmetlerin ayrıştırılması gerekmektedir.

1.1.8 Özel Sektör Kamu Sektörü Problemleri

Özel sektörde yapılacak olan yatırımın getirisi ve maliyeti parasal değer üzerinden yapılmaktadır. Bu durumda şirketin belirlediği hedeflere ulaşması için gerçekleştireceği faaliyetlerin fayda maliyet analizini yapmak çok daha kolay olmaktadır.

Kamu sektöründe de benzer parasal analizler gerçekleştirilmektedir. Fakat kamusal tesislerin kurulumunda fayda maliyetin dışında çok daha farklı kriterler dikkate alınmaktadır. Bu tarz etmenlerin maddi getirisini tespit etmek oldukça zordur (Daskin, 1995: 15).

1.1.9 Tek Amaçlı, Çok Amaçlı Problemler

Literatürdeki birçok yer seçimi modeli tek amaçlı olmasına rağmen gerçek hayatta bu problemlerin çok amaçlı olduğu görülmektedir. Birbiri ile çelişen bu amaçlar doğrultusunda uzlaşık çözüm bulmak için çok sayıda model kurularak algoritmalar geliştirilmiştir.

1.1.10 Sınırlı Kapasiteli, Sınırsız Kapasiteli Tesisler

Sınırlı kapasiteli problemlerde tesisin büyüklüğü, üretim hacmi gibi parametreler sabit tutulmaktadır. Bu durum modelin yükünü hafifletmektedir. Bunun aksi durumundaki sınırsız kapasiteli modellerde kapasite sistem çıktısı olarak elde edilmektedir.

1.1.11 İstenen, İstenmeyen Tesisler

Yer seçimi problemlerinde genellikle istenen tesislere ilgi daha fazla olmaktadır. Hastaneler, üretim tesisleri, okullar için kurgulanan yerleşim problemleri bu bağlamda değerlendirilmektedir. Buna karşın istenmeyen tesisler sınıfına nihai çöp depolama alanları, zararlı atık tesisleri, cezaevleri vb. yapılar girmektedir. Özellikle istenmeyen tesis problemlerinde yerleşim birimlerine olan uzaklığın önemine vurgu yapılmaktadır. Fakat tesislerin mümkün olduğunca uzak olması taşıma maliyetlerinin artmasına sebebiyet vermektedir. Bu tarz problemlerde birbiriyle çelişen durumlar ortaya çıkmaktadır (Samanlioglu, 2013: 334).

1.2 Kapsama Problemleri

Yer seçimi problemlerinin birçoğunda hizmet, müşterinin atanacağı tesis ile müşteri arasındaki uzaklıktan etkilenmektedir. Dolayısıyla müşteri en yakındaki tesise atanır. Bu anlayıştan dolayı müşteri tesisin ulaşabileceği mesafe içerisinde ise hizmet yeterli düzeyde aksi durumda yetersiz kabul edilmektedir.

Bu kavram kapsama olarak ifade edilmektedir. Kapsama modeli esasında p-medyan probleminin geliştirilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. İlk olarak sorulan soru: "Bir anayol şebekesi içerisinde aralarındaki uzaklık, belirlenen d birimini aşmayacak şekilde dağıtımı yapılacak polis memuru sayısı nedir?" (Hakimi, 1965: 462). Buna göre her bir talep noktası, aday tesis noktalarından hizmet görecek noktaların alt kümesidir. Bu kümenin her bir elemanı ikili değişkendir. Eğer talep noktası tesis tarafından kapsanırsa 1, aksi halde 0 değerini almaktadır. Tesis ile talep noktası arasındaki en kısa yol mesafesi kapsama mesafesine eşit ya da bu mesafeden kısa ise talep noktasının kapsam içerisinde olduğu söylenebilir. Problemde bütün talep noktaları için tek bir kapsama mesafesi kullanılabilmektedir.

Probleme yönelik modeller kurulurken amaçlar için üç temel varsayım yapılmaktadır (Berman vd., 2010: 1676):

i. Tüm ya da hiç kapsama: Bir tesise göre belirlenen yarıçap içerisindeki tüm talep noktaları kapsanırken diğerleri kapsanmamaktadır. Bu varsayım neticesinde kapsama yarıçapı 5 km. olan bir mağazayı ele almak gerekirse, 4.99 km yarıçapındaki bir müşteri kapsanırken, 5.01 km. uzaklıktaki müşteri kapsama dışında kalmaktadır.

ii. Tekli kapsama: Müşteri kendisine en yakın olan tesis tarafından kapsanmaktadır. Sonraki en yakın tesisin kapsama üzerinde bir etkisi olmamaktadır. Örneğin bir müşterinin kendisine 5 km. yarıçap içerisinde bulunan 4 mağazaya sahip olduğunu varsayarsak, müşteri diğerlerine göre en yakın mağaza tarafından kapsanır ve diğer mağazaların bu kapsam içerisinde bir payı bulunmamaktadır.

iii. Sabit kapsama yarıçapı: Kapsama mesafesi bu varsayım doğrultusunda karar verici tarafından belirlenir. Yarıçap içerisinde kalan talep noktaları kapsanmaktadır. İstenen talepten çok daha fazlasını kapsayabilecek kapasitedeki bir tesis gereksiz bütçe harcamalarına sebebiyet verebilmektedir.

Araştırmacılar genel geçerli bu varsayımların zayıflıklarını giderebilmek için çaba sarf etmektedirler. Birinci varsayıma yönelik aşamalı kapsama modeli, ikicisine yönelik paylaşmalı kapsama modeli ve üçüncü yaklaşıma yönelik değişken yarıçaplı model söz konusu geliştirme çalışmalarından bazılarıdır (Berman vd., 2010: 1676).

Kapsama problemleri, kapsamanın gerektiği kadar yapıldığı küme kapsama problemi ve optimum kapsamaya imkan sağlayan maksimum kapsama problemi olmak üzere temelde ikiye ayrılmaktadır (Farahani vd., 2012: 368).

1.2.1 Küme Kapsama Problemi

Tesis yerleşim problemleri içerisinde en basitlerinden biri olarak görülmektedir. Küme kapsama problemi tüm talep noktalarının en az bir tesis tarafından kapsanacak şekilde alternatif tesis kümesi içinden en az sayıda tesis kümesini bulmaya çalışmaktadır. Modelde bir şebekedeki akışlar doğrultusunda sürekli olarak talebin oluştuğu varsayımı yapılmaktadır. Daha önceden belirlenen yerleşim noktalarından birine tesis kurularak talep toplanmakta ve birden fazla talep noktasına hizmet verilmektedir. Zamanla yeni talep ve buna bağlı talep bölgeleri oluşabilmektedir (ReVelle vd., 1976: 67).

İlk matematiksel model Toregas ve ReVelle (1973) tarafından bir acil hizmet sistemine yönelik olarak geliştirilmiştir. Formülasyondaki değişken ve model yapısı aşağıdadır:

i: Talep noktaları kümesi

j: Tesis kümesi

N_i: S içerisinde potansiyel yerleşim noktaları

d_{ij}: i. talep noktası ile j. tesis arasındaki uzaklık

S: Maksimum kabul edilebilir hizmet mesafesi

x_j: İkili değişken, 1, eğer, j. noktaya tesis yerleşirse

$$Min \ \sum_{j=1}^{n} x_j \qquad 1.1$$

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 \quad \forall i \qquad 1.2$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \qquad 1.3$$

Amaç fonksiyonu tüm talep noktalarını kapsayacak şekilde ihtiyaç duyulacak tesis sayısını minimize etmektedir. Kısıt (1.2) tüm i. talep noktalarının S mesafesi ya da zaman dilimi içerisinde en az 1 tesis tarafından kapsanmasını sağlamaktadır. Değişkenler 0 ya da 1 tam sayı değerini almaktadır (ReVelle ve Williams, 2002: 308).

Görüldüğü üzere tesis ile aday nokta arasındaki uzaklık, maksimum hizmet mesafesinin altında olduğunda x_j=1 değerini alacak ve kapsama gerçekleşecektir. Küme kapsama problemleri bu haliyle NP zorluk derecesindedir. Araştırmacılar bu sebeple çözüm kolaylığı açısından talep noktaları ile aday tesis yerleşim noktalarının sabit olduğu ayrık şebeke modellerine yoğunlaşmaktadırlar. Fakat şebeke modellerinde sadece noktalar üzerinde yerleşim yapılmasına izin verilmektedir. Dolayısıyla iki nokta arasındaki uzaklık kapsama uzaklığından fazlaysa her iki noktaya da tesis kurulması gerekmektedir. Aksine düzlemsel yerleşim modelinde iki nokta arasındaki en uygun yere tesisin konumlandırılması sonucu tek tesis ile iki noktanın da kapsanması sağlanabilmektedir (Daskin, 1995: 94).

Bütün yerleşim modellerinde görüleceği gibi küme kapsama problemleri de farklı koşullara göre geliştirilmiştir (Farahani vd., 2012: 370-375). Bunlardan bazıları şöyledir:

- İçsel-Dışsal Küme Yerleşim Problemi: Bu model kapsamanın bir değil birden fazla tesis tarafından yapıldığını varsaymaktadır. Her bir tesis belli bir yüzde oranında kapsamaya dahil olmaktadır.
- Sınırlı Kapasiteli Küme Kapsama Problemleri: Çoğu küme kapsama modellerinde talep büyüklüğü ve tesisin kapasitesi hakkında herhangi bir kısıt bulunmamaktadır. Bunun yanında kapsanacak müşterinin tek ya da çok olması ve kapsama mesafesinin yaratacağı maliyet gibi unsurlar göz ardı edilmektedir. Bu sebepten özellikle sınırlı kapasiteli tesis yerleşimi üzerine yapılan çalışmalarda kurulum maliyeti, taşıma maliyeti ve ceza maliyetine odaklanılmaktadır. Sınırlı kapasiteli küme kapsama probleminin bu unsurları da minimize ettiği görülmektedir.
- Kuadratik Küme Kapsama Problemleri: Tesis problemlerinde tesis ve maliyeti arasında C.X ilişkisi vardır. Yani tesis sayısı arttıkça maliyetler de artmaktadır. Halbuki tesislerin birbirleriyle arasındaki ilişki de maliyetleri etkileyebilmektedir. Her bir tesis arasındaki maliyet ilişkisi X^T.C.X şeklinde kuadratik formda ifade edilebilir. Söz konusu modeller kuadratik küme kapsama problemleri olarak adlandırılmaktadır.

- Çok Çözümlü Küme Kapsama Problemleri: Minimaks kriteri altında küme kapsama, bu model bazında incelenecek çalışmalardan biridir. Problemde yerleşimi yapılacak yeni tesis sayısı önceden belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra model, talep noktaları ile kendilerine en yakın tesis arasındaki maksimum uzaklığı minimize edecek şekilde yeni yerleşim noktalarını belirlemektedir.
- Kapsama Tur Problemi: Model kapsanması gereken noktaları içine alacak şekilde minimum uzaklıklı bir döngü oluşturmaktadır.
- Yol Kapsama Modelleri: Kapsama problemlerinde tesisin kurulacağı yere tek bir yoldan akışın olması çok karşılaşılan bir durumdur. Özellikle bu tarz problemler nokta kapsama olarak ifade edilmekte ve tek yol-ağaç diyagramları ile modellenebilmektedirler. Fakat metro vb. tesis yapılarında birden fazla akış söz konudur. Literatürde bu problemler maksimum nüfus en kısa yol olarak özelleşmektedir. Amaç en kısa ve nüfusun en çok kapsandığı şebekenin kurulmasıdır. Bu problemin çözülmesinde Langrange çözüm yaklaşımından da faydalanılmaktadır.
- Bulanık Küme Kapsama Problemleri: Bulanık yaklaşımın küme kapsama problemlerinde uygulanmasıyla bu doğrusal olmayan tam sayılı modellerdeki belirsizliğin azaltılması amaçlanmaktadır. Optimum çözüme ulaştıracak yazılımlar için bu tarz bir rahatlatmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Modelde bir α kapsama derecesi belirlenerek her bir i. talep noktasının üyelik derecesinin α seviyesinin altında olmaması istenmektedir.
- Destek Küme Kapsama Problemleri: Çift aşamalı bir model olarak düşünülmektedir. Özellikle acil hizmet sistemleri bu yaklaşım içerisinde ele alınmaktadır. Kapsanmış bir noktaya atanmış hizmet sağlayıcı meşgul ise diğer en yakın sağlayıcı destek sağlamaktadır. Eğer destek sağlayıcı bu görevi yerine getiremiyorsa nokta kapsanmamış kabul edilmektedir.
- Çok Kriterli Küme Kapsama Problemleri: Bu modelle yerleşim üzerindeki etkisi önceden kestirilemeyen birden fazla kriter hesaba alınmaktadır. Çözüm için sezgisel yaklaşımlardan faydalanılmaktadır.

Küme kapsama problemleri de diğer yerleşim problemleri gibi değişen koşullar altında farklılaşmaktadır. Dolayısıyla bu problemlerde 0-1 tamsayılı modellerden sezgisellere kadar çok çeşitli çözüm algoritma ve modellerinden faydalanılmaktadır.

İlk tasarlanan küme kapsama problemi 0-1 tamsayılıdır. Modelde bir çeşit azaltma yaklaşımı sunularak gereksiz sütun ve satırlar elimine edilmektedir. Böylesi bir yaklaşım dal sınır algoritması kullanılarak daha küçük boyutlu lineer modellerle çözülebilir hale getirilmektedir Toregas ve ReVelle (1973: 146). Fakat bu model yapısı gerçekte var olan birçok kuralı ihlal ederek basit varsayımlar üzerinden çalışmaktadır. Her bir talep bir sefer kapsanmaktadır. Yine kapsama tek tesis tarafından yapılmaktadır. Acil hizmet sistemleri gibi talebin birden fazla hizmet sağlayıcı tarafından çoklu kapsam altında olabileceği bir problem türü için model yetersiz kalmaktadır. Buradaki eksikliğin giderilebilmesi için çok seviyeli küme kapsama modelleri geliştirilmiştir. Çok seviyeli modelde ikili değişkenin aksine tam sayılı değişkenden faydalanılmaktadır (Church ve Gerrard, 2003: 278).

Küme kapsama problemleri NP-zor sınıfına girmektedir. Dolayısıyla optimum çözüm algoritmaları genellikle yetersiz kalmaktadır. Literatürde çözüm için çok sayıda sezgiselin kullanıldığı görülmektedir. Beasley ve Chu (1996: 403) böylesi bir problemde sezgisel yöntemlerden biri olan genetik algoritmadan faydalanmışlardır. Fakat algoritmanın küme kapsama problemlerinde kullanılabilmesi için çaprazlama operatörü ile mutasyon oranı değişkeninde çeşitli modifikasyonlar gerekmektedir. Bu sayede küçük ölçekli problemler kadar büyük ölçekli problemlerde de sonuç almak mümkün olmaktadır

Envanter değerlerinin zamanla değişmeyip sabit kaldığı deterministik depo yerleşim modelleri üzerine odaklanan Hwang (2004), problemi stokastik küme kapsama modeli olarak tasarlanmıştır. Bu amaçla sonuçları kötüleştiren ve iyileştiren bir programlama sunulmaktadır. Söz konusu programda kapsanmış müşteri olasılığı belirlenen kritik değerin altında olmayacak şekilde yerleşim kümesi içerisinden en az sayıda nokta seçilmektedir.

1.2.2 Maksimum Kapsama Problemi

Maksimum kapsama problemi ayrık optimizasyon modellerinin temel araştırma alanları içerisinde bulunmaktadır. Problemde maksimum talebi karşılayacak bir ya da birden fazla tesisin yerleştirilmesi amaçlanmaktadır. Maksimum kapsama probleminde de küme kapsama probleminde olduğu gibi minimum sayıda tesisle ihtiyacı gidermek istenmektedir. Fakat küme kapsama probleminde talebin ağırlığıyla ilgilenilmemektedir. Maksimum kapsama problemi için küme kapsama probleminin genişletilmiş hali olduğu söylenilebilmektedir. Benzer olarak aday yerleşim noktaları kümesi ve talep noktaları kümesi aynı uzayın içerisindedir. Aday yerleşim noktaları ile talep noktaları arasındaki vektör kapsama alanı içerisinde kalmaktadır. Kapsama yarıçapı uzunluğu dışsal olarak belirlenmektedir (Berman vd., 2010: 1677).

Problem ilk olarak Church ve ReVelle (1974:.103-105) tarafından modellenerek iki temel yaklaşım doğrultusunda çözülmüştür. Birinci yaklaşımda her bir aday noktanın muhtemel kapsamı göz önüne alınarak başlangıç aday nokta açgözlü algoritmaya katılmaktadır. Sonra her seferinde bir tesis noktası dâhil edilerek kapsama değeri aşamalı olarak en iyiye yükseltilmektedir. İkinci yaklaşımda ise genetik algoritmadan faydalanılmaktadır. Her bir çözüm aşaması bir önceki çözümdeki en iyi tesis yerleşimiyle başlamaktadır. Algoritma, tesisi yerleşim olmayan noktalara kaydırarak çözümü iyileştirmeye çalışmaktadır. Temel model aşağıda yer almaktadır:

i: Talep noktaları kümesi

j: Tesis kümesi

h_i: i. noktadaki talep sayısı

S: Hizmet sağlanmak istenen mesafe (süre)

P: Yerleştirilmek istenen toplam tesis sayısı

a_{ij}: İkili parametre, 1, eğer j. aday tesis noktasından i. müşteriye uzaklık S' den küçükse

x_j: İkili değişken, 1, eğer, j. noktaya tesis yerleşirse

z_i: İkili değişken, 1, eğer i. nokta kapsanırsa

$$Maks \ \sum_i h_i \, z_i \tag{1.4}$$

$$z_i \leq \sum_j a_{ij} \, . \, x_j \quad \forall i \tag{1.5}$$

$$\sum_j x_j \leq P \tag{1.6}$$

$$z_i \in \{0,1\} \quad \forall i \tag{1.7}$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \tag{1.8}$$

Modelin amaç fonksiyonu kapsanan talebi maksimize etmektedir. İlk kısıt (1.5) j. noktada S mesafesi içerisinde en az bir tesis varsa i. noktadaki talebin kapsanacağını belirtmektedir. Sonraki kısıt (1.6) ise yerleştirilecek tesis sayısını P kadar sınırlandırmaktadır (ReVelle ve Williams, 2002: 311).

Problem diğer yer seçimi modellerine benzer olarak düzlemsel, ayrık ve şebeke çözüm uzayları kapsamında ele alınmaktadır. Literatürde ayrık maksimum kapsama modellerine sıkça rastlanmaktadır. Aday yerleşim noktalarını tekli olarak belirleyip tesisin bu noktalardan bir ya da birkaçına kurulmasını sağlamak oldukça kolaydır. Fakat model bu şekilde ele alındığında bazı parametreler ihlal edilebilmektedir. Düzlemsel maksimum kapsama modelinde ise kapsam yarıçap uzunluğu belirlenmiş bir çember içerisinde olmaktadır. Bu çember uygun çözüm teknikleri yoluyla talep noktalarının kesişimine yerleştirilmektedir. Şebekesel maksimum kapsama modeli de ayrık noktalardan oluşmaktadır. Her bir talep noktasını düğümler, aday tesis noktaları ile talep noktaları arasındaki akışı ise oklar temsil etmektedir. Her bir düğümün ağırlığı sahip olduğu talep sayısınca orantılıdır. Bazen şebekeye sıfır ağırlıklı düğümler de eklenebilmektedir. Şebeke içerisindeki her bir düğüm kapsama alanı içerisindedir. Mesafeyi öncelikli parametre olarak alan bu tarz problemlerde en kısa yol üzerindeki düğümler bulunmak istenmektedir (Berman vd., 2010: 1678).

Yerleşim kararı üzerinde etkili olan bir takım farklı etmenler problemin yapısını da değiştirmektedir. Buradan hareketle küme kapsama modellerinde olduğu gibi maksimum kapsama modellerini de farklı sınıflar altında ayrıştırmak mümkündür (Farahani vd., 2012: 375-384). Başlıca modeller şunlardır:

- İçsel-Dışsal Maksimum Kapsama Problemleri: İçsel ve dışsal kapsama modeli esas olarak tesis sayısı kararıyla ilgilenmektedir. İçsel maksimum kapsama probleminde yerleştirilecek tesis sayısı kararı model tarafından belirlenmektedir. Dışsal maksimum kapsama modelinde ise tesis kümesi karar verici tarafından dışsal bir parametre olarak model yapısına dâhil edilmektedir.
- Düzlemsel Maksimum Kapsama: Yeni tesislerin kurulumu için belirlenen aday yerleşim yerleri bir şebeke içerisinde ya da ayrık noktalar halinde değildir. Yerleşim yerleri bir düzlem içerisinde herhangi bir noktada olabilir. Bu modellerde çözüme ulaşabilmek için Öklid uzaklık ölçüsü veya doğru çizgili uzaklık ölçüsü tekniklerinden faydalanılmaktadır.
- Sınırlı Kapasiteli Maksimum Kapsama Problemi: Tesisin büyüklüğü ve üretim hacmi ile ilgili kısıtlar içeren problemlerdir.
- Kritik İndeks Ölçütlü Maksimum Kapsama Problemi: Bu problemde çözüm içerisinde olmazsa olmaz bir kriter belirlenmektedir. Kapsamanın gerçekleştiği optimum yerleşim düzeni içerisinde belirlenen kriter büyüklüğünün hedef değerin altında olmaması gerekmektedir.
- Zorunlu Yakınlık Kısıtlı Maksimum Kapsama Problemi: Modelde toplam kapsamayı sağlayacak tesis sayısı önceden hesaplanmıştır ve problem birden fazla çözüme sahiptir. Karar verici tesislerin talebe cevap verebilmesi için talep noktasına yakın olmasıyla ilgilenmezken, maksimum talebi kapsayacak şekilde sayısı önceden belli tesislerin yerleşim noktalarını tespit etmeye odaklanmaktadır. Modelde bu öncelik ikili değişkenler ya da bir kısıt yardımıyla sağlanmaktadır.
- Olasılıksal Maksimum Kapsama Problemi: Maksimum uygun yerleşim problemi olarak da adlandırılan bu problemde n sayıdaki tesis, α olasılıkla talebi maksimum kapsayacak şekilde yerleştirilmektedir.
- Maksimum Kapsama-Yasaklama Problemi: Sunulan modelde ilk olarak kapsamanın maksimizasyonu yapılırken sonrasında kötü sonuç sunan yasaklı bölgelerin kapsanma seviyesi de minimize edilmektedir.

- Kısmi Kapsama Problemi: Kapsamanın temelinde ikili sistem bulunmaktadır. Eğer talep belirlenen *S* (süre ya da mesafe) içerisinde ise kapsanmıştır, aksi durumda talep söz konusu mesafesinin çok yakınında dahi olsa kapsama gerçekleşmemektedir. Kısmi kapsama probleminde bu ihlali azaltabilmek için tam kapsanmış ve kısmi kapsanmış talep noktaları kümeleri oluşturulmaktadır.
- Kademeli Kapsama Problemi: Kurulan modelde aralarında $S_1 < S_2$ ilişkisi bulunan iki kapsama ölçütü yer almaktadır. Eğer talep noktası ve tesis arasındaki mesafe S_1 'den daha küçükse talep tam kapsanmıştır. Eğer talep noktasının tesise uzaklığı S_1 'den büyük fakat S_2' den küçük ise bu sefer talep kısmi kapsanır haldedir. Aradaki mesafe ölçütü bu değerlerin de üzerinde ise talep kapsama içerisine girmemektedir.
- Yedek Kapsama Yerleşim Problemleri: Talebin çok yoğun olduğu durumlar için geliştirilmiştir. Yapısı maksimum kapsama problemi ve küme kapsama problemine uygundur. Talep noktası aynı anda birden fazla tesis tarafından kapsanmaktadır. Eğer en yakın tesis meşgul durumda ise hizmet yedek tesis tarafından karşılanmaktadır.
- P-Maksimum Kapsama Problemi: Bir şebeke üzerinde p sayıdaki tesisin toplam kapsamayı maksimize edecek şekilde yerleştirilmesi problemidir. Talep noktası ile kendisine en yakın tesis arasındaki uzaklık kapsama uzaklığının altında olmalıdır.

Maksimum kapsama problemi yer seçimi problemleri içerisinde kendisine oldukça geniş yer bulmaktadır. Dolayısıyla yer seçimi problemlerinde değişen koşulların getirdiği özelleşme durumu maksimum kapsama probleminde de bu kadar çok çeşitli problem türünün ortaya çıkmasına sebebiyet vermektedir.

Berman ve Krass (2002: 564) maksimum kapsama problemi için genelleşmiş bir yapı sunmaktadır. Problemde müşterilerin her biri sabit değerli kısmi kapsama altındadır. Perakende sektöründe faaliyet gösteren tesisler bu yapıya uygunluk göstermektedir. Çalışmada sınırsız kapasiteli bir tesis için tam sayılı programlamayla çözüm mekanizması geliştirilmiştir.

Alexandris ve Giannikos (2010: 338) talebin ayrık noktalar kümesi halinde ele alındığı geleneksel maksimum kapsama problemini CBS(coğrafik bilgi sistemi) kullanarak geliştirmişlerdir. Modelde talep tek bir nokta yerine geometrik olarak sınırlandırılmış bölgeler içerisinde ele alınmıştır. Talep bölgeleri yeterli sayıda hizmet sağlayıcı tarafından kapsanmışsa maksimum kapsamanın bu yolla gerçekleştirildiği gösterilmiştir.

Davari vd. (2011: 14535) düğümler arasındaki mesafelerin bulanık değişken olarak düşünüldüğü bulanık maksimum kapsama modelini incelemişlerdir. Problemi çözebilmek için bulanık simülasyon ve tavlama benzetiminden oluşan hibrid bir yöntem kullanmışlardır.

Geliştirilen algoritma ile ulaşılan sonucun optimum çözümün % 1.35 ‘inden daha kötü olmadığı görülmüştür. Batanovic vd. (2009: 122-127) şebeke içerisindeki talep düğümlerini kapsayacak bulanık maksimum kapsama problemini ele almıştır. Problem kapsanmış talep noktaları ile kapsanmamış talep noktaları arasındaki ayrımı bulanıklaştırmaktadır. Modelde bütün düğümler eşit önemdedir. Düğümlerdeki taleplerin göreceli ağırlıkları deterministiktir. Fakat bu ağırlıklar kesin değerler değildir ve bulanık dilsel değişkenlerce ifade edilmektedirler. Algoritma ayrık bulanık kümeler içerisinde karşılaştırma yaparak en uygun yerleşim noktalarını tespit etmektedir.

Galvao ve ReVelle (1996: 122-123) çalışmalarında maksimum kapsama problemi için Langrange rahatlatma algoritmasından faydalanmaktadırlar. Çalışma doğrusal programlamanın yetersiz kaldığı çok düğümlü bir şebeke için sezgisel yöntemlerle etkin sonuçlara ulaşılabileceğini göstermektedir.

1.2.3 Maksimum Beklenen Kapsama Problemi

Maksimum beklenen kapsama modeli acil hizmet sistemleri problemlerine çözüm sağlayabilmek için geliştirilmiştir. Bu tarz problemlerde oluşan talebe, hizmet sistemlerinin en kısa zamanda cevap verebilmesi için en uygun yerleşim noktalarının belirlenmesi oldukça önemlidir. Model sistem yoğunluğunu belirleyebilmek için bir tahmin değeri üzerinden çalışmaktadır. Tahmin değeri ise arama sıklığı, aramalar arasındaki beklemeler ve hizmet sağlayan araç sayısına göre değişkenlik göstermektedir.

Daskin (1983) tarafından ortaya konulan bu model temelde bir şebeke içerisinde yer alması istenen p sayıdaki tesisi en uygun şekilde yerleştirerek, belirlenen zaman standartları içerisinde nüfusun kapsanması ile maksimum beklenen faydayı elde etmeyi amaçlamaktadır (ReVelle ve Williams, 2002: 323).

Modelde sistem yoğunluğunu gösteren tahmin değeri q olarak gösterilmektedir. Söz konusu değer herhangi bir talep ortaya çıktığında sistemin meşgul durumda olma olasılığıdır. Fakat bu olasılık değerlendirilirken j_1. düğümdeki tesisin meşgul olması ile j_2. düğümdeki tesisin meşgul olması durumlarının birbirinden bağımsız olduğu varsayımı yapılmaktadır. Buradan hareketle n_i sayıdaki yerleşimi yapılacak uygun tesis i. düğümdeki talebi belli olasılık dahilinde kapsayabilmektedir. Sistemin meşguliyeti q ile ifade edildiğinden $1 - q^{n_i}$, i. talebin kapsandığını göstermektedir. Eğer sisteme yeni bir tesis daha eklenirse kapsamayı ifade eden bu değer $1 - q^{(ni+1)}$ halini almaktadır. Dolayısıyla tesis artışı sonucu ortaya çıkan aradaki fark birim tesisin sağladığı beklenen kapsama değeridir. Birim kapsama değerinin talep ile çarpılması sonucu beklenen fayda elde edilmektedir. Söz konusu denklikler aşağıdaki gibidir:

$$\{1 - q^{(n_i+1)}\} - \{1 - q^{n_i}\} = q^{n_i}(1 - q) \quad 1.9$$

$$h_i\{q^{n_i}(1 - q)\} \quad 1.10$$

Buradan hareketle maksimum beklenen kapsama problemlerinde ulaşılmak istenen amaç, kapsanmak istenen tüm talep ile birim beklenen kapsama değerinin birlikte maksimize edilmesiyle elde edilmektedir (Daskin, 1995: 130-131).

Probleme ait değişkenler, girdiler ve model yapısı aşağıda yer almaktadır:

i: Talep noktaları kümesi

j: Tesis kümesi

k: Uygun hizmet sağlayıcı(tesis) kümesi

h_i: i. noktadaki talep sayısı

S: Hizmet sağlanmak istenen mesafe (süre)

P: Yerleştirilmek istenen toplam tesis sayısı

a_{ij}: İkili parametre, 1, eğer j. aday tesis noktasından i. müşteriye uzaklık S' den küçükse

x_j: İkili değişken, 1, eğer, j. noktaya tesis yerleşirse

Z_{ik}: İkili değişken, 1, eğer i. noktadaki talep en az k sefer kapsanırsa

$$Maks \;\; (1 - q) \sum_i h_i \{\sum_{k=1}^{P} q^{k-1} Z_{ik}\} \quad 1.11$$

$$\sum_k Z_{ik} \leq \sum_j a_{ij} x_j \qquad \forall i \quad 1.12$$

$$\sum_j x_j \leq P \quad 1.13$$

$$x_j \in \{0,1\} \qquad \forall j \quad 1.14$$

$$z_i \in \{0,1\} \qquad \forall k, i \quad 1.15$$

Amaç fonksiyonu yoluyla tüm i. talep düğümü için kapsanmış talebin beklenen sayısı maksimize edilmektedir. (1.12) nolu kısıtın sağ tarafı i. düğümü kapsayacak uygun uzaklıktaki tesisleri ifade etmektedir. Sol taraf ise i. düğümün en az k sefer bu tesislerce kapsanmasını sağlamaktadır. (1.13) nolu kısıt en fazla P sayıda tesisin yerleşimine izin vermektedir (Daskin, 1995: 131).

Maksimum beklenen kapsama problemini temel alan farklı yaklaşımlar da söz konusudur (Farahani vd., 2012: 388). Bunlardan bazıları aşağıdadır:

- Yerel güvenirlik ilişkili maksimum beklenen kapsama problemi: Model yapısında hizmet edilecek talep belirli bir güvenirlik katsayısı yoluyla tahmin edilmektedir. Bu şekilde kapsama güvenirliği göz önüne alınarak hizmet edilecek toplam talebin maksimizasyonu sağlanmaktadır.

- Çoklu ve yedek kapsama problemleri ile maksimum beklenen kapsama problemi birleşimi: İki modelin birleşimi sayesinde yedek kapsama problemi için stokastik bir yapı ortaya konulmaktadır.

Batta vd. (1989: 277) maksimum beklenen kapsama problemine kolay çözüm bulabilmek için hiperkübik kuyruk optimizasyon yaklaşımını kullanmışlardır. Fakat tekniğin uygulanabilmesi için eldeki modele çeşitli düzenlemeler ve geliştirmeler getirilmiştir.

Aytuğ ve Saydam (2002: 480) geniş ölçekli maksimum beklenen kapsama problemlerinde genetik algoritma kullanarak, çok daha kısa sürede doğrusal programlama sonucu elde edilen optimum çözüme yakın sonuçlar elde edilebileceğini göstermişlerdir.

Rajagopalan vd. (2007: 83) maksimum beklenen kapsama problemine yönelik çoklu sezgisel analiz gerçekleştirmişlerdir. Bu kapsamda evrimsel algoritma, tabu arama algoritması, tepe tırmanma algoritması ve benzetim tavlama algoritmasından elde edilen sonuçlar ANOVA yoluyla analiz edilmiştir. Maksimum beklenen kapsama problemi için tabu arama algoritması ile benzetim tavlama algoritması diğerlerine göre daha iyi sonuç vermiştir.

1.3 P-Medyan Problemi

Yerleşim kararı alırken seçim alternatiflerini en çok etkileyen kriterlerden biri tesislere olan ulaşım mesafesi ya da süresidir. Kabul edilen anlayış bu kısıtın mümkün olduğunca minimize edilmesidir. Ortalama ulaşım mesafesinin az olması talebin karşılanmasındaki yeterliliği artırmaktadır. Buradan hareketle ortalama ulaşım mesafesinin minimizasyonu yoluyla toplam mesafenin de minimizasyonu sağlanmaktadır. Problem bir şebeke yapısı içerisinde ayrık model olarak ele alınmaktadır. Her bir talep en yakın tesisten hizmet görecek şekilde p sayıdaki tesis, şebekedeki herhangi bir düğüm ya da okun üzerindeki noktaya yerleştirilebilmektedir.

Problem ilk olarak Hakimi (1965) tarafından ortaya konulmuştur. Tanıma göre uzaklıkları ağırlık ölçütü olarak ele alınmış p sayıdaki noktanın oluşturduğu kümeye optimum p tesis çözüm kümesi adı verilmektedir. Kümedeki her bir nokta ağırlıklandırılmış uzaklıkların toplamının minimize edilmesini sağlayan şebekenin medyanı olabilir. Tesis yerleşim noktalarını gösteren p'nin her bir değeri için şebekenin düğümlerinden ibaret olan en az bir optimum p-medyan çözüm seti bulunmaktadır. Dolayısıyla optimum p-medyan çözümüne şebekenin düğümleri tarafından kısıtlanmış tesislerin uzaklıklarını minimize ederek ulaşılabilmektedir.

P-medyan problemine ait genel formülasyon aşağıda yer almaktadır:

i: Talep noktaları kümesi

j: Tesis kümesi

h_i: i. noktadaki talep sayısı

P: Yerleştirilmek istenen toplam tesis sayısı

d_{ij}: i. talep düğümü ile j. aday yerleşim noktası arasındaki uzaklık

x_j: İkili değişken, 1, eğer, j. düğüme tesis yerleşirse

y_{ij}: İkili değişken, 1, eğer i. düğümdeki talep j. düğümdeki tesisten hizmet görürse

$$Min\ \sum_i \sum_j h_i\, d_{ij} y_{ij} \tag{1.16}$$

$$\sum_i y_{ij} = 1 \qquad \forall i \tag{1.17}$$

$$\sum_j x_j = P \tag{1.18}$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0 \qquad \forall i, j \tag{1.19}$$

$$x_j = 0{,}1 \qquad \forall j \tag{1.20}$$

$$y_{ij} = 0{,}1 \qquad \forall i, , j \tag{1.21}$$

Modelin amaç fonksiyonu talep düğümü ile en yakın tesis arasındaki toplam mesafeyi minimize etmektedir. İlk kısıt (1.17) her bir i. talep düğümünün mutlaka j. düğümdeki bir tesise atanmasını sağlamaktadır. İkinci kısıt (1.18) yerleştirilmesi gereken tesisin sayısını sınırlandırmaktadır. Son kısıt (1.19) ise yerleşim değişkeni olan x_j ile atama değişkeni olan y_{ij} arasındaki bağlantıyı kurmaktadır. Eğer i. düğümdeki talep j. düğümdeki tesise atanıyorsa y_{ij}=1 değerini almaktadır. Bu durumda belirlenen j. düğüme tesisin yerleşiminin yapılması gerekmekte ve x_j=1 değerini almaktadır (Daskin, 1995: 201).

P-medyan problemleri de literatürde tesis sayısı, zaman ufku ve kapasite kısıtı, çözüm tekniği gibi problemin yapısını etkileyen temel değişkenler sebebiyle farklı sınıflara ayrılmaktadırlar. Bunlardan bazıları şu şekildedir:

- Sürekli p-medyan problemi: Problem dinamik bir yapı içerisinde düşünülmektedir. Ele alınan zaman ufku içerisinde talebin değişeceği varsayımına göre yeterli sayıdaki tesisin yerleşim noktalarının tespiti için bir model kurulmuştur. Yerleşim kararı alındıktan sonra maliyet unsuru göz önüne alınarak yeniden tesis yerleşim noktası belirleme yapılmamaktadır. Model ile zaman ufku içerisinde taşıma maliyetlerinin minimizasyonu hedeflenmektedir (Drezner, 1995(a): 1-2).
- Ayrık olasılıksal talep ağırlıklarıyla p-medyan şebeke problemi: Talebin olasılıksal ve ayrık olarak ele alındığı modelde, talep ile en yakın tesis arasındaki toplam uzaklığın

belirlenen değeri aşmama olasılığını maksimize etmek amaçlanmıştır (Berman ve Wang, 2010: 1455-1456).

- Şebeke uzaklık özelliklerinin etkilediği p-medyan problemi: Yer seçimi problemlerinde şebekeler düğümler arasındaki uzaklıkların ele alınış biçimine göre farklılaşmaktadırlar. Söz konusu modelde üç farklı şebeke yapısından faydalanılmaktadır. Bunlardan Öklidsel şebeke, Öklid noktalar arası uzaklık ölçüm tekniği neticesinde kümelenmiş talep ve tesis düğümlerinden oluşmaktadır. Şebekede en kısa yol üzerinde yer alan düğümlerin seçildiği yol şebekesi diğer bir yapıdır. Burada toplam uzunluk seçilen noktalar arasındaki mesafedir. Son olarak rastgele uzaklık şebekesinde düğüm çiftleri arasındaki uzaklıklar normal dağılım neticesinde belirlenmektedir. Problem tam sayılı olmayan programlamaya uygundur ve dal-sınır algoritmasından faydalanılmıştır (Schilling vd., 2000: 527-535).
- Koşullu p-medyan problemi: Bu problem yapısında p tesis yerleşim kararı alınırken hali hazırda var olan tesislerde göz önüne alınmaktadır. Talep yeni tesisten ya da var olandan karşılanıyor olabilmektedir (Drezner, 1995(b): 525).
- 1-medyan problemi: Şebekedeki ağaç yapısı üzerinde yerleşimi yapılacak merkez tek bir noktaya odaklanılmaktadır (Daskin, 1995: 203).

P-medyan problemleri NP zor sınıfına girmektedir. Bu sebepten doğrusal programlama ile yazılan modeller geniş veri setinin kullanıldığı zamanlarda yetersiz kalabilmektedir. Daha az formülasyon ile çözüm sürecini kısaltan çalışmalar da literatüre oldukça katkı sağlamaktadır. Ayrıca bu tarz problemlerde en uygun çözümün bulunması da her zaman mümkün olamamaktadır. Ayrıca çözüm uzayı içerisinde birden fazla çözümün olduğu durumlarda görülebilmektedir. Bu ve benzeri durumlarda en uygun çözüm bulunamasa bile yakın çözümlere ulaşımı sağlayan sezgisellere ihtiyaç duyulmaktadır.

P-medyan problemleri yapı olarak sezgisel algoritma kullanımına uygunluk taşımaktadır. Sdece sezgisel algoritmaların ana çözüm tekniği olarak kullanıldığı uygulamaların yanı sıra karışık tam sayılı ya da doğrusal olarak tasarlanan modellerde çözümü kolaylaştırmak için hibrit rahatlatma algoritmalarının kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Örneğin sınırsız kapasiteli p- medyan merkez problemine çoklu veya tekli atamanın yapılabilmesi için ikili tam sayılı bir model tasarlanmış, bunun neticesinde çok sayıda değişken ve kısıta ihtiyaç duyulmuştur. Sonuçta parçalı olarak elde edilen çözümleri birleştirebilmek için dar doğrusal rahatlatma algoritmasından faydalanılmıştır (Kapov vd., 1996: 584-588).

Bunun yanında doğrusal modellemenin yetersiz kaldığı p-medyan problemleri için çözüm tekniği olarak başlı başına sezgisellerin kullanılması oldukça yaygındır. Örneğin yerel arama sezgiseli sınırsız kapasiteli bir k- medyan probleminde kısıt ve faktörlerde gevşetme sağlarken (Korupolu vd., 2000); fiyat ve dal yaklaşımı algoritması maliyet kısıtında iyileştirme yapabilmek için Langrange rahatlatmasından istifade etmektedir (Senne, vd. 2005). Değişken komşuluğu arama algoritması (Hansen ve Mladenovic, 2001), sinirsel model (Dominguez ve Munoz, 2008), birleşik dağılım arama ve yol bağlama algoritması (Diaz ve Fernandez, 2006), tabu arama (Rolland vd., 1996), gama sezgiseli (Rosing vd., 1999) gibi yaklaşımlar geniş ölçekli p- medyan problemleri için etkin çözümler sunmaktadır.

1.4 Aktarma Merkezi (Hub) Yerleşimi

Aktarma merkezi yerleşimi telekomünikasyon ve taşıma sistemlerinde çoklukla karşılaşılan problemlerden biridir. Söz konusu sistemlerde çıkış noktası ile varış noktası arasındaki talebi uygun taşıma maliyetleriyle karşılamak önem kazanmaktadır. Aktarma merkezleri çıkış ve varış düğümleri arasındaki doğrudan uzun bağlantıların yerine arada aktarma faaliyetini gerçekleştirerek daha küçük bağlantıların kurulmasını sağlamaktadır. Bu şekildeki şebekelerde aktarma merkezleri sayesinde daha az sayıda bağlantıya ihtiyaç duyularak maliyet azalımı gerçekleştirilmektedir.

Aktarma merkezi problemleri klasik tesis yerleşim problemlerine göre birkaç açıdan farklılık sergilemektedir. Klasik ayrık yerleşim problemlerinde talep ayrık düğümlerde oluşmakta, tesisler ayrık düğümlere kurulmakta ve amaçlar tesis ile talep düğümleri arasındaki mesafe ve maliyetlere göre değişmektedir. Aktarma merkezi problemlerinde talep, çıkış düğümleri ile varış düğümleri arasındaki akışlar üzerinde belirlenmektedir. Aktarma merkezi, bu düğümler arasındaki birleşimi ve bağlantıyı sağlamaktadır. Bunun yanında aktarma merkezleri küçük birkaç akışın büyük bir akış içerisinde birleşimini de olası kılmaktadır. Sistem içerisinde birleşim fonksiyonunun tersi olarak yani büyük akışın küçük akışlara parçalanması faaliyeti de gerçekleşmektedir. Aktarma merkezleri genelde çıkış ve varış düğümleri arasında düşünülmektedir. Fakat bir aktarma merkezi düğümü akışın başladığı ya da son bulduğu nokta da olabilmektedir (Campbell vd., 2002: 373).

Bu yapı sadece çıkış, varış noktaları ve aktarma merkezlerinden oluşmaktadır. Problemde müşteriler, sayısı kesin olarak bilinen çıkış noktalarından varış noktalarına doğru hareket etmek istemektedir. Bu hareket sırasında talep, talep noktalarının aksine çıkış ve varış noktaları arasındaki rota üzerinde oluşmaktadır. Çıkış ve varış noktaları doğrudan birbirine bağlanmamakta akış aradaki aktarma merkezleri yoluyla sağlanmaktadır. Genelde varış ve çıkış noktaları birbirine doğrudan bağlanabilirken bazı müşteriler tek aktarma merkezli bazıları da iki aktarma merkezli rotaları tercih edebilmektedirler. İkiden daha fazla aktarma merkezinin olduğu modeller sistemi hantallaştırmaktadır. Fakat özellikle havayolu taşımacılığında düşük maliyetlerle büyük ölçekli yolcu taşımacılığının etkin olarak gerçekleştirilmesini sağladığı için bir rota üzerinde çok sayıda aktarma merkezinin olması şirketler tarafından istenilen bir durum olmaktadır (Eiselt ve Marianov, 2009: 3128-3129).

Tekli aktarma merkezi problemine ait genel model yapısı aşağıda yer almaktadır:

i: Çıkış noktaları kümesi

j: Varış noktaları kümesi

h_{ij}: i. çıkış ile j. varış arasındaki talep ya da akış

c_{ij}: i. düğüm ile j. düğüm arasındaki yerel hareketin birim maliyeti

x_j: İkili değişken, 1, eğer, j. düğüme aktarma merkezi yerleşirse

y_{ij}: İkili değişken, 1, eğer i. düğüm j. düğüme yerleşmiş aktarma merkezine bağlanırsa

$$Min \sum_i \sum_j \sum_k h_{ik} (c_{ij} + c_{jk}) y_{ij} y_{kj} \tag{1.22}$$

$$\sum_j x_j = 1 \tag{1.23}$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0 \qquad \forall i,j \tag{1.24}$$

$$x_j = 0,1 \qquad \forall j \tag{1.25}$$

$$y_{ij} = 0,1 \qquad \forall i,j \tag{1.26}$$

Amaç fonksiyonu aktarma merkezine doğru yapılan taşımanın maliyetini minimize etmektedir. Burada i. düğümdeki çıkış noktasından j. düğümdeki varış noktasına olan talep ya da akış, i. düğümdeki çıkıştan k. düğümdeki aktarma merkezine oradan da j. düğümdeki varış noktasına ulaşırken ortaya çıkan maliyet ile çarpılmaktadır. Birinci kısıt (1.23) yerleşimi yapılacak aktarma merkezi sayısını tekli olarak sabitlemektedir. Sonraki kısıt (1.24) eğer j. düğüme bir aktarma merkezi yerleştirilmemişse i. düğümdeki talebin j. düğümle bağlantı kurmamasını sağlamaktadır (Daskin, 1995: 352-353).

Telekomünikasyon ve taşımanın yanı sıra birçok alanda karşılaşılan aktarma merkezi problemleri ile ilgili farklılaşmış problem yapıları bulunmaktadır. Eiselt ve Marianov (2009: 3129) göre dört farklı temel sınıflama söz konusudur:

- Tekli-çoklu atama: Tekli aktarma merkezinin olduğu durumlarda birçok çıkış noktasından tek bir aktarma merkezine akış varken çoklu atama merkezinin olduğu durumlarda akış trafiği rotalar yoluyla sağlanmaktadır. Havayolu taşımacılığında birçok çıkış noktası birden fazla aktarma merkezi ile bağlantılı iken bir e-posta sınıflama sisteminde tek bir atama görülmektedir.

- Aktarma merkezi sayısı: Problemin özündeki aktarma merkezi sayısı modelin yapısını değiştirmektedir. P-aktarma merkezi problemlerinde bu sayı dışsal olarak karar verici tarafından belirlenmektedir. Fakat bu şekilde amaç fonksiyonu kurulum maliyeti açısından sınırlandırılmaktadır. Dolayısıyla modelin kurulum amacı olan rotalama maliyeti ile aktarma merkezinin kurulum maliyetlerinin minimizasyonu tam olarak gerçekleştirilememektedir. Modellerde bu duruma alternatif olarak bütçe kısıtı da konulabilmektedir.
- Kapasite kısıtlı aktarma merkezi problemleri: Modellere kapasitenin dahil edilmesi ya da yok sayılması mevcut yapıyı doğrudan farklılaştırmaktadır. Hali hazırda konulan bir kapasite kısıtı, iş çıkarma yeteneğini kısıtlamakta ve akışın büyümesini engellemektedir.
- Maliyet kısıtlı aktarma merkezi problemleri: Bazı modellerde sadece akıştan kaynaklı değişken maliyetler dikkate alınırken, diğer bazı çalışmalarda değişken ve şebekede bağlantı kurulumu sonucu ortaya çıkan sabit maliyet kalemlerinin hepsi birden değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Böylesi bir durumda problemin zorluğu artmaktadır.

Bu kriterlerin dışında farklılaşan aktarma merkezi model yapıları şunlardır:

- Stokastik aktarma merkezi problemleri: Aktarma merkezi kararları da diğer yerleşim kararları gibi stratejik plan doğrultusunda alınan ve etkileri uzun vadede ortaya çıkan, uygulaması zaman alan kararlardır. Dolayısıyla geniş zaman perspektifinde belirsizliğin ortaya çıkması olasıdır. Bu belirsizliği etkileyen birçok unsur içinde aktarma merkezlerinin taşıma maliyetleri ile akışı sağlanacak olan talep en temel iki belirsizlik kaynağı olarak ön plana çıkmaktadır (Alumur vd., 2012: 530-531). Farklı bir modelde müşteriye zamanında teslimatı garanti altına almak için ek bir şans kısıtı dahil edilmektedir. Bu şekilde yerleşim sonucu minimum hizmet gereksinimleri karşılanmaktadır. Model, şebekeden kaynaklı seyahat süresini minimize edecek şekilde şebekenin tasarlanmasını sağlayacak seyahat süresi değişkenini hesaba katmaktadır. Problemde seyahat süreleri normal dağılıma uygun ve herhangi bir değişkenden bağımsız sayılmaktadır (Sim vd, 2009).
- Iskonto faktörü α: Bazı klasik aktarma merkezi modellerinde aktarma merkezi arasındaki bağlantılar 0-1 arasında değer alan sabit bir ıskonto oranıyla ağırlıklandırılmaktadır. Belirlenen yerleşim noktalarının yeri ve sayısı bu oran tarafından etkilenebilmektedir. Iskonto faktörü, modellerde bir maliyet unsuru olarak değerlendirilmektedir. Burada eğer $\alpha=0$ olarak kabul edilirse taşıma maliyeti unsuru göz ardı edilmiş sayılmaktadır. Dolayısıyla her bir talep noktası sadece bir aktarma

merkezine atanmak istemektedir. Bu şekilde aktarma merkezleri arasında herhangi bir akış oluşmamakta ve problem p-medyana dönüşmektedir (Alumur ve Kara, 2008: 15).

- Düzlemsel aktarma merkezi problemleri: Problemde iki boyutlu bir uzayda birbiriyle etkileşim halindeki n adet noktanın oluşturduğu bir küme elde edilmeye çalışılmaktadır. Bunun için gözlemler yapılmakta ve bu gözlemler arasındaki etkileşimin seviyesi dışsal olarak belirlenmektedir. Kümenin ortalamasından elde edilecek karesel sapma mümkün olabildiğince küçük olacak şekilde n gözlem p grup içerisinde kümelendirilmektedir. Karesel metriğin kullanılması kümenin merkezi koordinatlarının belirlenmesi için denklemlere doğrusal bir yapı kazandırmaktadır (O'Kelly, 1992: 339).

Aktarma merkezi problemlerinin çözümündeki zorluklardan dolayı optimum çözüm tekniği çok sayıda çalışmada kullanılmamaktadır. Fakat kesikli şebeke yapısı aktarma merkezlerinin atanmasını kolaylaştırmaktadır. Şebekelere dayalı modellerde genellikle ağaç yapısı kurulmaya çalışılmaktadır. Bu yapı içerisine yerleştirilecek aktarma merkezlerine tekli atama yapılmak istendiğinde tam sayılı programlamadan faydalanılabilmektedir (Contreras vd., 2010: 391). Fakat aktarma merkezleri üzerinden geçişi sağlanacak olan akım büyüklüğü aktarma merkezleri üzerinde kısıtlayıcı etki gösterirse tam sayılı modelleme çözüm sunmakta zorlanmaktadır. Daha önce de değinildiği gibi kapasite kısıtı modelin yapısını değiştirmektedir. Amaç aktarma merkezinin kurulum maliyeti ile iki düğüm arasında gerçekleşecek akış maliyetinin minimize edilmesi için en uygun noktanın seçilmesidir. Fakat kapasite kısıtı da dahil edildiği zaman problem çok boyutlu hale gelmektedir. Bu problemlere kuadratik kapasitelendirilmiş tek atamalı aktarma merkezi problemi denilmektedir. Çözüm için bir rahatlatma mekanizmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu rahatlatmayı sağlayabilmek için iki temel model geliştirilmiştir: ilki aktarma merkezlerinin kapasitelerinin sabit tutulduğu doğrusal kapasitelendirilmiş tek atamalı aktarma merkezi modeli ve diğeri kapasite kısıtının yok sayılarak ortadan kaldırıldığı sınırsız kapasiteli tek atamalı aktarma merkezi modeli. Problem çözümü için dal sınır algoritmasından faydalanılmaktadır (Labbe vd., 2005: 372-373).

Düzgün bir şebeke yapısı, problemin doğrusal programlama teknikleri ile çözümüne de imkan sağlamaktadır. Fakat bu teknikler genellikle tek atamalı ve kapasiteyi sınırlandıran herhangi bir kısıt varsayılmadığı zamanlarda işe yaramaktadır (Campbell, 1994). Literatürde kapasite seviyesinin belirlenerek bu seviyenin altındaki aktarma merkezlerinin seçimini karışık tam sayılı programlama ile yapan çalışmalar da bulunmaktadır (Correia vd., 2010). Fakat genel olarak yerleşim modellerinde doğrusal programlama ile elde edilebilecek çözümleri genişletebilmek için sıklıkla rahatlatma algoritmalarına başvurulmaktadır.

Langrange rahatlatma algoritması bunlardan bir tanesidir. Doğrusal modelin kısıt sınırları dar olduğunda bu algoritma problemi birbirinden bağımsız alt problemlere bölmektedir. Dolayısıyla çok daha geniş veri seti ile daha hızlı çözümler elde edilebilmektedir (Contreras vd., 2009). Bundan farklı olarak, ataması yapılacak aktarma merkezi sayısını sabit tutarak bu problemlere çoklu zaman evresi içinde doğrusal modelleme uygulamak da mümkün olmaktadır. Çoklu zaman evresine sahip kuadratik 0-1 tam sayılı iki aktarma merkezli bir problem üzerinde bu işlem gerçekleştirilmiş ve minimum kesme yöntemi ile çözüme ulaşılabilmiştir (Sohn ve Park, 1997).

Doğrusal programlama uygulanılabildiği düzeyde optimum çözümü sunmaktadır. Fakat sistemdeki düğüm sayısı yaklaşık olarak 200'ü aştığı zaman doğrusal modelleme yetersiz kalmaktadır. Bu durumlarda sezgisellere algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Gavriliouk, 2009: 3136). Kümeleme algoritması, Genetik ile tabu arama hibriti bir algoritma ve karınca koloni algoritması ile sistemdeki ele alınacak düğüm sayısı artırılabilmektedir (Sue, 1998: 496). Özellikle karınca koloni algoritması 400 düğümden oluşan bir aktarma merkezi problemine uygun çözüm sunarak bu alanda kullanılmaya elverişli olduğunu göstermiştir (Meyer vd., 2009: 3143).

1.5 Yerleşim ve Rotalama Problemleri

Yerleşim modellerinin birçoğunda kurulmak istenen tesislerin müşteriye doğrudan hizmet sağlayacağı varsayımında bulunulmaktadır. Tedarikçiden perakendeciye yapılan doğrudan sevkiyatlar bu varsayımı desteklemektedir. Fakat aslında bir tedarik zinciri içerisinde toplama ve dağıtım faaliyetini birlikte gerçekleştiren toptancılar ve atık toplama merkezleri benzeri tesisler çoklu doldur boşalt faaliyetleri ile talebe cevap vermektedirler. Böylesi bir durumda tesis yerleşim kararının başarısı sadece müşteriye olan uzaklıktan değil aynı zamanda çoklu talebe hizmet verecek araçların rota verimliliğinden de etkilenmektedir. Belli bir rota üzerinden yerleşim noktalarının belirlendiği problemlere yerleşim ve rotalama problemleri denilmektedir. Yerleşim ve rotalama problemleri genelinde dağıtım maliyetlerinin kararı etkileyen tek değişken olarak alınması yanlış noktaların seçilmesine olanak sağlayabilmektedir. Çünkü modelde en az maliyet sağlanmak istenirken alt rotalar oluşabilmekte ve tesis ile müşteri arasında çoklu duraklar oluşabilmektedir (Current vd., 2002: 95).

Genel olarak yerleşim problemlerinde tesisin tek bir müşteriye hizmet etmesi istenilen bir durumdur. Bu şekilde toplam maliyetin hesaplanması kolaylaşmaktadır. Ayrı olarak müşteriye sevk edilecek ürünün araç hacmini tam olarak doldurması da problemin modellenmesi açısından uygundur. Fakat gerçekte bir müşteri farklı ürün talebinde bulunan müşteri grubunun parçasıdır ve tesis tarafından hizmet alabilmesi için belli bir rota içerisinde yer alması gerekmektedir. Bir rota dâhilinde yerleşimi planlamak bu modeli diğerlerine göre daha zorlu hale getirmektedir. Keza problem yapısı içerisinde modelin alması gereken birçok farklı karar yer almaktadır: yerleşimi yapılacak tesis sayısı, tesislerin yerleştirileceği noktalar, hangi tesisin hangi müşteriye atanacağı, müşterilerin atanacağı rotalar, müşterilerin hizmet göreceği rotalar, bu kararlardan bir kaçıdır. Yerleşim ve rotalama problemi gezgin satıcı problemi sınıfı içerisinde olduğundan temelde NP-zor problem olarak ele alınmaktadır (Daskin, 1995: 339-340).

Yerleşim ve rotalama problemi Laporte ve Nobert (1981) çalışmalarında çözüm için matematiksel bir model kurmuşlardır. Araştırma tek bir tesis ve sayısı sabit olan araçlar üzerinden gerçekleştirilmiştir. Dal-sınır algoritmasının faydalanıldığı çalışmada tesis yerleşim noktasının merkezdeki düğüm ile çakıştığı tespit edilmiştir. Aşağıda tesislerin yerleşim noktalarını ve uygun rotaları tespit eden bir model yer almaktadır. Problem içerisindeki her bir müşteri tek bir rota üzerinden hareket etmektedir ve toplam maliyetin minimizasyonu amaçlanmaktadır. Toplam maliyet, sabit tesis kurulum maliyeti, mesafe ilişkili taşıma maliyeti ve sabit araç kullanım maliyeti olmak üzere üç ana kalemden oluşmaktadır. Problemde talep düğümleri kümesi, tesis yerleşim düğümlerinin kümesi ve iki kümenin birleşiminden oluşan ortak bir küme tanımlanmaktadır.

Belirtilen çerçeve doğrultusunda oluşturulan yerleşim ve rotalama merkezi modeli aşağıda yer almaktadır:

i: Talep noktaları kümesi

j: Aday yerleşim noktaları kümesi

n: Tüm noktaları içeren ortak küme

k: Kullanılacak araç kümesi

h_i: i. müşteri düğümündeki talep

f_j: j. Aday tesis yerleşim noktasının sabit kurulum maliyeti

c_{ijk}: i. düğüm ile j. düğüm arasındaki taşımanın k. araç ile sağlanması sonucu oluşan maliyet

g_k: k. aracın kullanım maliyeti

u_k: k. aracın kapasitesi

x_j: İkili değişken, 1, eğer, j. Aday tesis yerleşim düğümüne yerleşim yapılırsa

y_{jk}: İkili değişken, 1, eğer k. araç j, tesise hizmet sağlarsa

z_{ijk}: İkili değişken, 1, eğer k. araç kullanılırken i. düğüm j. düğümden önce geliyorsa

$$Min\ \sum_j f_j\, x_j + \sum_i \sum_j \sum_k c_{ijk}\, z_{ijk} + \sum_j \sum_k g_k\, y_{jk} \qquad 1.27$$

$$\sum_k \sum_i z_{ijk} = 1 \qquad \forall j \qquad 1.28$$

$$\sum_i z_{ijk} - \sum_i z_{jik} = 0 \qquad \forall j,k \qquad 1.29$$

$$\sum_i z_{ijk} = y_{jk} \qquad \forall j,k \qquad 1.30$$

$$\sum_i z_{jık} = y_{jk} \qquad \forall j,k \qquad 1.31$$

$$y_{jk} \leq x_j \qquad 1.32$$

$$\sum_j y_{jk} \leq 1 \qquad \forall k \qquad 1.33$$

$$\sum_i h_i \sum_j z_{ijk} \leq u_k \sum_j y_{jk} \qquad \forall k \qquad 1.34$$

$$x_j = 0{,}1 \qquad \forall j \qquad 1.35$$

$$y_{ij} = 0{,}1 \qquad \forall i,j \qquad 1.36$$

$$z_{ijk} = 0{,}1 \qquad \forall i,j,k \qquad 1.37$$

Modelin amaç fonksiyonu tüm maliyetlerin minimizasyonunu sağlamaktadır. İlk kısıt (1.28) yoluyla her bir j. müşteri sadece tek bir rota takip etmektedir. İkinci kısıt (1.29) akışın tek yönlü olarak gerçekleşmesi için geriye dönüş yolunu kapatmaktadır. Üçüncü kısıt (1.30) düğüme bir önceki düğümden gelen akış nedeniyle giriş bağlantısı; dördüncü kısıt (1.31) ise düğümden bir sonraki düğüme geçecek akış için çıkış bağlantısı kurmaktadır. Beşinci kısıt (1.32) j. noktaya bir araç atanabilmesi için bu noktaya bir tesis yerleşmiş olmasını gerektirmektedir. Altıncı kısıt (1.33) her bir aracın en fazla bir tesise hizmet vermesini garanti etmektedir. Yedincisi ise (1.34) ise aracın kapasite kısıtıdır (Daskin, 1995: 340-344).

Yerleşim ve rotalama problemleri yapısal olarak benzerlikler taşımaktadırlar. Nagy ve Salhi (2007: 653-654) problemi aşağıdaki özellikler bakımından sınıflandırmaktadırlar:

- Hiyerarşik yapı: Problemlerin genelinde rotalar tesislerden müşteriye doğrudur. Bu iki nokta arasında bazen ara depolar vb. yapılar girebilmektedir. Fakat bir tesisten diğer bir tesise farklı ara merkezli rotaların yer aldığı problemlere daha az rastlanılmaktadır.
- Girdi verisi çeşidi: Girdi verileri ağırlıklı olarak deterministik olmakla beraber stokastik verilerin kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Stokastik çalışmalarda özellikle talep belirsiz olarak ele alınmaktadır.
- Planlama periyodu: Problemlerin zamanlama ufku dinamik ya da durağan şeklindeki tek zaman dilimli ya da çoklu zaman dilimli dönemler halinde alınabilmektedir. Durağan problemlerde çözüme ulaşmak daha kolay olmaktadır. Dinamik problemler stokastik çalışmalar çerçevesinde ele alınmaktadır.
- Çözüm metodu: Çözüm kolaylığı sağlaması açısından yerleşim ve rotalama problemlerinde sezgisel algoritmalara sıklıkla başvurulmuştur. Fakat optimizasyon

çözüm tekniklerinin özellikle durağan deterministik problemler üzerinde çözüm üretebildikleri görülmüştür.

- Amaç fonksiyonu: Problemlerin ulaşmak istediği en büyük amaç maliyet minimizasyonudur. Maliyet fonksiyonu da genellikle taşıma ve sabit kurulum maliyet kalemlerinden oluşmaktadır. Çalışmaların çok azında çoklu amaçlara ya da maliyet dışındaki bir amaca hizmet eden modellere rastlanılmaktadır.
- Çözüm uzayı: Çözüm uzayı kesikli, şebeke ya da sürekli olmaktadır. Yerleşim ve rotalama problemlerinin çoğunda kesikli yapı ön plana çıkmaktadır. Fakat birçok gezgin satıcı ve tur-döngü yerleşim problemlerinde çözüm uzayı ağaç şebekesi ile sınırlandırılmaktadır.
- Tesis sayısı: Yerleşim ve rotalama problemlerinde genel olarak çoklu tesis kullanımı görülmektedir. Fakat gezgin satıcı ve tur-döngü gibi yerleşim problemlerinde çözüme ulaşmak zor olduğu için tekli tesis ile model tasarlanmaktadır.
- Araç tipi ve sayısı: Problemlerin çoğunda araç sayısı sabit tutulmamakta ve homojen olarak tek tip aracın olduğu varsayımı yapılmaktadır.
- Rota yapısı: Rotalama problemlerinde araç hareketine tesisten başlamakta, bütün müşteri düğümlerine doğru ilerleyerek ürünlerin teslimatını yaptıktan sonra tesise geri dönmektedir. Fakat yerleşim ve rotalama problemlerinde araçların bu durumun dışında boşaltma-doldurma, çoklu tur faaliyetleri ile aracın düğüm yerine çözüm uzayında kenar noktalarına ilerlemesini hesaba alan modeller de bulunmaktadır.

Yerleşim ve rotalama problemlerini aktarma merkezi problemleriyle iç içe düşünmek mümkündür. Nitekim literatürdeki bir çok rotalama ve yerleşim modelinde aktarma merkezi de model kısıtı olarak dahil edilmektedir. Bu durumda modelin doğrusal olarak formülasyonu oldukça zorlaşmaktadır. Aktarma merkezlerine ait yerleşim noktalarının talep ağırlığına göre belirleneceği ve rotanın da bu talepler doğrultusunda oluşturulacağı bir çalışmada, doğrusal programlama kullanabilmek için sadece iki aktarma merkezinin iletişim halinde olması kısıtı modele eklenmiştir. Bu yolla alt rota oluşumunun önüne geçilmeye çalışılmıştır (Aykin, 1995).

Problemi doğrusal programlama ile çözebilmek için çoğu zaman varsayımları kabul etmek gerekmektedir. Fakat problem yapısında belirsizlik ya da optimum çözüme ulaşmanın mümkün olmadığı durumlarda doğrusal programlama yetersiz kalmaktadır. Zarandi vd. (2013) belirsizlik altındaki bir yerleşim rotalama problemi için birçok sezgiseli bir araya getirmişlerdir. Problemdeki müşteri talepleri ve taşıma zamanları bulanık değişkenler olarak tanımlanmıştır. Çözüm için benzetim tavlama ve bulanık c ortalama yönteminden faydalanmıştır. Chan vd. (2001) benzer olarak stokastik işlem süreli talebe uygun çok tesisli ve çok araçlı bir problem için rotalama ve yerleştirme modeli kurmuşlardır. Problem ilk olarak deterministik olarak kurulmuş fakat dar sınırlardan dolayı sezgisellere ihtiyaç duyulmuştur.

Sambola vd. (2007) stokastik yerleşim-rotalama modelleri için iki aşamalı bir model önermiştir. İlk aşamada açık olan tesisler ve öncelikli rotalara karar verilmiştir. Sonraki aşamada talep açık tesislere atandıkça rotalarda güncellenmiş fakat bu yapılırken tesis kapasitesinin aşılması sonucu her bir talep noktasında boşta kalan talebe ceza katsayısı uygulanmıştır. Barreto vd. (2007) de kesikli ve sabit kapasiteli bir yerleşim-rotalama problemi için iki aşamalı bir çözüm sunmuşlardır. Problemde ilk olarak sabit kapasiteli dağıtım merkezlerinin yerleşimi ve sonrasında bu merkezlere atanacak müşterilerin tespiti amaçlanmıştır. Problem çözümü için hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan kümeleme analizi teknikleri kullanılmıştır.

Tabu arama algoritması (Caballero vd., 2007), genetik algoritma (Derbel vd., 2012), eş zamanlı toplama-boşaltma için dal-sınır algoritması (Karaoglan vd., 2011), evrimsel algoritma (Prodhon, 2011) yerleşim-rotalama problemlerine çözüm önerisi getiren belli başlı sezgisellerdir.

Yerleşim-rotalama problemleri çok amaçlı modeller olarak da ele alınabilmektedir. Alumur ve Kara (2007) zararlı atık tesisi problemi için çok amaçlı bir model kurmuşlardır. Model içerisinde atık toplama ve atık bertaraf tesislerinin nereye kurulacağı kritik noktadır. Fakat bununla birlikte taşıma maliyeti ve taşıma riskinin minimizasyonu da hedeflenmektedir. Lin ve Kwok (2006) yerleşim-rotalama problemlerinde bir aracın sadece bir rotaya atanması ve bunun sonucunda rota oluşturma maliyetlerinden çok araç taşıma maliyetlerinin ön plana çıkması durumuna vurgu yapmaktadırlar. Buradan hareketle bir aracın kapasite kısıtlı birden fazla rotaya atanabilmesine imkan sağlayan çok amaçlı bir model geliştirmişlerdir.

1.6 Çok Amaçlı Yer Seçimi Problemleri

Yer seçimi problemleri ulaşmak istedikleri amaçlar doğrultusunda farklılaşmaktadırlar. Çoğu problem daha çok insana ulaşmak ya da daha az maliyeti operasyonlar yapmak gibi tek amaçlı olarak kurulmaktadır. Fakat bu durumun aksine yerleşim problemlerinin doğasında çok amaçlılık bulunmaktadır. Dolayısıyla birden fazla amaca hizmet edecek yerleşim modellerinin sayısı da bir hayli fazladır.

Literatürde yer seçimi problemlerinde genel olarak maliyet minimizasyonu üzerine odaklanılmaktadır. Maliyet ise nihai kararı etkileyen faktörlerden sadece bir tanesidir. Örneğin bir kamu binasını düşünmek gerekirse, yer seçimi kararı alınırken binadan faydalanacak kişi sayısı, çevre kurumlarla ilişkisi, yerleşim mahalline uzaklığı vb. birçok etmen hesaba katılmalıdır. Öte yandan özel sektörde kar yanında, rakiplerle yürütülen rekabet vb. faktörler göz ardı edilmemelidir. Sadece maliyet üzerinden yapılabilecek hesaplamalar gerçek sonuçları ortaya koymakta yetersiz kalmaktadır.

Çok amaçlı problemlerde optimum çözüme ulaşılamayacağı için uzlaşık çözüm aranmaktadır. Yerleşim problemlerinin yapısı bu durum için uygundur. Ele alınan amacı gerçekleştirmek için diğer amacın optimum hedefinden feragat edilmesi gerekmektedir. Buradan hareketle yer seçimi için çok kriterli karar verme ile hedef programlama teknikleri kullanılabilmektedir. Fakat çok kriterli karar verme tekniklerini içeren çalışmalar tek tesis yer seçimi kararı üzerine yoğunlaşmaktadır.

Current vd.(1990) çok amaçlı yerleşim modellerinde karşılaşılan amaçları dört temel kriter altında gruplandırmaktadır. Gruplama içerisinde gösterilmese de temel kriterlere yakın amaçlar alt kriter olarak değerlendirilmiştir. Aşağıda her bir temel kriter ve bağlı alt kriterler yer almaktadır:

i. **Maliyet Minimizasyonu**

- Talep tesis arası toplam mesafenin minimizasyonu
- Tesis ile en yakın rakip arasındaki toplam mesafenin minimizasyonu
- Talep ile en yakın tesis arasındaki maksimum mesafenin minimizasyonu
- Tesisler arasındaki maksimum mesafenin minimizasyonu
- Her bir talep düğümü ile en yakın tesis arası mesafenin minimizasyonu
- Tesis sayılarının minimizasyonu
- Toplam tesis maliyetlerinin minimizasyonu
- Bütçe açıklarındaki maliyetlerin minimizasyonu
- Operasyon maliyetlerinin minimizasyonu
- Taşıma maliyetlerinin minimizasyonu
- Toplam maliyetlerin (sabit ve değişken) minimizasyonu
- Kullanıcıdan kaynaklı maliyetlerin minimizasyonu
- Diğer

ii. **Talep odaklılık**

- Tesise atanacak talebin maksimizasyonu
- Maksimize edilecek talebin tahmin edilmesi
- Diğer tesislere mesafeyi maksimize etmek
- Kapsanan toplam talebin maksimizasyonu

***iii.* Kar maksimizasyonu**

- Yatırım geri dönüş oranının maksimizasyonu
- Çıktının maksimizasyonu
- Pazar payının maksimizasyonu
- Genel kar maksimizasyonu

***iv.* Çevresel amaçlar**

- Hava kalitesinin kötüleşmesinin minimizasyonu
- İnşaat uygunsuzluğunun minimizasyonu
- Risk altındaki nüfusun minimizasyonu
- Konforun maksimizasyonu

Maliyet minimizasyonu yer seçimi problemleri içerisinde ulaşılmak istenen en temel amaçların başında gelmektedir. Bu kriter operasyon ve kurulumdan kaynaklanan ekonomik unsurların indirgenmesinin yanında taşıma mesafelerinin hatta tesis sayısının azaltılması gibi geniş kapsamda bir çok unsuru içermektedir.

Modellerde maliyet yerine en çok kullanılan kriterin mesafe olduğu görülmektedir. Temelde çalışmalar talep-tesis arası mesafe ile toplam mesafenin minimizasyonuna odaklanmaktadır. Bunun yanında yerleşimi yapılacak olan tesis sayısının mümkün olduğunca az olması da maliyet minimizasyonu çerçevesi içerisinde ele alınmaktadır. Ayrıca, tesislerin maksimum faydayı minimum maliyetle sağlaması için mümkün olduğunca tam kapasitede çalışması istenmektedir. Tesislerin tam kapasite de çalışmasına ise tedarikçiden sağlanan hammaddenin yeniden yükleme ve arada geçen taşıma zamanlarının minimizasyonu katkı sağlamaktadır (Osleeb, vd., 1983: 303). Amacı kar etmekten çok topluma fayda olan çöp toplama merkezleri gibi kamu tesislerinde çevresel riski azaltmak maliyet şişmesine sebebiyet verebilmektedir. Bu iki unsurun minimize edilmesi aslında uzlaşık bir çözüm gerektirmektedir (Melachrinoudis, vd. 1995: 144).

Talep odaklılık yerleşim problemlerinin maliyet minimizasyonu ile beraber en temel amaçlarından biri olarak görülmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar büyük çoğunlukla kapsama üzerine yoğunlaşmaktadır. Özellikle acil servis sistemlerine ait olan tesislerin öncelikli amacı maksimum sayıda insana ulaşmak olmaktadır. Fakat bu faaliyetin minimum zaman ve minimum mesafe içerisinde gerçekleştirilmesi istenmektedir (Araz vd., 2007: 706).

Kar maksimizasyonu işletmelerin var oluş amaçlarından biridir. Dolayısıyla kurulacak tesisin bu amaca hizmet edecek olması önemlidir. Tesislerin maksimum talebe minimum maliyetle ulaşması doğal olarak karın maksimize edilmesini de sağlayabilmektedir. Bununla beraber çıktı ve beklenen pazar payının maksimizasyonu gibi unsurlar kar maksimizasyonu içerisinde değerlendirilmektedir (Current vd., 1990: 299).

Son olarak kirliliğin giderek artması, bunun karşılığında ise sosyal bilincin gelişmesi çevresel amaçların önemini artırmaktadır. Buradan hareketle atık toplama ve imha tesisleri, nükleer santraller, kimyasal fabrikalar vb. istenmeyen tesisler sınıfına girmektedirler. Tesislerin faaliyetlerine devam edebilmesi için sürdürülebilir olmaları gerekmektedir. Samanlıoğlu (2013: 335-336) özellikle çevresel unsurları ön plana çıkararak zararlı madde tesisi kurulumu konusunda bu konuya yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Model üç ana amaç için çözüm sunmaktadır. Birinci amaç zararlı madde ve atığın taşınması sırasında ortaya çıkan maliyet ile tesisin sabit kurulum maliyetlerini içeren maliyet minimizasyonudur. İkincisi taşıma sırasında rota üzerindeki kişilerin zararlı maddenin yarattığı kirlenmeden etkilenmesinden kaynaklı taşıma riskini minimize etmektir. Yine minimizasyonu sağlanmak istenen üçüncü amaç ise tesisin kurulduğu yerin civarında yaşayan nüfusun tesislerden etkilenme riskidir.

Çok amaçlı yerleşim modelinin çözümünde kullanılan teknikler oldukça geniş kapsamlıdır. Özellikle bulanık veri setleri ve ağırlıklandırma yoluyla bulanık hedef programlamanın kullanılması bu alanda sıkça başvurulan yöntemlerden biridir (Bhattacharya vd., 1992; Rakas vd., 2004). Problemin yapısı gereği bazı durumlarda tam sayılı programlamaya da ihtiyaç duyulmuştur. Karışık tam sayılı programlamanın kullanılabilmesi için önceliklerin belirlenmesi ve her önceliğin her bir çözüm aşamasında modele kısıt olarak girilmesi gerekmektedir (Canel ve Khumawala, 1996). Ayrıca geliştirilen yeni algoritmalarla da daha etkin çözümler elde edilebilmiştir. Örneğin, Melachrinoudis (1999) konveks olmayan iki kriterli yerleşim problemini iki kriterli doğrusal probleme çevirebilmiş ve çözüm için Fourier-Motzkin eleminasyon yönteminden yararlanmıştır. Cho (1998) ise tam sayılı Monte Carlo tekniğine Langrange rahatlatma algoritmasını entegre ederek hiyerarşik bir yapı sunmuştur.

Bu alanda faydalanılan sezgisellerden birkaçı ise şunlardır: tabu arama algoritması (Stummer vd., 2004), karınca koloni optimizasyonu (Doerner, vd., 2007), genetik algoritma (Leung, 2007).

İKİNCİ BÖLÜM
BULANIK MANTIK ve BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA

2.1 Bulanık Mantık

Süreçlerin günümüze kadar giderek karmaşıklaşması, süreç kontrolü sağlayacak sistemlerin kurulmasını güçleştirmektedir. Söz konusu sistemlerin kurulabilmesi için birçok farklı kriteri bir arada ele alıp maliyet ve kazanımlar açısından en uygun çözümü sunacak modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Böylesi durumlarda optimum çözüme kolay ulaşabilmek için model değişkenlerinin sabit ve kesin değerler alması istenmektedir. Hâlbuki gerçek sorunların birçoğu belirsizdir ya da probleme ait değişkenler zaman içerisinde değişebilmektedir.

Matematiksel modellerde belirsizliğin değişkenler üzerindeki etkisini minimum düzeyde tutabilmek için değişkenlere bir ağırlık ataması yapılmaktadır. Fakat bu ağırlıkların belirlenmesi için genellikle konu hakkında uzman kişilerin deneyimlerinden faydalanılmaktadır. Başka bir deyişle insan deneyimleri modele ilave edilmektedir. Bulanık mantığın temelinde bu ihtiyacın giderilmesi yatmaktadır. Yani, insana özgü algı ve hareket tarzının matematiksel modele uyarlanması amaçlanmaktadır.

Bulanık mantık çerçevesinde matematiksel modellere değişen koşullar karşısında daha esnek bir yapının kazandırılması dilsel değişkenler yoluyla sağlanmaktadır. Ayrıca dilsel değişkenler sayesinde insan kaynaklı önyargıların da önüne geçilmektedir. Sağlanan bulanık veriler bulanık operatörler tarafından işlenip durulaştırılmaktadır. Bulanık mantık bu ve benzeri işlemleri gerçekleştirebilmek için kendine has matematiksel bir alt yapıya ihtiyaç duymaktadır. Bunun sonucunda da bulanık küme teorisi geliştirilmiştir. Bulanık mantığı ilk olarak ortaya koyan Zadeh (1965)’e göre teori şu özellikler çerçevesinde şekillenmektedir (Elmas, 2010: 185-186):

- Bulanık mantık kesin değil yaklaşık değerler üzerinden çalışmaktadır.
- Bütün değişkenler [0,1] sayı aralığında bir üyelik derecesine sahiptir.
- Bilgi dilsel değişkenler yoluyla sağlanmaktadır.
- Dilsel değişkenler aracılığıyla bulanıklaştırılan bilgi bulanık operatörler tarafından işlenir.
- Matematiksel modelinin kurulması çok zor problemler için tercih edilebilir.

2.1.1 Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları

Bulanık küme teorisi Zadeh (1965)'in anlamsal ve öznel belirsizliği gidermek amacıyla geliştirdiği bulanık mantığa dayanmaktadır. Klasik mantıkta 250 bir tamsayı değer olarak bilinmektedir. Ama yine aynı mantıkla 250,4 bir tamsayı değer olarak kabul etmek mümkün değildir. Aynı sayı bir kişi için büyük, diğeri için küçük yine bir başkası için çok küçük bir sayı olabilmektedir. Bulanık mantıkta bu belirsizliği gidermek için devreye dilsel değişkenler girmekte ve konuşma uzayında elde edilen bu sayıların 0-1 sayı aralığında değer alması sağlanmaktadır. Klasik kümelerde derece farkı bulunmamaktadır yani bir sayı ya kümeye üyedir ya da değildir. Bulanık kümelerde üyelik fonksiyonu doğrultusunda üyelik sınıfları oluşturulmaktadır. Aşağıda bulanık kümelerle ilgili özellikler yer almaktadır (Zhang vd., 2005: 15-17).

Bulanık kümelerin gösterimi Eşitlik 2.1' deki gibidir:

- $A = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \cdots \dots \dots \dots \frac{\mu_A(x_n)}{x_n}$ 2.1

Bulanık kümelere ait özellikleri aşağıda yer alan küme değerleri ve önermeler ile ifade etmek mümkündür:

- X: Hava durumu değerleri ise;
- X={5, 10, 15, 20, 30, 40} ve
- Bulanık küme A= "yaz mevsimi sıcaklığı". Bu durumda,
- A= 0/ 5+ 0/10 + 0.1/15 + 0.5/20+ 0.8/30 + 1/40 şeklinde gösterilebilmektedir. Buradaki payda değerleri X kümesinin elemanlarının yüksek sıcaklık fonksiyonuna üyelik derecelerini belirtmektedir.

Bulanık küme elemanlarının hepsi 0'dan büyük olmalıdır. Yine bulanık kümelerin konvekslik özelliği bulunmaktadır. Aşağıdaki formülasyon bu özelliğin gösterimidir.

- $\mu_A[\lambda_{x1} + (1-\lambda)_{x2}] \geq \min[\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)$ 2.2

En büyük üyelik derecesine A'nın yüksekliği denilmektedir. Eğer A'nın derecesi 1 ise normal bulanık küme, değilse normal olmayan bulanık kümedir.

- $h(A) = sup_{x\in X}\ \mu_A$ (x) 2.3

Bir bulanık kümenin bulanık küme olup olmadığını belirlemek için aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir:

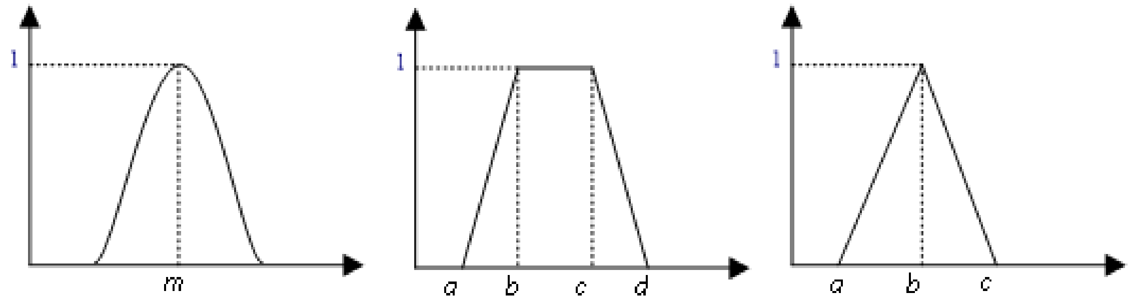
i. A normal olmalıdır ($\mu_A (x) = 1$).

ii. A konvekslik özelliği göstermelidir.

iii. A üstten sınırlı olmalıdır.

iv. A sınırlı desteği olmalıdır.

Aşağıdaki grafikler bulanık kümelere örnektir:



Şekil 2.1 Bulanık Kümeler (Aslangiray, 2011: 51)

Bulanık kümlerde üyelik fonksiyonlarının genel olarak konveks ve normal olması istenmektedir. Fakat bulanık operatörler yoluyla yapılan işlemler doğrultusunda normalin altında ve konveks olmayan sonuçlarla karşılaşılabilmektedir. Konveks bir bulanık kümenin normal olması, elemanlarından bir veya birkaçının üyelik fonksiyonunun 1 olması anlamına gelmektedir.

Üyelik fonksiyonları simetrik-asimetrik ve çok boyutlu çözüm uzayına sahip olmaktadır. İkili boyut tek yüzeyli, üç ve daha çok sayıdaki boyut ise hiperyüzeyli çözüm sunmaktadır. Bu çözüm uzayı içerisindeki parametrelerin üyelik dereceleri [0,1] değer aralığındadır (Ross, 2004: 93-94). Şekil 2.1'deki bulanık kümeler doğrultusunda üyelik fonksiyonları şu şekilde oluşturulmaktadır (Aslangiray, 2011: 51):

i. Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonu

$$\mu_A(x) = e^{-a(x-m)^2} a > 0, m \in R \qquad 2.4$$

ii. Yamuksal Üyelik Fonksiyonu

$$\mu_A(x) \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x < b \\ 1, & b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c}; & c \leq x < d \\ 0; \; x < a \; veya \; x > c & \end{cases} \qquad 2.5$$

iii. Üçgensel Üyelik Fonksiyonu

$$\mu_A(x)\begin{cases}\frac{x-a}{b-a}; & a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x < c \\ 0; \; x < a \; veya \; x > c & \end{cases} \qquad 2.6$$

2.1.2 Bulanık Kümelere Uygulanabilen İşlemler

Klasik kümelerde olduğu gibi bulanık kümelere de birleşim, kesişim ve tümleyen alma gibi işlemler uygulanabilmektedir. Fakat bu işlemler maks-min operatörleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Aşağıda bu işlemlerin gösterimi verilmiştir (Elmas, 2010: 185-186):

i. A bulanık kümesinin tümleyeni: $\mu_{\neg A} = 1 - \mu_A(x), x\epsilon X$ 2.7

ii. İki kümenin bileşimi : $\mu_{A\cup B} = \text{maks}[\mu_A(x), \mu_B(x)], x\epsilon X$ 2.8

iii. İki kümenin kesişim işlemi : $\mu_{A\cap B} = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)], x\epsilon X$ 2.9

iv. Destek kümesi : $SuppA = \mu_A(x) > 0, x \in X$ 2.10

v. α Bölüm Kümesi : $A_\alpha = \mu_A(x) \geq \alpha, \; x \in X$ 2.11

vi. Seviye Kümesi : $A_\alpha = \mu_A(x) = \alpha, \; x \in X$ 2.12

Klasik kümelere uygulanabilen işlemler her ne kadar bulanık kümelere de uygulanabilse de ortaya çıkan sonuçlar klasik kümeler ile aynı olmamaktadır.

- $A \cup \neg A \neq X$ 2.13
- $A \cap \neg A \neq \emptyset$ 2.14

Benzer işlemler aşağıda verilmiştir. A, B, C, X evrensel kümesi üzerinde tanımlı bulanık kümeler olmak üzere;

i. $A \cup A = B \cup A, A \cap B = B \cap A$ 2.15

ii. $(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C), \; (A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$ 2.16

iii. $A \cap A = A, A \cup A = A$ 2.17

iv. $\neg\neg A = A$ 2.18

v. $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$ 2.19

2.1.3 Dilsel Değişkenler

Dilsel değişkenler ile gerçek hayattaki verilerin matematiksel dile aktarımı amaçlanmaktadır. Klasik mantıkta önermeler için iki durum söz konusudur. Örneğin suyun sıcaklığını ifade etmek için iki değişken yeterli olabilmektedir. Yani su ya sıcaktır ya da soğuktur. Bulanık mantıkta ise önerme insan doğası paralelinde ağırlıklandırılmaktadır. Bunun için “az”, “çok” gibi derece ölçütleri kullanılmaktadır. Her bir dilsel değişkenin kendisine ait bir üyelik fonksiyonu bulunmaktadır.

Dilsel değişkenlerin tanımlanmasında 4 parametreden faydalanılır. Bunlar “U, X, Z, A”

- U, dilsel değişkenlerin kümesidir
- X, konuşma uzayıdır
- Z, U kümesini oluşturmak için gerekli dilsel değişkenlere sahip serbest dil kümesi
- A, U ya göre X in alt kümelerinin belirlendiği sınırlardır.

Bulanık dilsel değişkenlerin ölçütleri arasında kesin sınırlar yoktur. Ele alınan bir değer birden fazla üyelik fonksiyonunun elemanı olabilmektedir. Örneğin, havanın ılık olması hem sıcak hem de soğuk olarak algılanması anlamına gelmektedir. Yani ölçütler arasında etkileşimli bir yapı bulunmaktadır (Paksoy vd., 2013: 21-23).

2.1.4 Bulanıklaştırma-Durulaştırma

Bulanıklaştırma kesin değerleri belirsiz forma dönüştürme işlemi olarak ifade edilmektedir. Gözlem veya deneysel yöntemlerle sağlanan istatistiki veriler bulanık operatörlerce işlenebilmesi için bu işleme tabi tutulmakta ve yeni bulanık girdiler elde edilmektedir. Sonrasında, değerin üyelik fonksiyonu içerisinde bir üyelik derecesi alması sağlanmaktadır.

Durulaştırma işlemi, bulanıklaştırma sonucu işleme uygun hale sokulmuş verinin bulanık süreçten geçip çıktı formuna geldiği zaman tekrardan kesin değere dönüştürülmesi işlemidir. Elde edilen çıktı birden fazla üyelik fonksiyonunun birleşimi sonucu elde edilmektedir. Bu üyelik fonksiyonlarının birleşimi sonucu farklı geometrik yapıda kümeler elde edilmektedir. Aynı zamanda elde edilen üyelik fonksiyonlarının normal olmadığı görülmektedir. Ross (2004: 99-112) sınıflamasına göre en çok kullanılan durulaştırma operatörleri aşağıda yer almaktadır:

i. Maksimum Üyelik Prensibi: Yükseklik prensibi olarak da bilinen bu yöntemde üyelik derecesi en yüksek olan çıktıya göre durulaştırma gerçekleştirilir.

$$\mu_c(z^*) \geq \mu_c(z) \quad \forall\, z \in Z \tag{2.20}$$

ii. Centroid Yöntemi: Ağırlık merkezi olarak da ifade edilen yönteme durulaştırma işlemi için sıklıkla başvurulmaktadır.

$$z^* = \frac{\int \mu_c(z).z\, d_z}{\int \mu_c(z)\, d_z} \qquad 2.21$$

iii. Ağırlıklı Ortalama Yöntemi: Bu yöntemin hesaplama kolaylığı diğer yöntemlere nazaran daha kolaydır. Fakat ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma yapılabilmesi için üyelik fonksiyonlarının simetrik olması gerekmektedir.

$$z^* = \frac{\sum \mu_c(z_{ort}).z_{ort}}{\sum \mu_c(z_{ort})} \qquad 2.22$$

iv. Maksimum Üyeliğin Ortalaması: İlk yönteme benzer görülen maksimum üyeliğin ortalaması prensibinde, maksimum üyelik birden fazla nokta tarafından gerçekleştirilmektedir.

$$z^* = \frac{a+b}{2} \qquad 2.23$$

2.2 Bulanık Doğrusal Programlama

Doğrusal programlama modelleri kurulurken kısıt katsayıları, sağ taraf değişkenleri ve amaç fonksiyonu katsayılarının kesin değerler içermesi istenir. Fakat değişen şartlar karşısında bu değerler her zaman sabit kalamaz ve tam olarak bilinemez. Bunun yanında bir problemi niteleyen değişkenlerin tam olarak o problemin çözümü için yeterli olup olmadığı da kesin değildir. Böylesi bir durum bulanık olarak ifade edilmektedir (Özkan, 2003: 162).

Bulanık doğrusal programlama modelleri amaç fonksiyonu ve kısıtlardaki bu belirsizlik üzerinden geliştirilmektedir. Bu konudaki ilk sınıflama Zimmerman'ın ortaya koyduğu simetrik ve simetrik olmayan modeller şeklindeki ikili yapıdır. Sonrasında problemin çözümü için geliştirilen yaklaşımlar aşağıda yer almaktadır (Paksoy vd., 2013: 92-116):

2.2.1 Verdegay Yaklaşımı

Bu yaklaşımda sağ taraf değişkeninin bulanık olduğu duruma çözüm getirilmektedir. Modelde sağ taraf değişkenine P_i tolerans değeri verilmektedir.

$$\text{maks } c_j x_j$$
$$\sum_{j=1}^{n} A_{ij} x_j \leq B_i \qquad 2.24$$
$$x_j \geq 0$$

Kısıtlar Üyelik fonksiyonları,

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1, & A_{ij}x_j \leq B_i \\ 1 - \left[\frac{A_{ij}x_j - B_i}{P_i}\right], & B_i \leq A_{ij}x_j \leq B_i + P_i \\ 0\ , & A_{ij}x_j \geq B_i + P_i \end{cases} \qquad 2.25$$

2.2.2 Werners Yaklaşımı

Sağ taraf değişkenlerinin buna bağlı olarak da amaç fonksiyonunun bulanık olduğu durum incelenmiştir. Sağ taraf değişkenine ait üyelik fonksiyonu,

$$\mu_{B_i}(x) = \begin{cases} 1, & A_{ij}x_j \leq B_i \\ \left[\frac{B_i + P_i - A_{ij}x_j}{P_i}\right], & B_i \leq A_{ij}x_j \leq B_i + P_i \\ 0, & A_{ij}x_j \leq B_i + P_i \end{cases} \qquad 2.26$$

Ayrıca amaç fonksiyonunu bulanıklaştırmak için alt sınır olarak Z_L ve üst sınır olarak Z_U alınmış ve model aşağıdaki formasyona dönüşmüştür.

$$Z_L = \text{maks } c_j x_j$$
$$A_{ij} x_j \leq B_i \qquad 2.27$$
$$x_j \geq 0$$
$$Ve$$
$$Z_U = \text{maks } c_j x_j$$
$$A_{ij} x_j \leq B_i + P_i \qquad 2.28$$
$$x_j \geq 0$$

Amaç iki değer arasındaki en uygun sonuca yönelecektir. Amaç fonksiyonunun üyelik fonksiyonu;

$$M_G(x) = \begin{cases} 1, & c_j x_j \geq Z_U \\ \left[\frac{c_j x_j - Z_L}{Z_U Z_L}\right], & Z_L \leq c_j x_j \leq Z_U \\ 0, & Z_L \leq c_j x_j \end{cases} \qquad 2.29$$

İki üyelik fonksiyonunun sentezinden elde edilen ve kısıtlar ile amaç fonksiyonunun ortak doyum noktasını maksimize etmeyi amaçlayan model şu şekildedir:

$$
\begin{aligned}
& maks\ \alpha \\
& \alpha(Z_U - Z_L) - c_j x_j \leq -Z_L \\
& \alpha P_i + \textstyle\sum_{j=1}^{n} A_{ij} x_j \leq B_i + P_i \\
& x_j \geq 0 \\
& \alpha \in [0,1]
\end{aligned}
\tag{2.30}
$$

2.2.3 Negoita ve Sularia Yaklaşımı

Bu yaklaşımda üçgensel üyelik fonksiyonu özelliği belirgin olarak görülmektedir. Modelde sağ taraf değişkeni ile kısıt katsayıları bulanık kabul edilmektedir. Bu değerler için üçlü bulanık sınırlardan faydalanılmaktadır.

Kısıt katsayıları için, A=*(s, l ,r);*

Sağ taraf değişkeni için B=*(t, u, v)* bulanık sınırları kullanılmaktadır.

Modelin gösterimi:

$$
\begin{aligned}
& maks \textstyle\sum_{j=1}^{n} c_j x_j \\
& \textstyle\sum_{j=1}^{n} \langle s_{ij}, l_{ij}, r_{ij} \rangle x_{ij} \leq \langle t_{ij}, u_{ij}, v_{ij} \rangle \\
& x_{ij}, s_{ij}, l_{ij}, r_{ij}, t_{ij}, u_{ij}, v_{ij} \geq 0
\end{aligned}
\tag{2.31}
$$

Bulanık işlemler sonucunda elde edilen bulanık doğrusal model;

$$
\begin{aligned}
& maks \textstyle\sum_{j=1}^{n} c_j x_j \\
& \textstyle\sum_{j=1}^{n} s_{ij} x_j \leq t_i \\
& \textstyle\sum_{j=1}^{n} (s_{ij} - l_{ij}) x_j \leq t_i - u_i \\
& \textstyle\sum_{j=1}^{n} (s_{ij} + r_{ij}) x_j \leq t_i + v_i \\
& x_{ij}, s_{ij}, l_{ij}, r_{ij}, t_{ij}, u_{ij}, v_{ij} \geq 0
\end{aligned}
\tag{2.32}
$$

2.2.4 Zimmermann Yaklaşımı

Model diğerlerine nazaran çok daha az kısıt ile çalışmaktadır. Bütün değişken ve katsayılar bulanıktır ve simetrik bir yapı söz konusudur. Bu modelde de ortak bir doyum noktası belirlenmektedir. Zimmermann bulanık doğrusal modeline ait dönüşümler aşağıda yer almaktadır (Özkan, 2003: 166-171).

Bulanık doğrusal modelin başlangıç gösterimi:

$$c^T x \geq b_0$$
$$(Ax)_i \leq b_i \qquad 2.33$$
$$x \geq 0$$

Modeli simetrik forma getirebilmek için amaç fonksiyonunun her iki tarafı da “–“ ile çarpılmaktadır.

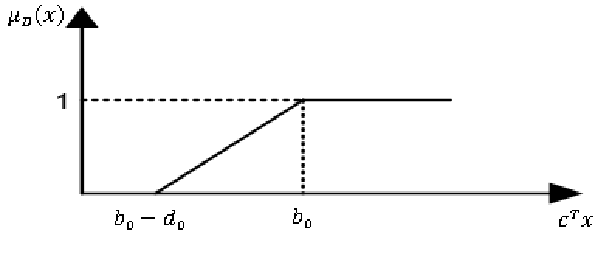
$$-c^T x \leq -b_0$$
$$(Ax)_i \leq b_i \qquad 2.34$$
$$x \geq 0$$

Bulanık tolerans değerleri olarak amaç fonksiyonu için *d₀* ve kısıtlar için d_i belirlendikten sonra üyelik fonksiyonları şu şekilde oluşmaktadır;

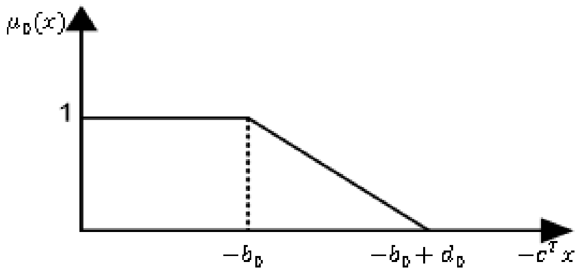
$$\mu_0(x) = \begin{cases} 0, & c^T x \leq b_0 - d_0 \\ 1 - \frac{b_0 - c^T x}{d_0}, & b_0 - d_0 \leq c^T x \leq b_0 \\ 1, & c^T x \geq b_0 \end{cases} \qquad 2.35$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 0, & (Ax)_i \geq b_i + d_i \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i}, & b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \\ 1, & (Ax)_i \leq b_i \end{cases} \qquad 2.36$$

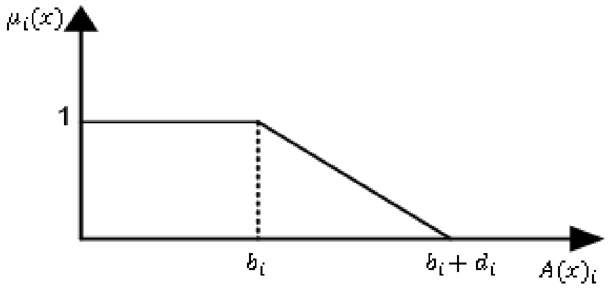
Üyelik fonksiyonlarına ait grafikler aşağıdaki gibidir



Şekil 2.2 $c^T x \geq b_0$ Eşitsizliği Üyelik Fonksiyonu (Özkan, 2003: 168)



Şekil 2.3 $-c^Tx \leq -b_0$ Eşitsizliği Üyelik Fonksiyonu (Özkan, 2003: 169)



Şekil 2.4 $(Ax)_i \leq b_i$ Eşitsizliğinin Üyelik Fonksiyonu (Özkan, 2003: 169)

Üyelik fonksiyonları neticesinde bulanık karar kümesi aşağıdaki fonksiyondan meydana gelmektedir;

$$\mu_D(x) = min[\mu_0(x), \mu_i(x)] \qquad 2.37$$

Bu kümenin en büyük elemanı doyum noktasını ifade etmektedir. Bu değere λ denilirse bulanık karar kümesi;

$$min[\mu_0(x), \mu_i(x)] = \mu_0(x) \cap \mu_i(x) = \lambda \qquad 2.38$$

halini almaktadır. Buradan hareketle bulanık doğrusal programlama modeli aşağıdaki hale gelmektedir.

$$\begin{aligned} &maks\ \lambda \\ &\mu_0(x) \geq \lambda \\ &\mu_i(x) \geq \lambda \\ &\lambda \epsilon [0,1] \end{aligned} \qquad 2.39$$

Üyelik fonksiyonları yerine yazıldıktan sonra modelin açık gösterimi;

$$\begin{aligned}
&maks\ \lambda \\
&1-\frac{b_0-c^Tx}{d_0}\geq\lambda \\
&1-\frac{(Ax)_i-b_i}{d_i}\geq\lambda \\
&\lambda\epsilon[0,1],\ \ x\geq 0
\end{aligned} \qquad 2.40$$

Nihai adımda modelin doğrusal forma getirilmiş hali aşağıda yer almaktadır:

$$\begin{aligned}
&maks\ \lambda \\
&c^Tx-\lambda d_0\geq b_0-d_0 \\
&(Ax)_i+\lambda d_i\leq b_i+d_i \\
&\lambda\epsilon[0,1] \qquad ,x\geq 0
\end{aligned} \qquad 2.41$$

2.2.5 Chanas Yaklaşımı

Model alışıldığın tersine kısıtlar ve amaç fonksiyonundaki maksimum ihlali minimize etmeye çalışmaktadır.

2.2.6 Carlsson ve Korhonen Yaklaşımı

Chanas yaklaşımındaki ihlaller arasında ödün olmadığının görülmesi üzerine geliştirilmiş üssel fonksiyonlu bir modeldir. Modeli doğrusal forma sokabilmek için ortak doyum noktasından faydalanılmaktadır.

2.3 Hedef Programlama

Hedef programlama çok amaçlı doğrusal programlama modelleri içerisinde en fazla faydalanılan tekniklerden biridir. Model, diğer çok amaçlı modellerin aksine optimum sonuca değil bütün kısıtların dahil olduğu uzlaşık çözüm sağlayacak ortak bir doyum noktasına ulaşmayı amaç edindiği için yapısal olarak farklıdır. İlk olarak Charnes ve Cooper (1961) 'ın formüle ettiği hedef programlama Ijini (1965), Lee (1972) ve Ignizio (1976) tarafından geliştirilmiştir (Kuruüzüm, 1998: 90).

Hedef programlamada birden fazla amaç ve kısıtlar kümesi yer almaktadır. Çoklu amaçların ulaşmak istediği çözüm noktası ise karar verici tarafından sağlanmaktadır. Dolayısıyla karar vericinin problem hakkında uzman ve tecrübeli olması modelin istenilen sonuçlara ulaşması açısından önemlidir (Mohamed, 1997: 219).

Belirlenen hedeflerden negatif ya da pozitif sapmalar olabilmektedir. Bu yüzden her bir amaç için negatif veya pozitif sapma değişkenleri tanımlanmaktadır. Sapma değişkenleri dahil edilmiş her bir amaç fonksiyonu da kısıt haline getirilmektedir. Bu aşamadan sonra yeni modelin amacı artık tanımlanmış sapmaların minimizasyonu olmaktadır. Kısıtlar kümesine dahil olan amaç fonksiyonlarının minimizasyon ya da maksimizasyon durumuna göre yeni amaç fonksiyonuna girecek sapma türleri (pozitif, negatif) belirlenmektedir. Eğer ele alınan amaç maksimizasyon ise ulaşılmak istenen çözümün belirlenen hedef düzeyinde ya da üzerinde olması istenmektedir. Bu sebepten yeni amaç fonksiyonuna negatif sapma dahil edilmektedir. Tersi durumda minimizasyon amaçlı bir fonksiyon için yeni amaç fonksiyonuna pozitif sapma değişkeninin girmesi gerekmektedir. Hedef tam olarak tutturulmak isteniyorsa da amaca ait her iki sapma değişkeni de yeni amaç fonksiyonu içerisinde yer almaktadır. Sapma değişkenleri her zaman pozitif veya 0 değerini almaktadır (Kuruüzüm, 1998: 94-96).

Çok amaçlı modellerde çözüm için amaçlar arasında öncelik sıralaması yapılmaktadır. Hedef programlamada bu öncelik sıralaması sözel olarak ifade edilebilmektedir. Bunun yanında önceliği yapılacak amaca ait sapma değişkenine atanacak bir ağırlık ile de söz konusu sıralama yapılabilmektedir. Ağırlık değerleri [0,1] sayı aralığında değer almaktadır fakat ağırlıkların toplam değerinin 1'e eşit olması gerekmektedir. Doğrusal çok amaçlı bir modelin hedefe programlama modeline dönüşümü aşağıda yer almaktadır (Öztürk, 2011: 241-242). Modelde P_k öncelik sıralamasını, a_{ik}^-, a_{ik}^+ değerleri hedeflerin sayısal ağırlıklarını, d_i^-, d_i^+ ise sapma değişkenlerini ifade etmektedir. Kısıttaki t_{ij}, i. hedef ve x_j ile ilişkili teknoloji katsayısıdır.

$$
\begin{aligned}
& \min z = \sum_{k=1}^{k} \sum_{i=1}^{I} P_k (a_{ik}^+ * d_i^+ + a_{ik}^- * d_i^-) \\
& \sum_{j=1}^{n} t_{ij} x_j - d_i^+ + d_i^- = b_i \qquad 2.42 \\
& x_j \geq 0, \\
& d_i^- \geq 0 \\
& d_i^+ \geq 0
\end{aligned}
$$

2.4 Bulanık Hedef Programlama

Bulanık hedef programa, hedef programlamanın bir uzantısıdır fakat farklı olarak hedeflerin erişim düzeyinin ve ağırlıklarının kesin olarak nitelenmesine ihtiyaç duymamaktadır. Amaç, kesin bir sonuca ulaşmaktan çok yeterli doyum noktasına ulaşmaktır. Karar verici hedefleri ifade ederken kesin değerler belirtmeyebilir. Bu değerler dilsel değişkenler vasıtasıyla bulanıklaştırılarak üyelik fonksiyonu içerisine dahil edilmektedir.

Bulanık hedef programlamada çok sayıda üyelik fonksiyonu bulunmaktadır: Üçgensel, yamuksal, vb.

Üyelik fonksiyonları yoluyla amaçların ve kısıtların bulanıklaştırılması sonucunda bulanık hedef programlama modelinde yeni kısıt takımları meydana gelmektedir. Fakat belirtilen hedef sınırları veya parametrelerdeki farklılıklardan dolayı çözüm teknikleri de değişebilmektedir. Bulanık hedef programlama modellerinde genel olarak Zimmermann üyelik fonksiyonunun kullanıldığı görülmektedir. Bu alanda geliştirilen farklı yaklaşımlar aşağıda verilmiştir (Özkan, 2003: 183-253):

2.4.1 Narasimhan Yaklaşımı

Modelin amacı üyelik derecesi en yüksek olan elemanı (λ) belirlemektir. Bu doğrultuda [0,1] üyelik derecesi aralığında artan ve azalan iki ayrı fonksiyon oluşturulmaktadır. Dolayısıyla ulaşılmak istenen "n" sayıdaki hedef için "2^n" adet alt problem meydana gelmektedir. İki alt problemin bir araya getirilmesi sonucu oluşan model:

$$\begin{aligned}
&\text{maks}\,\lambda \\
&1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} \geq \lambda \\
&b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i \\
&1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} \geq \lambda \\
&b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \\
&\lambda \in [0,1] \\
&x \geq 0
\end{aligned} \tag{2.43}$$

2.4.2 Hannan Yaklaşımı

Hannan simetrik üçgensel üyelik fonksiyonuna uyan "n" adet hedef için oluşturulan 2^n alt problemi tek bir modelde toplamıştır. Hannan probleminin çözümü için modele p_i; pozitif sapma değişkeni ve n_i; negatif sapma değişkenleri dahil edilmiştir. Amaç yine λ' nın doyurulma derecesinin maksimizasyonudur ama sapma değişkenleri λ' nın önüne engelleyici olarak konulmaktadır. Model:

$$\begin{aligned}
&maks\,\lambda \\
&\frac{(Ax)_i}{d_i} + n_i - p_i = \frac{b_i}{d_i} \\
&\lambda + n_i + p_i \leq 1 \\
&n_i * p_i = 0
\end{aligned} \tag{2.44}$$

$n_i, p_i \geq 0$

$\lambda \in [0,1]$

2.4.3 Yang, Ignizio ve Kim Yaklaşımı

Hannan modelinden farklı olarak, $(Ax)_i = b_i$ eşitsizliği "≤" ve "≥" şeklinde parçalanarak iki eşitsizlik halinde modele dahil edilmiştir. Bu modelde aralıkların eşit büyüklükte olması şartı yoktur. Model:

$$\begin{aligned}
&maks\,\lambda \\
&1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_{i_1}} \geq \lambda \\
&1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_{i_2}} \geq \lambda \\
&\lambda \in [0,1] \\
&x \geq 0
\end{aligned} \tag{2.45}$$

2.4.4 Twari, Dharmar ve Rao Yaklaşımı

Narasimhan yaklaşımında kurulan model ve uygulanan yöntem aynen kullanılmıştır. Burada tercih önceliği söz konusu olmaktadır. Önceliği olan hedefin λ değeri doyurucu olduğu durumda hedef kısıt olarak modele girmektedir.

2.4.5 Chen Yaklaşımı

Model, Twari, Dharmar ve Rao modeli gibi tercih önceliklidir fakat çok daha etkindir. Bu yaklaşımda diğerlerinde olan bulanık hedeflerin üyelik derecelerinin maksimize edilmesi değil fonksiyonun dışında kalan sapmaların (λ') minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Benzer olarak tercih önceliği olan hedef ilk olarak modele girmekte ve hedefe ulaşılmışsa diğer hedefler için kısıt haline getirilmektedir. Model:

$$\begin{aligned}
&\text{maks}\,\lambda = 1 - \lambda' \\
&\lambda' \geq \left[1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i}\right] - 1 \\
&\lambda' \geq 1 - \left[1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i}\right] \\
&b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \\
&\lambda' \in [0,1] \\
&x_i \geq 0
\end{aligned} \tag{2.46}$$

2.4.6 Twari, Dharmar ve Rao Toplamsal Modeli

Önceki yaklaşımlarda, tüm hedeflerin doyum noktasının aynı olduğu kabul edilerek bu noktanın en iyilenmesine odaklanılmıştır. Tercih öncelikli bulanık hedef programlarında ise hedeflerin farklı doyum noktalarına ulaşmaları sağlanmaktadır. Bu iki durumun aksine toplamsal model yaklaşımında hedeflerin ortak doyum derecelerinin belirlenmesi yerine tekli doyum derecelerinin maksimizasyonu amaçlanmaktadır. Eğer hedeflere dair öncelikler de var ise amaç fonksiyonunda ilgili değişkene uygun ağırlık verilerek söz konusu ilişki kurulmaktadır. Modelin gösterimi:

$$\begin{aligned}
&maks\, v(\mu) \textstyle\sum_{i=m_2+1}^{m_3} v_i \mu_i \\
&\mu_i = 1 - \tfrac{(Ax)_i - b_i}{d_i} && (i = \mu_1 + 1, \dots, \mu_2) \\
&\mu_i = 1 - \tfrac{b_i - (Ax)_i}{d_i} && (i = \mu_2 + 1, \dots, \mu_3) \\
&\mu_i \leq 1 && (i = \mu_1 + 1, \dots, \mu_3) \\
&x, \mu_i \geq 0
\end{aligned} \tag{2.47}$$

2.4.7 Chen ve Tsai Toplamsal Modeli

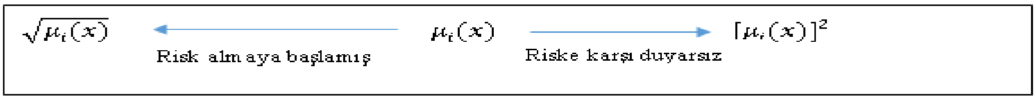
Bu modelde farklı olarak tercih önceliği olan hedefin üyelik derecesinin de en iyilenmesi amaçlanmaktadır. Dolayısıyla modele $\mu_i > \mu_j$ formatında ek bir kısıt eklenmektedir (Chen ve Tsai, 2001). Üyelik fonksiyonları Zimmermann yaklaşımı doğrultusunda oluşturulmaktadır.

$$\begin{aligned}
&maks\, v(\mu) \textstyle\sum_{i=m_2+1}^{m_3} v_i \mu_i \\
&\mu_i = 1 - \tfrac{(Ax)_i - b_i}{d_i} && (i = \mu_1 + 1, \dots, \mu_2) \\
&\mu_i = 1 - \tfrac{b_i - (Ax)_i}{d_i} && (i = \mu_2 + 1, \dots, \mu_3) \\
&\mu_i \leq 1 && (i = \mu_1 + 1, \dots, \mu_3) \\
&\mu_i \geq \mu_j && i \neq j \\
&x, \mu_i \geq 0
\end{aligned} \tag{2.48}$$

2.4.8 Wang ve Fu Risk Parametreli Üyelik Fonksiyonu Modeli

Üçgensel üyelik fonksiyonuna dayalı modeller ile toplamsal modellerde bulanık hedeflerin erişim düzeyleri, erişim düzeylerine tanınan tolerans payları, hedefler arası öncelik ilişkileri ve önceliğe göre bulanık hedeflerin ağırlıklandırılması ön plana çıkmaktadır. Bu yaklaşımda ise ek olarak risk faktörü de ele alınmaktadır. Bu durumda karar vericinin göze aldığı risk miktarı arttıkça doyum derecesinin azalması gerekir. Dolayısıyla riskten kaçan bir karar vericinin sağladığı doyumun riski seven bir karar vericinin sağladığı doyumdan büyük olması beklenmektedir (Wang ve Fu, 1997).

Wang ve Fu risk-üyelik fonksiyonu ilişkisini şöyle ifade etmektedir:



Şekil 2.5 Üyelik Fonksiyonu-Risk İlişkisi

Yaklaşımda tercih önceliğinin sağlanabilmesi için modele aşağıdaki kısıtlar dahil edilmektedir.

$$\begin{aligned} &\mu_k\lambda' + \lambda_k \geq 1 \\ &\mu_k\lambda' + \lambda \leq 1 \end{aligned} \tag{2.49}$$

Burada μ_k bir çeşit ceza katsayısıdır. Buna göre tercih önceliği olan hedefin ceza katsayısı (μ_k) daha düşüktür.

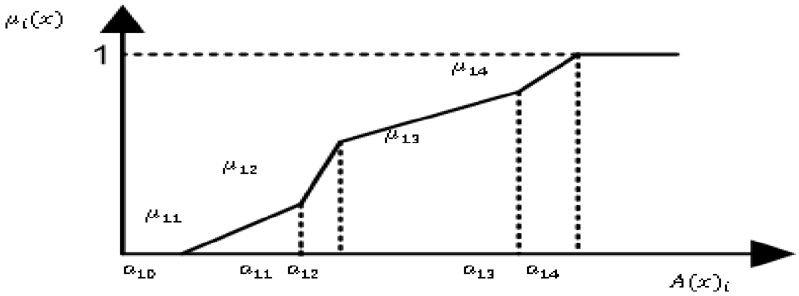
$$\begin{aligned} &\text{maks}\ \lambda \\ &\left(1 - \frac{b_{i_1}^k - (Ax)_i^k}{d_{i_1}^k}\right)^{\delta} \geq \lambda_k \quad ; \quad i = 1,2 \ldots m_1, m_2 + 1, \ldots., m_4 \\ &\left(1 - \frac{(Ax)_i^k - b_{i_2}^k}{d_{i_1}^k}\right)^{\delta} \geq \lambda_k \quad ; \quad i = 1,2 \ldots m_2, m_3 + 1, \ldots., m_4 \\ &\mu_k\lambda' + \lambda_k \geq 1 \\ &\mu_k\lambda' + \lambda \leq 1 \\ &\lambda, \lambda', \lambda_k \leq 1 \\ &x, \lambda, \lambda', \lambda_k \geq 0 \end{aligned} \tag{2.50}$$

2.4.9 Parçalı Üyelik Fonksiyonlu Hannan Modeli

Parçalı üyelik fonksiyonu hedefin üzerindeki ve altındaki noktaların da belirli üyelik derecelerine imkan sağlamaktadır. Yani hedef belirli aralıklarla ifade edilebilmektedir. Hannan yaklaşımında üyelik fonksiyonları sadece iç bükey olarak oluşturulmaktadır. Her bir üyelik fonksiyonu için regresyon modeli benzeri alt ve üst sınırlar belirlenmektedir.

2.4.10 Parçalı Üyelik Fonksiyonlu Yang, Ignizio ve Kim Modeli

Hannan modelinde sadece iç bükey üyelik fonksiyonları için işlemler yapılabilmektedir. Bu modelde ise işlem bir adım ileriye götürülerek hem dış bükey hem de iç bükey ve dış bükeyden oluşan “S” biçimli üyelik fonksiyonları için çözüm üretilebilmektedir. Eğer dış bükey bir hat oluşturuyorsa [0,1] tam sayılı değişkenlerden faydalanılmaktadır. Yaklaşımda iki üyelik fonksiyonu hattı birleşimi iç bükey ise “∩ ", dış bükey ise “∪” işlemine tabi tutulmaktadır.



Şekil 2.6 Parçalı Üyelik Fonksiyonu (Lin, 2004: 408)

Şekil 2.6’ daki üyelik fonksiyonu denklem 2.51’ deki gibi ifade edilmektedir.

$$\mu_1 = (\mu_{11} \cup \mu_{12}) \cap (\mu_{13} \cup \mu_{14}) = \min[maks(\mu_{11} \cup \mu_{12}), maks(\mu_{13} \cup \mu_{14})] \quad (2.51)$$

Bulanık hedef programlama esnek, duruma kolayca uyarlanabilir ve çok amaçlı yapısı nedeniyle çoklu ölçüt barındıran problemlerin çözümünde de sıklıkla kullanılan bir tekniktir. Tablo 2.1’de bulanık hedef programlamanın faydalanıldığı bazı problem çeşitleri yer almaktadır.

Tablo 2.1 Bulanık Hedef Programlamanın Faydalanıldığı Çeşitli Problemler

No	Yazarlar	Bulanık Hedef Programlamanın Kullanım Alanı
1	Chang ve Wang (1997)	Katı atık tesis yeri için en uygun noktanın belirlenmesi
2	Arıkan ve Güngör (2001)	Gerçek bir proje şebekesinde minimum tamamlanma zamanı ve sıkıştırma maliyetlerinin optimizasyonu
3	Parra vd. (2001)	Portföy seçimi
4	Kumar vd. (2004)	Tedarik zincirlerinde tedarikçi seçimi
5	Biswas ve Pal (2005)	Tarım alanlarının planlanması
6	Chen ve Weng (2006)	Kalite süreçlerinin üretim süreçlerine adaptasyonu
7	Wahed ve Lee (2006)	Çok amaçlı taşıma problemleri
8	Chan ve Swarnkar (2006)	Esnek üretim sistemlerinde malzeme seçimi ve iş atama problemlerinin çözümü
9	Araz vd. (2007)	Acil hizmet sistemlerinde araç yeri seçimi
10	Tsai ve Hung (2009)	Aktivite tabanlı maliyetlendirme ve performans değerlendirmesi doğrultusunda yeşil tedarik zinciri optimizasyonu
11	Özcan ve Toklu (2009)	Çift taraflı montaj hattının dengelenmesi
12	Jamalnia ve Soukhakian (2009)	Farklı öncelikler doğrultusunda üretim planının oluşturulması
13	Liang (2010)	Belirsiz çevresel şartlar doğrultusunda çoklu kararlar içeren projelerin yönetimi
14	Saghaei ve Didehkhani (2011)	Altı sigma projelerinin seçim ve değerlendirilmesi
15	Zarandi vd. (2011)	Kapalı döngü tedarik zincirinin tasarlanması

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
GERİ DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİR ATIK KUTULARININ YERLEŞİMİNE YÖNELİK UYGULAMA

Yer seçimi kararları değiştirilmesi oldukça zor ve yüksek maliyetli olan stratejik kararlardır. Bu tarz problemlerde talebe, hammaddeye, işgücüne yakınlık, taşıma mesafeleri ve maliyetler gibi bir çok farklı kriter birer karar değişkeni olabilmektedir. Bu çalışmada küçük ölçekli bir yer seçimi problemi incelenmiş, Konyaaltı Belediyesi Siteler Mahallesi içerisinde Geri Dönüştürülebilir Atık Kutularının yerleşimi ele alınmıştır.

3.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi

Toplumlardaki artan endüstriyel tüketim trendi, atık sorununu da beraberinde getirmektedir. Bilinçsizce doğaya atılan atıkların yok olması çok uzun zaman almakta, bu unsurlardan kaynaklı sorunların bertaraf edilmesi maliyet yaratmaktadır. Kişilerin çevre bilincinin gelişmesi, daha yaşanılabilir ortam beklentileri bunun yanında sanayi kuruluşlarının rekabet unsuru olarak girdi maliyetlerini düşürmek istemesi, devlet düzenlemelerine uyma zorunlulukları, toplum ve sanayi açısından atık yönetimine olan hassasiyeti artırmaktadır. Ülkemizde, devlet özellikle kullanım ömrünü doldurmuş cihazlar konusunda firmaları sorumlu tutarken, evsel atıkların toplanması için de yerel yönetimlere yetki vermektedir.

Atık yönetiminin önemini artıran bir diğer gelişme de atığa olan bakış açısındaki değişimdir. Atık önceleri yok edilmesi gereken bir unsur iken artık katma değeri olan bir varlık haline gelmiştir. Cam, kağıt, teneke türü malzemeleri hammaddeden üretmek, kullanılmış ürünün yeniden dönüştürülmesine oranla çok daha maliyetlidir. Dolayısıyla bu atıkları toplamak da başlı başına bir iş kolu haline gelmiştir.

Atık yönetimine olan ilgi alanının dünden bugüne genişlemesi akademik çevrelerin de dikkatini çekmiştir. Literatüre bakıldığında atık yönetiminde yer seçimi problemleri söz konusuysa daha çok nihai depolama alanı, ara depolama alanı, zararlı tesis bölgeleri, bertaraf ve dönüştürme merkezleri gibi makro boyuttaki tesislerin yerleşim noktalarının tespitine odaklanılmaktadır (Chang, vd., 1997; Alumur, vd., 2007; Samanlioğlu, 2013). Araştırmaların, değiştirilmesi büyük maliyetlere yol açacak bu tür stratejik kararlar üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

Yerleşim kararının bölgesel düzeyde incelendiği bu çalışmada geri dönüştürülebilir atık kutularının bölge içerisinde daha önce tespit edilen noktalardan hangilerine konulabileceğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Geri dönüştürülebilir atık kutularının doğru yerlere konulması birçok husus açısından önemli görülmüştür. Zira bu şekilde daha çok insanın kutulardan faydalanılması sağlanırken, aradaki mesafelerin en kısa olmasından dolayı atıkların toplanılmasının çok daha az maliyetli olarak gerçekleştirileceği düşünülmüş, kutular arasındaki akışın kısa ve bir rota dahilinde olması sonucu atıkların çok daha hızlı toplanması yoluyla çevresel duyarlılığa da katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

3.2 Çalışmanın Kapsamı

Atık yönetimi konusunda Antalya Büyükşehir Belediyesine bağlı belediyeler etkin çalışmalar yürütmüşlerdir. Özellikle Konyaaltı Belediyesi bu alanda 2008 yılında başlattığı çalışmalarla öne çıkmıştır. Atığın kaynağından toplanılabilmesi için tasarladıkları entegre atık konteyner sistemi ile ayrı ayrı olarak ambalaj, bitkisel atık yağlar, atık piller, atık elektrikli cihazların biriktirilmesi sağlanmıştır. 2008'den bu yana belediye sınırları içerisinde toplamda 300'e yakın noktaya entegre atık konteyner sistemi konulmuştur (www.konyaalti.bel.tr). Konteynerlerin yerleri ise herhangi bir yerleşim planı çerçevesinde belirlenmemiştir.

Atıkların toplanılması için orta büyüklükteki kamyonlardan faydalanılmaktadır. Kamyonların her mahalleye haftada iki gün, yoğun mahallelere ise bu rutinin dışında biraz daha sık uğraması kararlaştırılmıştır. Kamyonların hareketleri uydu bağlantılı araç takip sistemleri ile izlenmektedir. Bu sayede karşılaşılan herhangi bir aksaklığa müdahale edilebilmektedir. Fakat araçların takip edeceği herhangi bir rota tanımlaması yapılmamıştır. Araç herhangi bir mahallede atık toplama faaliyetini gerçekleştirirken mesafe hesabı yapılmaksızın ihtiyaç olduğu düşünülen diğer bir bölgeye keyfi olarak kaydırılabilmektedir. Araçların akaryakıt vb. maliyet giderleri kayıt altında tutulmaktadır. Günlük akaryakıt girdileri kontrol edilmektedir.

Atıkların toplandığı nihai bir tesis bulunmaktadır. Fakat gerek arazinin çok değerli olması gibi maliyet kalemleri, gerekse de koku ve çevre temizliği gibi toplumsal hassasiyetlerden dolayı ara tesis kurulumu belediye tarafından olası görülmemektedir.

Bölgeler bazında toplanan atık oranlarına kesin olarak ulaşılamamaktadır. Her kamyon yeterli doluluğa ulaştıktan sonra nihai tesise ulaşınca kantara sokulmaktadır. Fakat kamyonun takip ettiği bir rota olmadığı için nereden ne miktarda atık toplandığı bilinememektedir.

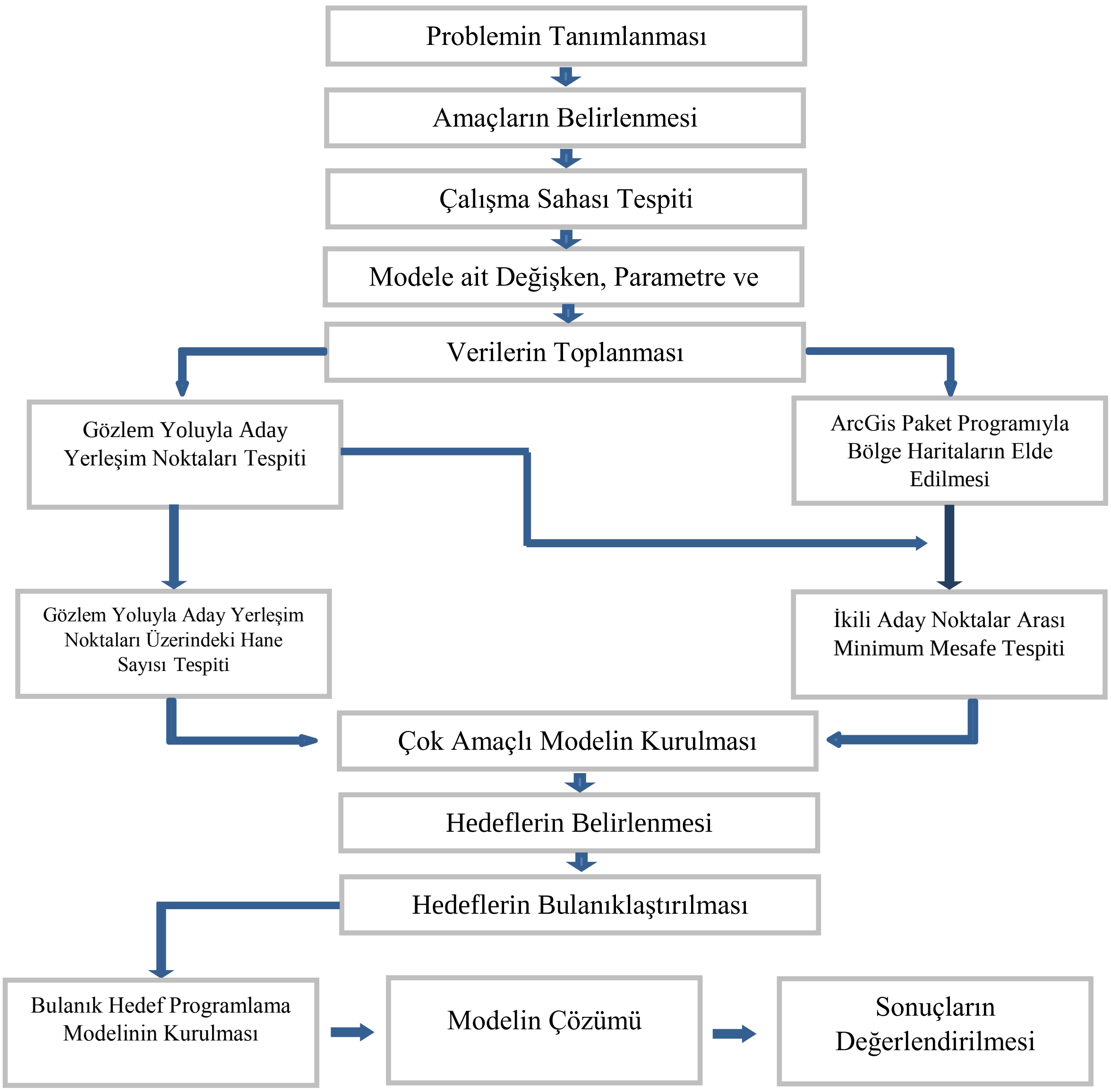
Geri dönüştürülebilir atık kutularından faydalanılacak kişi sayısını bölgeler bazında tespit etmek de oldukça zordur. İkincil veri olarak mahalle seviyesindeki nüfus bilgisine ulaşılabilmektedir.

Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü belediye sınırları içerisindeki park, semt pazarı ve dinlenme alanları gibi kamu bölgelerinin her birine ayırt etmeksizin en az bir tane entegre atık konteyner sistemi konulmasını uzun dönemli planlamaları içerisine dahil etmektedir.

Atık toplama konusunda teşvikler de bulunmaktadır. ÇEVKO şirketlere sattığı ürünler sonrası ortaya çıkan ambalaj ve diğer atıklarının belli bir kota oranında toplanılmasını şart koşmaktadır. Bu kota dahilinde şirketlere teşvikler vererek ekstra gelir elde etmelerini sağlamaktadır (www.cevko.org.tr/images/stories/mevzuat/cevre_kanunu.pdf).

Çalışma kapsamında Konyaaltı Belediyesi Siteler Mahallesi pilot bölge olarak ele alınmış ve bu mahallede kamu alanları dışındaki yerleşim birimleri için entegre geri dönüştürülebilir atık kutuları yerleşim noktalarının tespit edilmesi ve bu noktalar içerisinden belirlenen amaçlar ve bu amaçları kısıtlayan kriterler doğrultusunda en uygun noktaların seçilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma Şekil 3.1 deki akış doğrultusunda planlanmış ve faaliyetler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1 Çalışmada İzlenen Akış

3.3 Problemin Tanımlanması

Geri dönüştürülebilir atık kutularının yerleşimine dair var olan sisteme yönelik çerçeve oluştuktan sonra çözümün temelde iki ana amaca hizmet etmesi gerektiği görülmüştür.

Çalışmanın varsayım ve hedefleri Konyaaltı Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürü ile karşılıklı yapılan görüşmeler doğrultusunda ortaya konulmuştur. Buradan hareketle kutuların yerleşim yerlerinden iki ana beklenti bulunmaktadır:

i. Geri dönüştürülebilir atık kutuları öyle noktalara yerleştirilmelidir ki mümkün olduğunca fazla kişi bu kutulardan faydalansın.

ii. Bu yerleşim sonucunda kutular arasındaki mesafeyi minimum yapacak şekilde toplayıcı araçların takip edeceği bir rota oluşsun.

Kutuların yerleşim noktalarındaki belirleyici unsurun hizmet sağlayacağı kişi sayısının fazla olması gerekli gibi görülse de kutular arasındaki mesafelerin minimum seviyede olması da mali ve çevresel bir unsur olarak toplumu etkilemektedir. Bu sayede belediye taşıma giderlerinden ve taşıma zamanından tasarruf edebilecektir. Aynı zamanda bir rota dahilinde rutin olarak atıkların daha hızlı ve düzenli olarak toplanması sağlanacaktır. Sonuçta doğrudan ve dolaylı olarak toplum refahına katkı sağlamak amaçlanmaktadır.

Mümkün olduğunca çok kişiye ulaşım amacı sonrası Konyaaltı Belediyesi sınırları içerisindeki yerleşim birimleri düzeyinde demografik verilere ihtiyaç duyulmuştur. Her bir hanedeki nüfus ve hane başına ortaya çıkan atık miktarı temel parametreler olarak belirlenmiştir. Fakat çeşitli devlet kuruluşlarından elde edilebilecek bu ikincil verilere ulaşım oldukça zordur.

İkinci amaç neticesinde belediye sınırları içerisinde belirlenen noktalar arasındaki en kısa yolun bilinmesi gerekmektedir. Harita bölümünde ise yollar ve bağlı olduğu bölgeler üzerinde herhangi bir metrik çalışma bulunmamaktadır. Eldeki harita ve bazı veriler de şebeke kurmak için yeterli görülmemiştir.

Uygulamanın ön hazırlık kısmındaki bu olumsuz tablo karşısında sahaya inerek birincil verilerle çalışmaya karar verilmiştir. Uygulamanın yapılacağı Siteler Mahallesinde adalar üzerinde büyük oranda site yerleşimi yer almaktadır. Uygulama sahası tespit edildikten sonra yapılan varsayımlar ile problemin sınırları ortaya konulmuştur. Bu varsayımlar:

- Siteler mahallesi içerisinde her bir ada üzerinde yaklaşık bir site bulunmaktadır. Şebeke oluşturulduktan sonra aday bölgeler her bir sitenin orta noktası kabul edilmiştir. Fakat noktalar arasındaki mesafe tespitinin doğruluğu açısından siteler içerisindeki orta noktalar site girişlerine yakın tahsis edilmiştir.
- Site içerisine konan kutudan sadece o site içerisindeki kişiler faydalanabilmektedir.

- Siteler mahallesinde yapılan saha çalışması sonucunda 29 adet aday nokta tespit edilmiş bu noktalara ek olarak seçimi zorunlu bir başlangıç noktası belirlenmiştir. Başlangıç noktası için kamyonun çıkış ve dönüş yaptığı nihai depolama alanını temsil ettiği varsayımı yapılmıştır. Toplamda bu 30 noktadan başlangıç noktası ve aday 9 nokta ile beraber 10 noktanın seçilmesi hedeflenmiştir.
- Pazar yeri, park vb. kamu bölgeleri çalışma kapsamının dışında tutulmuştur. Dolayısıyla bu bölgeler rotaya dahil edilmemiştir.
- Bölgelerde hizmet verilecek kişi sayısına ulaşılamadığı için site içerisindeki toplam hane sayısı birinci amaç için temel parametre kabul edilmiştir.
- 9 noktaya kutu konulacağı varsayımından hareketle toplayıcı kamyonun kapasitesi aşılmayacağından araç kapasiteleri dahil edilmemiştir.
- Araçlar nihai tesislerden hareket etmektedir. Fakat mahalle için oluşturulan şebekeye nihai tesis alınamadığından araçların hareketini başlatacağı zorunlu bir başlangıç noktası ataması yapılmıştır. Araçlar hareketine bu noktadan başlayarak yine bu noktaya dönmektedirler.
- Araçlar çözüm sonucunda seçilen noktalardan her seferinde bir kez geçmekte ve geri dönmemektedir. Bu sayede bir rota içerisinde araç hareket döngüsü tamamlanmaktadır.
- Kutuların yerleşim vb. sabit maliyetleri göz ardı edilmiştir.
- İkinci amaç için hareket sırasında ortaya çıkan dur-kalk vb. taşıma maliyetlerinden ziyade kutular arası mesafe minimizasyonu hedeflenmiştir.

Varsayımlar doğrultusunda seçilecek noktaların minimum mesafeli bir rota içerisinde olması ve maksimum sayıda haneye hizmet etmesi istenmiştir. Yerleşim kararının 0-1 tamsayılı değişkenler vasıtasıyla sağlandığı göz önüne alındığında problemin karışık tamsayılı çok amaçlı bir yerleşim-rotalama problemi olduğu görülmüştür.

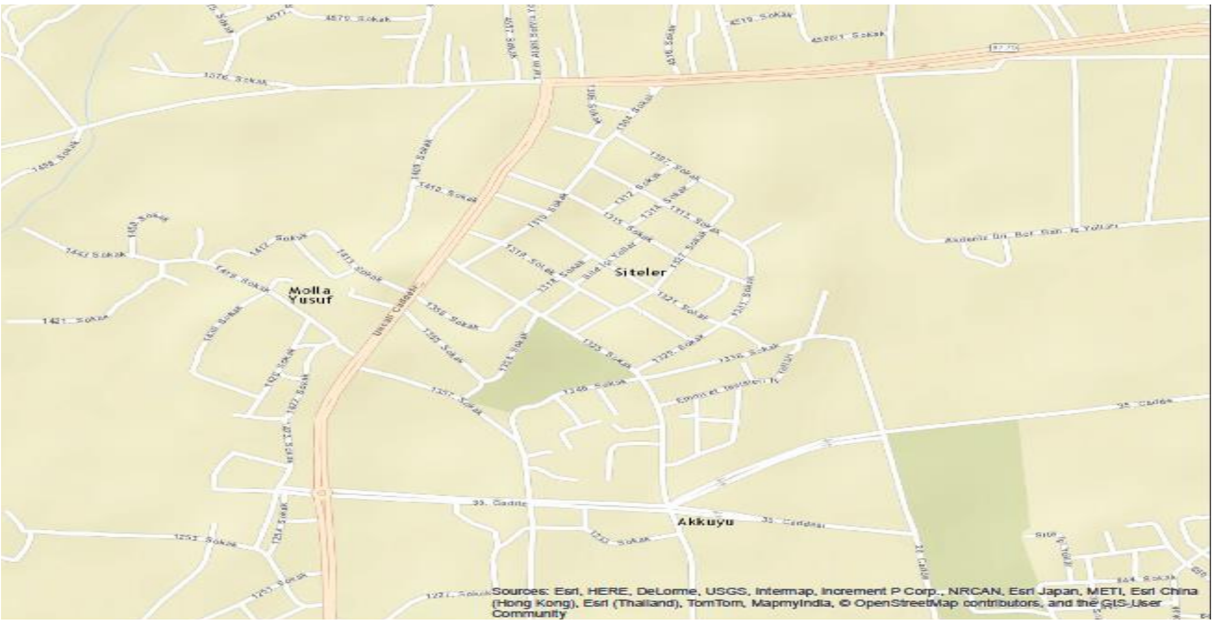
3.4 Verilerin Toplanması

Belirlenen hedeflere ulaşabilmek için temelde iki veri setine ihtiyaç duyulmuştur. Bunlar:

i. Belirlenen noktalar üzerinde yer alan siteler içerisindeki toplam hane sayısı

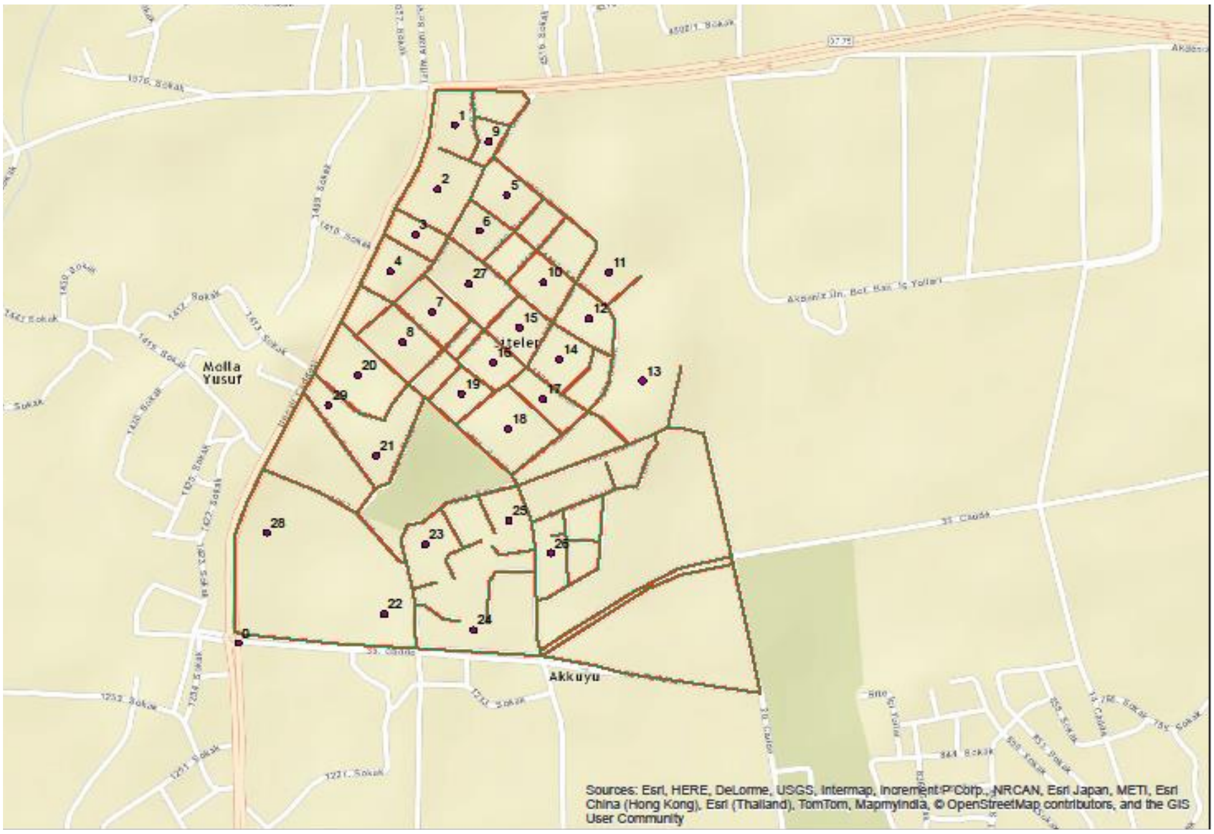
ii. Belirlenen noktalar arasındaki en kısa yol mesafesi

Buradan hareketle söz konusu veri setinin elde edilebilmesi için saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Gerek gözlem için ihtiyaç duyulan haritaların sağlanması gerekse de noktalar arası en kısa yolun belirlenmesi için bir Coğrafik Bilgi Sistemi programı olan ArcGIS 10.2.2 (Deneme Sürümü) paket programından faydalanılmıştır. Harita 3.1'de Siteler mahallesinin adalar bazında bölümü ve çevresindeki diğer mahalleler ile olan sınırlarının görünümü yer almaktadır. Siteler mahallesinin adalara göre uydu görüntüsü ise Harita 3.2’ de görülmektedir. Mahalle içerisinde ki site yapılaşması ve parselizasyon uydu görüntülü harita yoluyla tespit edilmiştir. Haritalardan da anlaşılacağı üzere Siteler Mahallesi adalar üzerindeki sitelerden oluşmaktadır. Bu sitelerin yol, duvar, tel, çit vb. ayırıcı unsurlar nedeniyle birbirleri ile etkileşimi kesilmiştir. Dolayısıyla bir ada üzerindeki geri dönüştürülebilir atık kutusundan sadece o ada üzerindekilerin faydalanması geçerli bir varsayımdır. Ayrıca bazı adalar üzerinde herhangi bir yapı bulunmamaktadır. Dolayısıyla buralardaki talep sıfır olarak kabul edilmiştir. Bu aşamadan sonra üzerinde site olan adalar yerinde incelenmiştir. Harita 3.3’ de yapılan tespit çalışmasından sonraki aday yerleşim noktaları görülmektedir.



Harita 3.1 Siteler Mahallesi Sınırları

Harita 3.2 Siteler Mahallesi Dolu Uydu Görünümü



Harita 3.3 Aday Yerleşim Noktaları

Harita üzerindeki noktalar o ada içerisinde bulunan sitelerin orta noktalarını ifade etmektedir. Her bir noktanın talep verisini noktaların temsil ettiği adadaki toplam hane sayısı oluşturmaktadır. Bu veri site yöneticileri ve görevlileri ile yapılan görüşmelerden elde edilmiştir. Tablo 3.1' de yerleşim noktaları, bu noktalar üzerindeki siteler ve toplam hane sayıları yer almaktadır.

Belirlenen amaçlar doğrultusunda ikinci adımda ikili noktalar arasındaki mesafe veri setine ihtiyaç duyulmuştur. Ölçeklendirilmiş harita üzerinden iki nokta arasındaki kuş uçuşu mesafe bulunabilmektedir. Fakat eldeki gerçek problemde çoklu yollar kavşaklar vasıtasıyla birleşerek bir şebeke oluşturmaktadır. Bu durumda ikili noktalar arasında, alternatif yollar içerisindeki en kısa yolun bulunması gerekmektedir. Bu hesaplamanın yapılabilmesi için ArcMap vasıtasıyla uydudan elde edilen mevcut harita uygun koordinatlar üzerinde tanımlanmıştır. Daha sonra koordinatlı haritada her bir yol üzerinden çizgi geçirilerek haritadaki yolların sayısallaştırılması sağlanmıştır.

Tablo 3.1 Siteler Mahallesinde Siteler Bazındaki Toplam Hane Sayısı

Yerleşim Noktası	**Hane Sayısı**	**Site ismi**	**Yerleşim Noktası**	**Hane Sayısı**	**Site ismi**
1	174	Karasaç Sitesi	**16**	134	Işılay Sitesi
2	294	Erenköy Sitesi	**17**	147	Çoklu Apartman
3	80	Erdem Sitesi	**18**	475	Armağankent Sitesi
4	192	Fazilet Sitesi	**19**	110	PTT Sitesi
5	140	Palmiye-Doğa Sitesi	**20**	360	Mevlana Sitesi
6	117	Mustafa Kartal Sitesi	**21**	80	Eğitimciler Sitesi
7	168	Tosun-Yeşildeniz Sitesi	**22**	128	Defne Konutları
8	176	H.Kartal-Atıl Sitesi	**23**	280	Konyaaltı Sitesi
9	106	Çoklu Apartman	**24**	300	Akdeniz Konutları
10	148	Tuncaylar-Elit Sitesi	**25**	94	Çoklu Apartman
11	110	Seren Sitesi	**26**	230	Emniyet Lojmanları
12	95	Çilem Sitesi	**27**	46	Çoklu Apartman
13	377	Yeşilyurt Sitesi-Noter Evleri Sitesi	**28**	60	Hatice Hatun-Karaca Sitesi
14	132	Mavitek Sitesi	**29**	60	G. Akdeniz Sitesi
15	157	Gülşah Sitesi			

Alternatif yollar arasından en kısa yolun bulanabilmesi için ArcGIS Network Analyst aracından faydalanılmıştır. Bu modül çıkış-varış noktaları maliyet analizi, çoklu rotalama, en yakın tesis tespiti vb. daha bir çok şebeke problemi için eldeki şebeke veri setinden hareketle uygun çözümler sunmaktadır. ArcGIS Network Analyst yoluyla yapılabilecek analizlerden bazıları şunlardır (wiki.gis.com/wiki/index.php/ArcGIS_Network_Analyst):

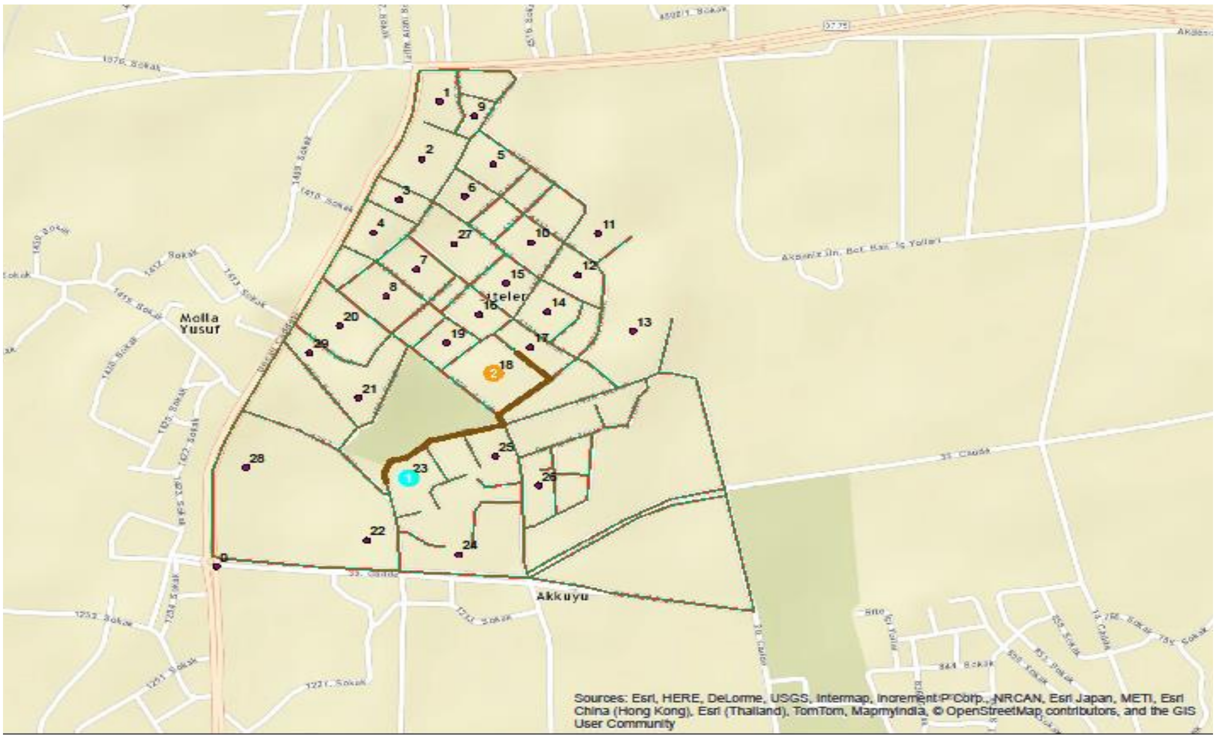
- Hareket süresi analizi
- Noktadan noktaya rotalama
- Filo rotalama
- Rota yönlendirme
- Hizmet alanı tanımlaması
- En kısa yol analizi
- Optimum rota analizi
- En yakın tesis analizi
- Çıkış varış noktaları analizi

Farklı navigasyon uygulamalarında belirlenen noktalar arasındaki mesafenin bulunması için aday noktaların yol üzerinde olması gerekmektedir. Çalışmada belirlenen noktalar adaların ortasındadır. Fakat bu durum diğer navigasyon uygulamalarının aksine ArcGIS Network Analyst için sorun teşkil etmemektedir. Modül, hareket başlangıcını aday noktanın yola en yakın yerinden bir başka deyişle yol üzerinden kabul etmektedir. Bu durum aslında gerçekle örtüşmektedir. Çünkü araçların geri dönüştürülebilir atık kutularındaki atıkların alınması için site içerisine giriş gerçekleştirmeleri mümkün değildir. Site içerisinden yola taşıma işlemini görevli gerçekleştirecektir. Dolayısıyla araç hareketi dahilinde olmayan bu hareketin ihmal edilmesi yerinde görülmüştür.

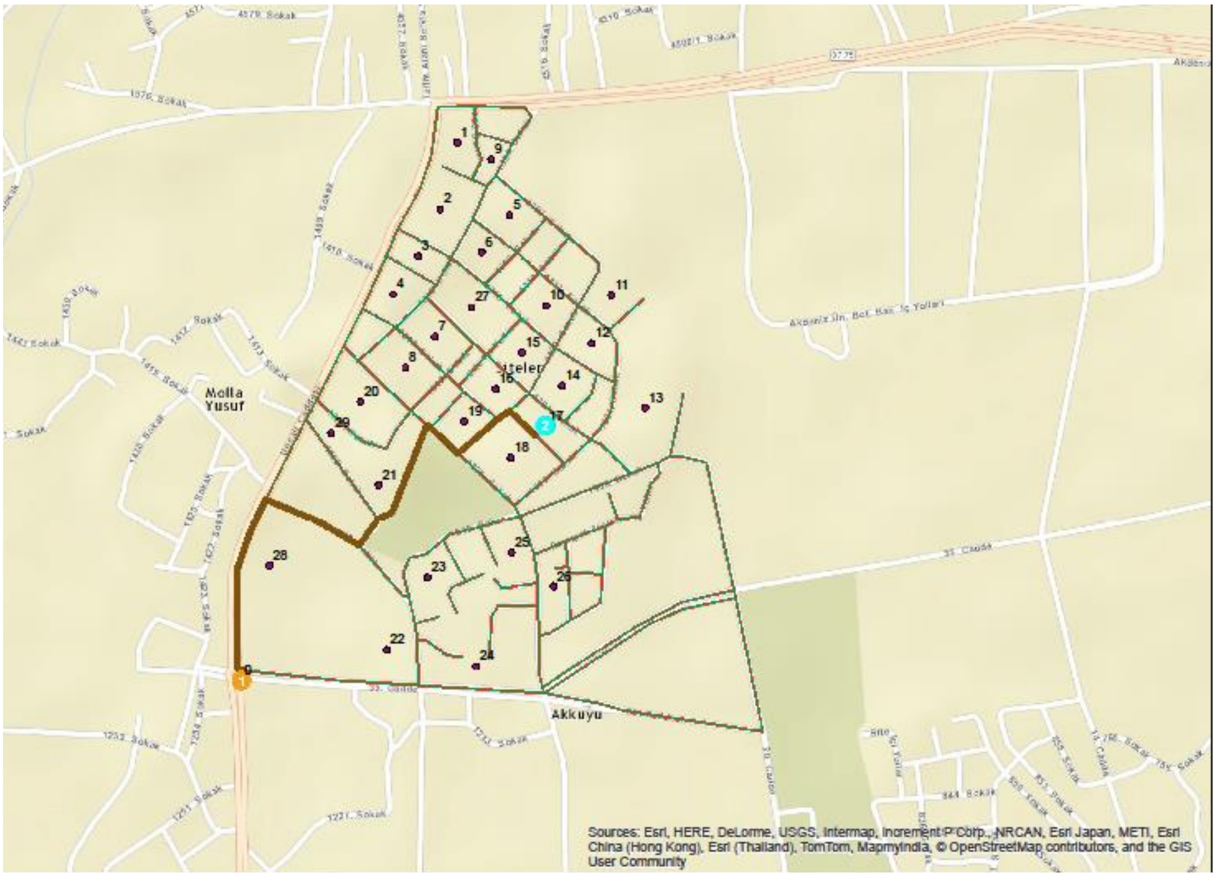
Harita 3.4' de belirtilen hususlar doğrultusunda 23 ve 18 aday yerleşim noktaları arasındaki en kısa yol görülmektedir.

Problem tanımında aracın hareketine şebeke içerisindeki sabit bir noktadan başlayıp yine o noktaya döndüğü varsayımı yapılmıştır. Harita üzerinde bu başlangıç noktası "0" olarak görülmektedir. Harita 3.5 ve Harita 3.6' da başlangıç noktasından çeşitli aday yerleşim noktalarına olan en kısa yollar yer almaktadır.

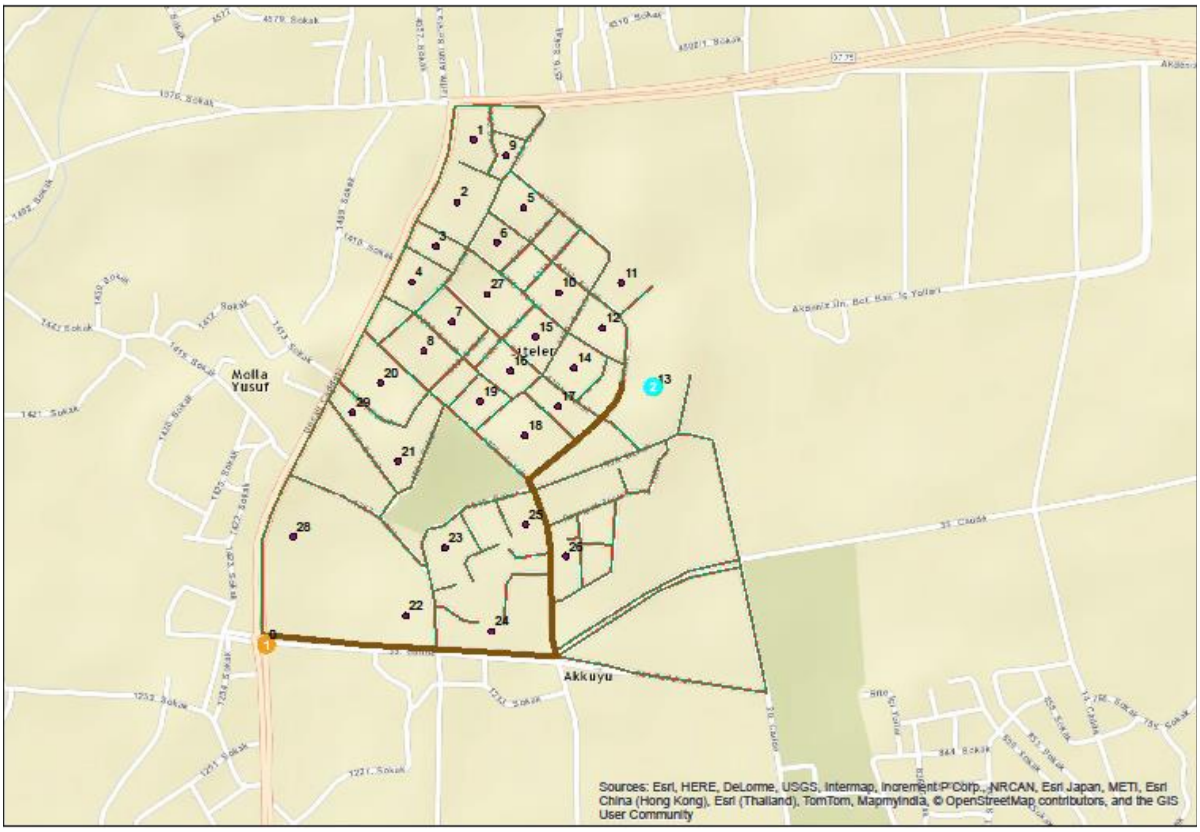
ArcGIS Network Analyst modülü yoluyla elde edilmiş ikili noktalar arasındaki en kısa yol mesafelerini içeren matrisler Ek-1' de yer almaktadır.



Harita 3.4 Aday Yerleşim Noktaları 23 ve 18 Arasındaki En Kısa Yol



Harita 3.5 Başlangıç Noktası ve Aday Yerleşim Noktası 17 Arasındaki En Kısa Yol



Harita 3.6 Başlangıç Noktası ve Aday Yerleşim Noktası 13 Arasındaki En Kısa Yol

3.5 Modelin Kurulması

Problemin temelinde ulaşılmak istenen iki ana amaç bulunmaktadır. Bu amaçlardan biri yerleşim yapılacak kutuların mümkün olabildiğince çok haneye ulaşması, diğer amaç ise kutular arasındaki mesafelerin minimum olmasıdır. Birinci amaç bir maksimizasyon problemi iken ikinci amaç bir minimizasyon problemidir. Çok amaçlı modellerde optimizasyon ideal çözüm noktasında gerçekleşmektedir ve böylesi bir ideal çözüm karar vericiden bağımsızdır (Kurüzüm, 1998). Ele alınan problem ise birbirleriyle çelişen iki ana amaçtan oluşurken, optimizasyon ile ideal çözüme ulaşmaktan çok uzlaşık bir çözüm bulmaya çalışılmıştır.

Ortaya konulacak modelden kutuların konulacağı noktanın seçimini yapması aynı zamanda bir rota da ortaya çıkarması istenmiştir. Araçlar nihai depodan çıkmakta ve toplama işleminden sonra yine bu nihai depoya dönmektedirler. Dolayısıyla araçların hareketini başlayıp sonlandırdığı sabit bir başlangıç noktasına ihtiyaç duyulmuştur. Araçların hareketini tek bir rota dahilinde tamamlaması istenmiştir. Bu sebeple alt rota oluşumuna müsaade edilmemiştir. Yine aracın geçtiği yoldan geri dönmesi veya bu yolu tekrar kullanması istenmeyen bir durumdur. Bu doğrultuda ortaya konulan model hem en uygun yerleşim noktalarını seçerken hem de araçların hangi noktadan hangisine hareket edeceğini tespit edecek şekilde kurulmuştur. Yerleşimi yapılacak noktanın ve buna göre rotayı oluşturacak yol sayısı modele dışsal olarak verilmektedir. Siteler mahallesi sınırları içerisinde 9 adet kutunun yerleştirilmesi düşünülmektedir.

Amaçlar doğrultusunda aday yerleşim noktalarının belirlenmesi 0-1 ikili değişkenler yoluyla sağlanmaktadır. Bu durumda model karışık tam sayılı yerleşim-rotalama modeli haline gelmektedir. Modele ait parametre ve değişkenler aşağıda yer almaktadır:

$I = \{\text{başlangıç}, \text{bölge1}, \text{bölge2}, \ldots\ldots, \text{bölge29}\}$

i: Talep noktası, $i \in I$

j: $Aday$ kutu yerleşim noktası, $j \in I$

h_j: $j.noktadaki$ toplam hane sayısı

c_{ij}: $i.$ ve $j.$ noktalar arasındaki en kısa yol mesafesi

$$x_j = \begin{cases} 1, & j.\text{noktaya kutu yerleştirilirse} \\ 0, & \text{diğer durum} \end{cases}$$

$$v_{ij} = \begin{cases} 1, & i.\text{nokta ile } j.\text{nokta arasında akış olursa} \\ 0, & \text{diğer durum} \end{cases}$$

Model:

$$maks \sum_j h_j \, x_j \qquad 3.1$$

$$min \sum_i \sum_j c_{ij} \, v_{ij} \qquad 3.2$$

$$\sum_i v_{ij} - \sum_i v_{ji} = 0 \qquad 3.3$$

$$\sum_i v_{ij} = x_j \qquad 3.4$$

$$\sum_i v_{ji} = x_j \qquad 3.5$$

$$\sum_i \sum_j v_{ij} = 10 \qquad 3.6$$

$$x_0 = 1 \qquad 3.7$$

$$x_j, v_{ij} \in \{0, 1\} \qquad 3.8$$

Modeldeki iki temel amaçtan ilki konulan kutuların maksimum sayıda haneye hizmet etmesini sağlarken, ikinci amaç i. ve j. kutular arasındaki mesafeyi minimize etmektedir. Modeldeki ilk kısıt (3. 3) eğer herhangi bir i. noktadan j. noktaya giriş olursa yine bu j. noktadan herhangi bir başka i. noktaya çıkışın zorunlu olmasını ve bu sayede akışın oluşmasını gerçekleştirmektedir. İkinci kısıt (3. 4) j. noktaya eğer bir kutu yerleşmişse muhakkak bu düğüme bir girişin, 3.5'nci kısıt ise bu düğümden bir çıkışın olmasını sağlamaktadır. Modelin çözümünden beklenen başlangıç noktası dışında 9 adet kutunun yerinin tespitidir. Bu sebepten başlangıç noktası da hesaba katılarak belirlenmiş kutu sayısı neticesinde kutular arasında oluşacak akış ve aynı zamanda yerleşim noktaları sayısı dışsal bir karar olarak Kısıt 3.6 yoluyla modele dahil edilmiştir. Son kısıt (3.7) ise başlangıç noktasını zorunlu kılmaktadır.

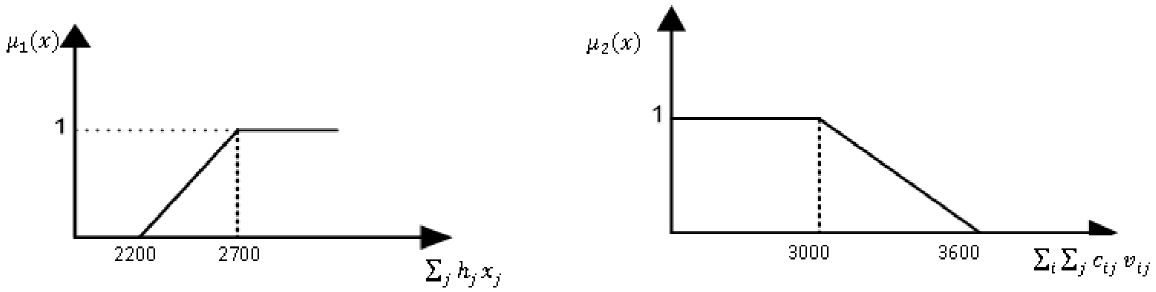
Kurulan model ilk aşamada tek amaçlı olarak iki farklı durumda çözülerek her bir amacın ideal çözüm noktaları elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra elde edilen çözümler sonucu hedef değerleri, karar verici görüşü doğrultusunda da tolerans değerleri belirlenmiştir. Fakat model karışık tam sayılı türünden olduğu için istenilen tolerans aralığında uygun çözüm bulabilmek oldukça zordur. Bu durumdan hareketle ulaşılmak istenen hedefler ve belirlenen toleranslardaki belirsizliği gidermek için çözüm tekniği olarak bulanık hedef programlama modelinin kullanılması uygun görülmüştür. Bulanık hedef programlama yoluyla çelişen iki temel amacın ortak doyum noktalarının maksimizasyonu sağlanmak istenmiştir. Amaçlar için belirlenen öncelikli hedef değerleri ve toleranslar Tablo 3.2' de yer almaktadır.

Tablo 3.2 Amaçlar İçin Belirlenen Hedef ve Tolerans Değerleri

	Amaçlar	**Hedef Değerleri**	**Toleranslar**
1. durum	**1**. $maks \sum_j h_j x_j$	2700 (hane)	500 (hane)
	2. $min \sum_i \sum_j c_{ij} v_{ij}$	3000 (metre)	600 (metre)
2. durum	**1**. $maks \sum_j h_j x_j$	2700 (hane)	700 (hane)
	2. $min \sum_i \sum_j c_{ij} v_{ij}$	3000 (metre)	800 (metre)
3. durum	**1**. $maks \sum_j h_j x_j$	2700 (hane)	800 (hane)
	2. $min \sum_i \sum_j c_{ij} v_{ij}$	3000 (metre)	900 (metre)

Bulanık fonksiyonların uzlaşık tek bir çözüm elde edecek şekilde doğrusal modellemeye uygun hale getirilmesi için Chen ve Tsai'nin toplamsal modeli kullanılmıştır (Chen ve Tsai, 2001). Toplamsal modellerin dışındaki diğer bulanık hedef programlama tekniklerinde her bir tercih önceliği için yeni bir doğrusal modele ihtiyaç duyulmaktadır. Bu şekilde bir hedef için belirlenen çözüm değeri yeni modele kısıt olarak dahil edilmektedir. Dolayısıyla birden fazla amacı olan bu modellerde çok sayıda alt model oluşmakta bu da çözüme ulaşmaktaki verimliliği azaltmaktadır. Chen ve Tsai'nin toplamsal modeli her bir amacın doyum noktasının toplamını maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Model içerisinde amaçlar arasındaki öncelik ilişkisi de yer alabilmektedir. Ayrıca toplamsal model yoluyla bütün alternatifleri tek bir model içerisinde birleştirmek mümkündür.

Teknik, hedef değerlerinin bulanıklaştırılması işlemi için Zimmermann üyelik fonksiyonlarından yararlanmaktadır. 1.durumdaki amaç fonksiyonlarının belirlenen hedef ve toleranslar neticesinde [0,1] sayı aralığındaki bulanık üyelik dereceleri Şekil 3.2' de görülmektedir. Hane sayısının maksimizasyonunu sağlayacak olan amaç fonksiyonunun hedef değeri 2700 hane iken bu hedefe ait tolerans değeri 500 hane olarak belirlenmiştir. Bu durumda 2700 hanenin üzerindeki her değer hedefin üzerinde olacağından elde edilen sonucun üyeliği 1 olarak kabul edilmekte ve tam doyum sağlanmaktadır. Fakat hedef ancak 500 hane kadar tolere edileceğinden 2200 hanenin altında elde edilecek bir değerin üyeliği ise 0 olarak alınmaktadır. 2200 ve hedef değeri olan 2700 arasındaki sonuçlar [0,1] sayı aralığında hedefe doğru artan bir üyelik derecesine sahip olmaktadır. Benzer şartlar minimizasyonu sağlanmak istenen mesafe amacı için de geçerlidir. Bu amaç için belirlenen hedef değeri 3000 metredir ve tolerans ile beraber düşünüldüğünde çözümün 3600 metreden fazla olmaması istenmektedir. 3000 metrenin altındaki her bir değerin üyelik fonksiyonuna üyeliği 1 iken 3600 metrenin üzerindeki değerlerin üyeliği 0'dır. Fakat bu iki değer arasındaki sonuçlar [0,1] sayı aralığında üyelik derecesi elde etmektedir.



Şekil 3.2 1. Durumdaki Hedef Değerlerinin Bulanık Üyelik Fonksiyonları

Bulanık fonksiyonların Zimmermann üyelik fonksiyonları doğrultusundaki matematiksel gösterimi aşağıda yer almaktadır:

i. $$\mu_1(x)\begin{cases} 1, & eğer\ \sum_j h_j x_j \geq 2700 \\ 1-\frac{2700-\sum_j h_j x_j}{500}, & eğer\ 2200 \leq \sum_j h_j x_j \leq 2700 \\ 0, & eğer\ \sum_j h_j x_j \leq 2200 \end{cases} \qquad 3.9$$

ii. $$\mu_2(x)\begin{cases} 1, & eğer \sum_i \sum_j c_{ij} v_{ij} \leq 3000 \\ 1-\frac{\sum_i \sum_j c_{ij} v_{ij}-3000}{600}, & eğer\ 3000 \leq \sum_i \sum_j c_{ij} v_{ij} \leq 3600 \\ 0, & eğer\ \sum_i \sum_j c_{ij} v_{ij} \geq 3600 \end{cases} \qquad 3.10$$

1. duruma ait amaçlar arasında öncelik ilişkisinin olmadığı modelde, üyelik sınıfları doğrultusunda oluşturulan üyelik fonksiyonlarının modele dahil edilmiş ve sonrasında eşitsizliklerin doğrusal modele uygun konuma getirilmiş hali aşağıdaki gibidir:

Model:

$$\text{maks} \quad \mu = \mu_1 + \mu_2$$
$$\mu_1 = 1 - \frac{2700 - \sum_j h_j x_j}{500}$$
$$\mu_2 = 1 - \frac{\sum_i \sum_j c_{ij} v_{ij} - 3000}{600}$$
$$\sum_i v_{ij} - \sum_i v_{ji} = 0$$
$$\sum_i v_{ij} = x_j$$
$$\sum_i v_{ji} = x_j$$
$$\sum_i \sum_j v_{ij} = 10$$
$$x_0 = 1$$
$$0 \leq \mu_1, \mu_2 \leq 1$$
$$x_j, v_{ij} \in \{0, 1\}$$

$$\text{maks} \quad \mu = \mu_1 + \mu_2$$
$$\sum_j h_j x_j - 500\mu_1 = 2200$$
$$\sum_i \sum_j c_{ij} v_{ij} + 600\mu_2 = 3600$$
$$\sum_i v_{ij} - \sum_i v_{ji} = 0$$
$$\sum_i v_{ij} = x_j$$
$$\sum_i v_{ji} = x_j$$
$$\sum_i \sum_j v_{ij} = 10$$
$$x_0 = 1$$
$$0 \leq \mu_1, \mu_2 \leq 1$$
$$x_j, v_{ij} \in \{0, 1\}$$

Öncelik ilişkisi tanımlanmadığı alternatifte ise herhangi bir amacın diğer amaca baskın geldiği bir çözüm elde edilebilmektedir. Amaçlar arasında öncelik tanımlaması yapılması bazen bu baskın çözümün gevşetilmesini sağlarken bazen de çözümü uygun çözüm alanından çıkarmaktadır. Amaçlar arasındaki öncelik eldeki modele doyum dereceleri arasında üstünlük ifade eden ek bir kısıtın eklenmesiyle gerçekleştirilmiştir.

Öncelik ilişkisinin olmadığı alternatifte doyum derecesi düşük kalan amaç diğer amaç karşısında önceliklendirilmek istenildiğinde aşağıda yer alan kısıtlar tek ve ayrı olarak modele dahil edilmiştir.

- $\mu_1 \geq \mu_2$ 3.11
- $\mu_1 > \mu_2$ 3.12
- $\mu_2 \geq \mu_1$ 3.13
- $\mu_2 > \mu_1$ 3.14

3.6 Analiz ve Bulgular

Analizin ilk aşamasında amaçlar arasında herhangi bir öncelik ilişkisi olmaksızın uzlaşık bir çözüm elde edilmek istenmiş, sonrasında ise çözümde baskın olmayan amaç fonksiyonuna öncelik verilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çözüm için GAMS paket programından faydalanılmıştır. Modelin program kodları ile yazılmış hali ve çözüm sonuçları Ek-2' de yer almaktadır. Modelin çözümünden elde edilen değerler ise Tablo 3.3' de görülmektedir. Farklı tolerans aralıklarını ifade eden 3 farklı durum ve 5 farklı öncelik ilişkisi için toplamda 15 alternatif model incelenmiştir. Tablo 3.3 'de öncelik ilişkisi sütununda sırayla temel modele giren ve çıkan her bir alternatif öncelik kısıtı yer almaktadır. Analiz sonrası aynı çözüm sonuçlarının elde edildiği alternatif modellere ait öncelik yapıları, tablo içerisinde bir arada sunulmuştur.

Tablo 3.3 Modelin Çözüm Sonuçları

	Öncelik İlişkisi	Amaçlar	Hedef	Tolerans	Doyum Derecesi	Toplam Doyum Derecesi	Ulaşılan Hedefler	Seçilmiş Noktalar
1.durum	**Öncelik yok** $\mu_2 \geq \mu_1$ $\mu_2 > \mu_1$ $\mu_1 \geq \mu_2$ $\mu_1 > \mu_2$	$maks \sum_j h_j x_j$	2700	500	Uygun Olmayan Tam Sayılı Çözüm			
		$min \sum_i \sum_j c_{ij} v_{ij}$	3000	600				
2. durum	**Öncelik yok** $\mu_2 \geq \mu_1$ $\mu_2 > \mu_1$	$maks \sum_j h_j x_j$	2700	700	0.093	**0.652**	2065	0-4-7-8-13-17-18-19-20-28
		$min \sum_i \sum_j c_{ij} v_{ij}$	3000	800	0.559		3352,88	
	$\mu_1 \geq \mu_2$ $\mu_1 > \mu_2$	$maks \sum_j h_j x_j$	2700	700	0.427	**0.441**	2299	0-2-4-7-8-13-17-18-19-20
		$min \sum_i \sum_j c_{ij} v_{ij}$	3000	800	0.013		3789,21	
3. durum	**Öncelik yok** $\mu_2 \geq \mu_1$ $\mu_2 > \mu_1$	$maks \sum_j h_j x_j$	2700	800	0.024	**0.918**	1919	**0-4-7-8-15-16-17-18-19-20**
		$min \sum_i \sum_j c_{ij} v_{ij}$	3000	900	0.894		3095,59	
	$\mu_1 \geq \mu_2$	$maks \sum_j h_j x_j$	2700	800	0.316	**0.633**	2153	0-4-7-8-10-13-17-18-19-20
		$min \sum_i \sum_j c_{ij} v_{ij}$	3000	900	0.316		3589,28	
	$\mu_1 > \mu_2$	$maks \sum_j h_j x_j$	2700	800	0.499	**0.622**	2299	0-2-4-7-8-13-17-18-19-20
		$min \sum_i \sum_j c_{ij} v_{ij}$	3000	900	0.123		3789,3	

Tablodan anlaşılacağı üzere seçim yapabilmek için alternatifli bir plan hazırlanmıştır. İlk aşamada belirlenen tolerans payları neticesinde uygun çözüme ulaşılamamıştır. Sonrasında toleranslar gevşetilerek orta düzeyli doyum derecesine sahip bir çözüm elde edilmiştir. Amaçlar arasında öncelik ilişkisi tanımlanmadan elde edilen her bir çözüm konfigürasyonunda kutular arasındaki mesafenin minimizasyonunu sağlayan amacın baskın olduğu görülmektedir. Bunun aksine aynı tolerans aralığında kutunun hizmet vereceği hane sayısının maksimizasyonu için kurulmuş amaç önceliklendirildiğinde ise toplam doyum derecesi düşmektedir

Normal durumlarda toplam doyumun maksimizasyonunu sağlayan çözümün en iyi çözüm olarak kabul edilmesi beklenilmektedir. Bu model açısından bakıldığında toplam doyum derecesinin μ=0.918'e ulaştığı çözümün seçilmesi gereken en iyi rotayı bulduğu görülmektedir. Fakat bu durumda birinci amacın doyum derecesi (μ_1= 0.024), ikinci amacın doyum derecesinin (μ_2= 0.894) çok altında kalmaktadır. Aynı tolerans aralığında birinci amacın ikinci amaca eşit ya da daha önemli olduğu durumda model, iki amacın doyum derecesini de eşitleyerek uygun bir çözüm elde etmiştir. Son alternatifte birinci amacın ikinci amaçtan kesin olarak daha önemli olduğu durum incelenmiş fakat uygun bir çözüm bulunamamıştır.

Çok amaçlı problemlerde her amacın doyum derecelerinin birbirine yakın hatta eşit olması istenilen bir durumdur. Fakat uygulamada da görüldüğü üzere böyle bir sonuç toplam doyum derecesinin düşmesine neden olabilmektedir. Çözüm alternatifleri arasından seçimin yapılabilmesi için göz önüne alınacak olan kıstasın toplam doyum derecesi olması gerekmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada da toplam doyum derecesinin μ=0.918'e ulaştığı {0-4-7-8-15-16-17-18-19-20}rotasının seçilmesi uygun görülmüştür.

SONUÇ

Yer seçimi problemleri üretim sürecinin başlangıcı ve üretim faaliyetlerinin devamı sırasında ortaya çıkabilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar oluşan bir ihtiyaca hizmet verecek tesislerin en uygun yerlere yerleşimine odaklanmaktadır. Tesisin nitelikleri, kurulum bölgesindeki çevre koşulları ve tesis faaliyetinden kaynaklı beklentiler bu problemin farklı şekillerde ele alınmasına sebebiyet vermektedir. Yer seçimi problemleri kümesi içerisinde kapsama ve p-medyan problemleri önemli bir paya sahiptir. Bunun yanında ele alınan problemin doğadaki hali ve modelin yapısını etkileyen etmenler nedeniyle bazı yer seçimi problemleri özgün problemlere dönüşmektedir. Bu şekildeki problemler de yer seçimi probleminin uzantıları şeklinde isimlendirilmektedir. Yer seçimi problemleri sınırlı-sınırsız kapasiteli, düzlemsel-şebeke-ayrık, statik-dinamik, deterministik-olasılıksal, tekli-çoklu ürün gibi özellikler yönüyle sınıflandırılabilmektedirler. Tekli-çoklu amaçlar içermesi bakımından yer seçimi problemleri arasında yapılacak bir ayrım da böylesi bir sınıflandırma unsuru olarak görülmektedir.

Yer seçimi problemleri özünde çoklu amaçlar barındırmaktadır. Kurulacak tesisisin kamu ya da özel sektöre hizmet edecek olması amaçları ve öncelikleri değiştirebilmektedir. Özellikle maliyet minimizasyonu rekabetin yoğun yaşandığı, israfın çoğaldığı ve kaynakların kıtlaştığı zamanımızda önemini giderek artırmaktadır. Tesis ile tüketim noktası arası mesafe, taşıma, operasyon ve kurulum maliyetleri ve hizmetin en az sayıda tesis ile gerçekleştirilmesi bu çerçevede ele alınmaktadır. Bir diğer önemli konu tesisin mümkün olduğunca çok tüketim noktasına ulaşacak şekilde yerleşimini sağlamaktır. Ayrıca tesis yeri belirlenmesinde çevresel hassasiyetlere de dikkat edilmesi gerekmektedir. Özellikle kamu tesislerinin yerleşiminin bu amaçlar doğrultusunda yapılması önemlidir.

Bu çalışmada Antalya ili Konyaaltı Belediyesi Siteler Mahallesinde yerleşimi yapılacak Geri Dönüştürülebilir Atık Kutuları için uygun noktaların seçimine odaklanılmıştır. Yerleşim iki temel amaç doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Bu amaçlardan biri seçilen noktaların Siteler Mahallesi içinde mümkün olabildiğince çok haneye hizmet etmesidir. Diğer amaç ise seçilen noktalar arasındaki toplam mesafeyi minimum yapacak rotanın belirlenmesidir. Bu iki amacı da eşanlı eniyileyecek çözüme ulaşmak zordur. Bu nedenle bu iki amacı olabildiğince doyuracak uzlaşık bir çözüm elde edilmeye çalışılmıştır.

Seçilen bölge, üzerinde genellikle sitelerin yer aldığı adalardan oluşmaktadır. Her bir site duvarlar yoluyla sınırları tayin edilmiş ve birbirleri arasında etkileşim olmayan yerleşim birimleridir. Dolayısıyla her bir siteyi bağımsız bir talep noktası olarak kabul etmek gerekmektedir. Talep noktaları siteler içerisindeki toplam hane sayılarından oluşmaktadır. Her bir nokta sitenin ortasında kabul edilmiştir. Bu özelliklerinden dolayı bölge her bir noktanın birbirinden bağımsız olduğu kesikli bir şebeke olarak ele alınmıştır. Bu şebeke içerisinde toplam 29 adet aday yerleşim noktası yer almaktadır. Bununla birlikte problem sahası Siteler Mahallesi ile sınırlandırıldığından araçların hareketine başlayacağı ve hareketini sonlandıracağı nihai tesisi temsilen bir zorunlu başlangıç noktası atamasına gerek duyulmuştur. Neticede kurulan modelden başlangıç noktası ve aday yerleşim noktaları içerisinden uygun 9 nokta ile beraber toplam 10 adet yerleşim noktasının seçimini yapması istenmiştir. Fakat bu seçim sadece talep odaklı olmamıştır.

Seçimin bir diğer ayağı noktalar arası minimum mesafeli bir rota oluşumudur. Buradan hareketle araçların geldiği yoldan geri dönmemesi ve rota içerisinde herhangi bir alt döngünün oluşmaması gerekmektedir. Ayrıca hareket başlangıç noktasından başlayıp yine bu noktaya dönüş ile son bulmalıdır. Rota oluşumunda en kısa yol esas alınmıştır. Problemin niteliğinden dolayı sadece mesafe minimizasyonuna odaklanılmış, araçların hareketi ve Geri Dönüştürülebilir Atık Kutularının yerleşiminden kaynaklı maliyet unsurları göz ardı edilmiştir.

Probleme ait varsayım, kısıtlamalar, hedefler ve hedeflerden sapma toleransları Konyaaltı Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürü ile karşılıklı yapılan görüşmeler doğrultusunda ortaya konulmuştur. Bununla beraber 9 adet kutu yerleşimi de bu şekilde alınmış dışsal bir karardır. Problemin sınırlarının değişebilmesi mümkündür. Yani modele yeni bölgeler, yeni talep noktaları eklenebilir, daha çok kutunun yerleşiminin yapılması istenebilir. Dolayısıyla dinamik bir modele ihtiyaç duyulmuştur. Bununla beraber konulan hedefler konusunda kesin değerler belirlenememektedir. Bulanık mantık kuramının belirsizliğin giderilmesinde faydası olmaktadır. Çalışmada amaçlara yönelik hedef ve toleransların kesin değerlerle ifade edilememesinden Bulanık Hedef Programlama tekniğinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Bulanık Hedef Programlama çoklu amaçların ortak doyum noktalarının maksimizasyonunu sağlamaktadır. Bu yolla optimuma yakın çözümler elde edilmektedir. Çalışmada, problem amaç ve kısıtları doğrultusunda tasarlanan çok amaçlı model farklı tolerans aralıklarında çalıştırılmıştır. Her bir tolerans aralığında ilk olarak, amaçlar arasında herhangi bir öncelik ilişkisi bulunmaksızın çözüm gerçekleştirilmiş, sonrasında ise çözümde baskın olan amaç düşük önceliklendirilerek toplam doyum derecesindeki değişim gözlemlenmiştir.

Analiz sonucunda tolerans aralığı gevşetildikçe toplam doyum derecesinin arttığı görülmüştür. Buna bağlı olarak çözüme giren ve çıkan aday yerleşim noktaları bulunmaktadır.

Toplam doyum derecesinin $\boldsymbol{\mu}$=0.918'e ulaştığı çözümün en iyi olduğu görülmektedir. Bu durumda birinci amacın doyum derecesi ($\boldsymbol{\mu_1}$= 0.024), ikinci amacın doyum derecesinin ($\boldsymbol{\mu_2}$= 0.894) çok altında kalmaktadır. Seçilen noktalardan oluşan rota ise {0-4-7-8-15-16-17-18-19-20} şeklindedir. Aynı tolerans aralığında birinci amacın ikinci amaca eşit ya da daha önemli olduğu durumda model iki amacın doyum derecesini de eşitleyerek uygun bir çözüm elde etmiştir. Elde edilen bu çözümde amaçlar arasındaki doyum derecesi birbirine eşittir. Fakat böylesi bir çözümde toplam doyum derecesinde azalma olmuştur. Son alternatif olarak birinci amacın ikinci amaçtan kesin olarak daha önemli olduğu durum incelenmiş fakat uygun bir çözüm bulunamamıştır. Alternatiflerden sağlanan sonuç değerleri doğrultusunda toplam doyum derecesinin en yüksek olduğu durum önerilmektedir.

Yapılan çalışma ele alınan problemin en yalın halidir. Problem sınırları ve veriye ulaşım imkanlarının genişletilmesi sonucunda modelde yapılabilecek bir çok geliştirme bulunmaktadır. Özellikle çalışmada bir mahalleden oluşan küçük bir bölge ele alınmıştır. Çalışma tüm Konyaaltı Belediyesi ve hatta daha geniş bir coğrafik alan için genişletilebilir. Bu durumda talep noktalarının sayısı artacaktır. Ayrıca bölgelerin durumuna göre bu talep noktalarının birbirleri ile etkileşimi söz konusu olabilir. Kutuların birden fazla noktaya hizmet verebileceği düşünülerek talep noktaları bir kapsama problemi içerisinde düşünülebilir. Diğer bir taraftan en kısa mesafe bulunurken taşımadan kaynaklı maliyet kalemleri, duraklamalardan kaynaklı maliyet kayıpları modele dahil edilerek mesafe minimizasyonu amacı, maliyet minimizasyonuna çevrilebilir. Çalışma bölgesinin genişlemesi kapasite unsurlarının da hesaba katılmasına sebebiyet verecektir. Kutuların kapasitelerinin taşımayı sağlayan araç kapasitelerini geçtiği durumda araç sayılarının bir değişken, kapasitelerinin ise bir kısıt olarak model içerisinde ele alınması gerekecektir. Hatta böylesi bir durumda kutuların istatistiki dolum zamanlamaları da hesaba katılabilir. Bütün bu geliştirmelerin yapılabilmesi için etkin bir veri alt yapısının kurulması gerekmektedir. Söz konusu geliştirmelerin gerçekleşmesi durumunda Geri Dönüştürülebilir Atık Kutularının daha çok kişiye ulaşması sağlanabilecektir. Taşıma operasyonunun uygun sıklıkta daha az maliyetli ve daha kısa sürede gerçekleştirilebilmesi ile kaynakların daha etkin kullanılabileceği ve çevresel hassasiyete katkı sunulabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Alexandris G., Giannikos I., “A new model for maximal coverage exploiting GIS capabilities”, European Journal of Operational Research, No.202, (2010), 328-338.

Alumur S., Kara B. Y., “A new model for the hazardous waste location-routing problem”, Computers & Operations Research, No.34, (2007), 1406-1423.

Alumur S., Kara B. Y., “Network hub location problems: The state of the art”, European Journal of Operational Research, No.190, (2008), 1-21.

Alumur S. A., Nickel S., Gama F. S., “Hub location under uncertainty”, Transportation Research Part B, No.46, (2012), 529-543.

Araz C., Selim H., Ozkarahan I., “A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services”, Computers & Operations Research, No.34, (2007), 705-726.

Arıkan F., Güngör Z., “An application of fuzzy goal programming to a multi objective project network problem”, Fuzzy Sets and Systems, No.119, (2001), 49-58.

Aslangiray A., İstatistiksel süreç kontrolünde bulanık mantık yaklaşımı ve bir uygulama” (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya, 2011, 51.

Aykin T., “The hub location and routing problem”, European Journal of Operational Research, No.83, (1995), 200-219.

Aytug H., Saydam C., “Solving large-scale maximum expected covering location problems by genetic algorithms: A comparative study”, European Journal of Operational Research No.141 (2002), 480-494.

Barreto S., Ferreira C., Paixao J., Santos B. S., “Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem”, European Journal of Operational Research, No.179, (2007), 968-977.

Batanovic V., Petrovic D., Petrovic R.,” Fuzzy logic based algorithms for maximum covering location problems”, Information Sciences, No.179, (2009), 120-129.

Batta R., Dolan J. M., Krishnamurthy N. N., “The Maximal Expected Covering Location Problem: Revisited”, Transportation Science, Vol.23, No.4, (1989), 277-287.

Beasley J.E., Chu R.C., “A genetic algorithm for the set covering problem“, European Journal of Operational Research, No.94, (1996), 392-404.

Berman O., Krass D.,” The generalized maximal covering location problem”, Computers & Operations Research, No.29, (2002), 563-581.

Berman O., Drezner Z., Krass D., “Generalized coverage: New developments incovering location models”, Computers & Operations Research, No.37, (2010), 1675–1687,

Berman O., Wang J., “The network p-median problem with discrete probabilistic demand weights”, Computers & Operations Research, No.37, (2010), 1455-1463.

Bhattacharya U., Rao J.R., Tiwari R.N., “Fuzzy multi-criteria facility location problem” , Fuzzy Sets and Systems, No.51, (1992), 277-287.

Biswas A., Pal B.B., “Application of fuzzy goal programming technique to land use planning in agricultural system”, Omega, No.33, (2005), 391-398.

Caballero R., Gonzalez M., Guerrero F. M., Molina J., Paralera C., “Solving a multiobjective location routing problem with a metaheuristic based on tabu search: Application to a real case in Andalusia”, European Journal of Operational Research, No.177, (2007), 1751-1763.

Campbell J. F., “Integer programming formulations of discrete hub location problems”, European Journal of Operational Research, No.72, (1994), 387-405.

Campbell J. F., Ernst A. T., Krishnamoorthy M., “Hub Location Problems”, Facility Location: Applications and Theory, der. Drezner Z., Hamacher H.W., 373-407, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2002.

Canel C., Khumawala B. M., “A mixed-integer programming approach for the international facilities location problem”, International Journal of Operations & Production Management, Vol.16, No.4, (1996), 49-68.

Chan Y., Carter W.B., Burnes M.D., “A multiple-depot, multiple-vehicle, location-routing problem with stochastically processed demands”, Computers &Operations Research, No.28 (2001), 803-826.

Chan F.T.S., Swarnkar R., “Ant colony optimization approach to a fuzzy goal programming model for a machine tool selection and operation allocation problem in an FMS”, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, No.22, (2006), 353-362.

Chen L. H., Tsai F. C., “Fuzzy goal programming with different importance and priorities”, European Journal of Operational Research, No.133, (2001), 548-556.

Chen L.H., Weng M.C., “An evaluation approach to engineering design in QFD processes using fuzzy goal programming models”, European Journal of Operational Research, No.172, (2006), 230-248.

Chang N.B., Wang S.F., “A fuzzy goal programming approach for the optimal planning of metropolitan solid waste management systems”, European Journal of Operational Research, No.99, (1997), 303-321.

Cho C. J., "An equity-efficiency trade-off model for the optimum location of medical care facilities", Socio-Economic Planning Sciences, Vol.32, No.2, (1998), 99-112.

Church R., ReVelle C., "The Maximal Covering Location Problem", Papers of the Regional Science Association, No.32, (1974), 101-118.

Church R. L., Gerrard R. A., "The Multi-level Location Set Covering Model", Geographical Analysis, Vol.35, No.4, (2003), 277-289.

Contreras I., Fernandez E., Marin A., "Tight bounds from a path based formulation for the tree of hub location problem", Computers & Operations Research, No.36, (2009), 3117-3127.

Contreras I., Fernandez E., Marin A., "The Tree of Hubs Location Problem", European Journal of Operational Research, No.202, (2010), 390-400.

Correia I., Nickel S., Gama F. S., "Single-assignment hub location problems with multiple capacity levels", Transportation Research Part B, No.44, (2010), 1047-1066.

Current J., Min H., Schilling D., "Multi objective analysis of facility location decisions", European Journal of Operational Research, No.49, (1990), 295-307.

Current J., Daskin M., Schilling D., "Discrete Network Location Models", Facility Location: Applications and Theory, der. Drezner Z., Hamacher H.W., 81-118, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2002.

Daskin M. S., "A maximum expected covering location model: formulation, properties and heuristic solution", Transportation Science, No.17, (1983), 48-70.

Daskin M. S., Network and discrete location: models, algorithms, and applications, John Wiley & Sons Inc., Canada, 1995.

Davari S., Zarandi M. H. F., Hemmati A., " Maximal covering location problem (MCLP) with fuzzy travel times", Expert Systems with Applications, No.38, (2011), 14535-14541.

Derbel H., Jarboui B., Hanafi S., Chabchoub H., "Genetic algorithm with iterated local search for solving a location-routing problem", Expert Systems with Applications, No.39, (2012), 2865-2871.

Diaz J. A., Fernandez E., "Hybrid scatter search and path relinking for the capacitated p-median problem", European Journal of Operational Research, No.169, (2006), 570-585.

Doerner K., Focke A., Gutjahr W. J., "Multicriteria tour planning for mobile healthcare facilities in a developing country", European Journal of Operational Research, No.179, (2007), 1078-1096.

Dominguez E., Munoz J., "A neural model for the p-median problem", Computers & Operations Research, No.35, (2008), 404-416.

Drezner Z., “Dynamic Facility Location: The Progressive p-Median Problem”, Location Science, Vol.3, No.1, (1995(a)), 1-7.

Drezner Z., “On The Conditional p-Median Problem”, Computers & Operations Research, Vol.22, No.5, (1995(b)), 525-530.

Eiselt H. A., Marianov V., “A conditional p-hub location problem with attraction functions”, Computers & Operations Research, No.36, (2009), 3128-3135.

Elmas Ç., Yapay Zeka Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2010.

Farahani R. Z., Asgari N., Heidari N., Hosseininia M., Goh M., “Covering problems in facility location: A review”, Computers & Industrial Engineering, No.62, (2012), 368-407.

Galvao R. G., ReVelle C., “A Lagrangean heuristic for the maximal covering location problem”, European Journal of Operational Research, No.88, (1996), 114-123.

Gavriliouk E. O., “Aggregation in hub location problems”, Computers & Operations Research, No.36, (2009), 3136-3142.

Hakimi S. L., “Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems”, Operations Research, No.13, (1965), 462–475.

Hansen P., Mledenovic N., “Variable neighborhood search:Principles and applications”, European Journal of Operational Research, No.130, (2001), 449-467.

Hwang H., Hwang S., “A stochastic set-covering location model for both ameliorating and deteriorating items” Computers & Industrial Engineering, No.46, (2004), 313-319.

Jamalnia A., Soukhakian M.A., “A hybrid fuzzy goal programming approach with different goal priorities to aggregate production planning”, Computers & Industrial Engineering, No.56, (2009), 1474-1486.

Kapov D. S., Kapov J. S., O’Kelly M., “Tight linear programming relaxations of uncapacitated p-hub median problems”, European Journal of Operational Research, No.94, (1996), 582-593.

Karaoglan I., Altiparmak F., Kara I., Dengiz B., “A branch and cut algorithm for the location-routing problem with simultaneous pickup and delivery”, European Journal of Operational Research, No.211, (2011), 318-332.

Kariv O., Hakimi S. L., “An Algorithmic Approach to Network Location Problems. II: The p-Medians”, SIAM Journal on Applied Mathematics, Vol.37, No.3, (1979), 539-560.

Korupolu M. R., Plaxton C. G., Rajaraman R., “Analysis of a Local Search Heuristic for Facility Location Problems”, Journal of Algorithms, No.37, (2000), 146-188.

Kumar M., Vrat P., Shankar R., “A fuzzy goal programming approach for vendor selection problem in a supply chain”, Computers & Industrial Engineering, No.46, (2004), 69-85.

Kuruüzüm A., Karar Destek Sistemlerinde Çok amaçlı Yöntemler, Akdeniz Üniversitesi Basımevi, Antalya, 1998

Labbe M., Yaman H., Gourdin E., “A branch and cut algorithm for hub location problems with single assignment”, Mathematical Programming, No.102, (2005), 371-405.

Laporte G., Nobert Y., “An exact algorithm for minimizing routing and operating costs in depot location”, European Journal of Operational Research, No.6, (1981), 224-226.

Leung S. C. H., “A non-linear goal programming model and solution method for the multi-objective trip distribution problem in transportation engineering”, Optimization and Engineering, No.8, (2007), 277-298.

Liang T. F., “Applying fuzzy goal programming to project management decisions with multiple goals in uncertain environments”, Expert Systems with Applications, No.37, (2010), 8499-8507.

Lin C.K.Y., Kwok R.C.W., “Multi-objective metaheuristics for a location-routing problem with multiple use of vehicles on real data and simulated data”, European Journal of Operational Research, No.175, (2006), 1833-1849.

Lin C., “A weighted max–min model for fuzzy goal programming”, Fuzzy Sets and Systems, No.142, (2004), 407-420.

Melachrinoudis E., Min H., Wu X., “A Multiobjective Model for the Dynamic Location of Landfills”, Location Science, Vol.3, No.3, (1995), 143-166.

Melachrinoudis E., “Bicriteria location of a semi-obnoxious facility”, Computers & Industrial Engineering, No.37, (1999), 581-593.

Meyer T., Ernst A. T., Krishnamoorthy M., “A 2-phase algorithm for solving the single allocation p-hub center problem”, Computers&Operations Research,No.36, (2009), 3143-3151.

Mohamed R. H., “The relationship between goal programming and fuzzy programming”, Fuzzy Sets and Systems, No.89, (1997), 215-222.

Nagy G., Salhi S., “Location-routing: Issues, models and methods”, European Journal of Operational Research, No.177, (2007), 649-672.

O’Kelly M. E., “A Clustering Approach to the Planar Hub Location Problems”, Annals of Operations Research, No.40, (1992), 339-353.

Osleeb J. P., Ratick S. J., “A mixed integer and multiple objective programming model to analyze coal handling in New England”, European Journal of Operational Research, No.12, (1983), 302-313.

Özcan U., Toklu B., “Multiple-criteria decision-making in two –sided assembly line balancing: A goal programming and a fuzzy goal programming models”, Computers Operations Research, No.36, (2009), 1955-1965.

Özkan M. M., Bulanık Hedef Programlama, Ekin Kitabevi, Bursa, 2003.

Öztürk A., Yöneylem Araştırmasına Giriş, Ekin Yayınevi, Bursa, 2011.

Paksoy T., Pehlivan N. Y., Özceylan E., Bulanık Küme Teorisi / Bulanık Matematiksel Programlamaya Giriş, Nobel Yayınları, Ankara, 2013.

Parra M.A., Terol A.B., Uria M.V.R., “A fuzzy goal programming approach to portfolio selection”, European Journal of Operational Research, No.133, (2001), 287-297.

Prodhon C., “A hybrid evolutionary algorithm for the periodic location-routing problem”, European Journal of Operational Research, No.210, (2011), 204-212.

Rajagopalan H. K., Vergara F. E., Saydam C., Xiao J., “Developing effective meta-heuristics for a probabilistic location model via experimental design”, European Journal of Operational Research, No.177, (2007), 83-101.

Rakas J., Teodorovic D., Kim T., “Multi-objective modeling for determining location of undesirable facilities”, Transportation Research Part D: Transport and Environment, No.9, (2004), 125-138.

ReVelle C., Toregas C., Falkson L., “Applications of the Location Set-covering Problem”, Geographical Analysis, No.8, (1976), 65-76.

ReVelle C., Williams J. C., “Reserve design and facility location”, Facility Location: Applications and Theory, der. Drezner Z., Hamacher H.W., 308-328, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2002.

ReVelle C.S., Eiselt H.A., “Location analysis: A synthesis and survey”, European Journal of Operational Research, No.165, (2005), 1-19.

Rolland E., Schilling D. A., Current J. R., “An efficient tabu search procedure for the p-Median Problem”, European Journal of Operational Research, No.96, (1996), 329-342.

Rosing K. E., ReVelle C. S., Schilling D. A., “A gamma heuristic for the p-median problem”, European Journal of Operational Research, No.117, (1999), 522-532.

Ross T. J., Fuzzy Logic with Engineering Applications, John Wiley & Sons Inc., England, 2004.

Saghaei A., Didehkhani H., “Developing an integrated model for the evaluation and selection of six sigma projects based on ANFIS and fuzzy goal programming”, Expert Systems with Applications, No.38, (2011), 721-728.

Samanlioglu F., “A multi-objective mathematical model for the industrial hazardous waste location-routing problem”,European Journal of Operational Research, No.226, (2013), 332-340.

Sambola M. A., Fernandez E., Laporte G., “Heuristic and lower bound for a stochastic location-routing problem”, European Journal of Operational Research, No.179, (2007), 940-955.

Sambola M. A., Fernandez E., Hinojosa Y., Puerto J., “The multi-period incremental service facility location problem”, Computers & Operations Research, No.36, (2009), 1356-1375.

Schilling D.A., Rosing K.E., ReVelle C.S., “Network distance characteristics that affect computational effort in p-median location problems”, European Journal of Operational Research, No.127, (2000), 525-536.

Senne E. L. F., Lorena L. A. N., Pereira M. A., “A branch-and-price approach to p-median location problems”, Computers & Operations Research, No.32, (2005), 1655-1664.

Sim T., Lowe T. J., Thomas B. W., “The stochastic p-hub center problem with service-level constraints”, Computers & Operations Research, No.36, (2009), 3166-3177.

Sohn J., Park S., “A linear program for the two-hub location problem”, European Journal of Operational Research, No.100, (1997), 617-622.

Sorensen P., Church R., “Integrating expected coverage and local reliability for emergency medical services location problems”, Socio-Economic Planning Sciences, No.44, (2010), 8-18.

Stummer C., Doerner K., Focke A., Heidenberger K., “Determining location and size of medical departments in a hospital network: a multi objective decision support approach”, Health Care Management Science, No.7, (2004), 63-71.

Sue A. H., “Hybrid heuristic for the uncapacitated hub location problem”, European Journal of Operational Research, No.106, (1998), 489-499.

Toregas C., ReVelle C., “Binary Logic Solutions to a Class of Location Problem”, Geographical Analysis, No.5, (1973), 145-155.

Tsai W.H., Hung S.J., “A fuzzy goal programming approach for green supply chain optimization under activity-based costing and performance evaluation with a value-chain structure”, International Journal of Production Research, Vol.47, No.18, (2009), 4991-5017.

Wahed W. F., Lee S. M., “Interactive fuzzy goal programming for multi-objective transportation problems”, Omega, No.34, (2006), 158-166.

Wang H. F., Fu C. C., "A generalization of fuzzy goal programming with preemptive structure", Computers & Operations Research, Vol.24, No.9, (1997), 819-828.

Zarandi M.H.F., Sisakht A.H., Davari S., "Design of a closed-loop supply chain (CLSC) model using an interactive fuzzy goal programming", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, No.56, (2011), 809-821.

Zarandi M.H.F., Hemmati A., Davari S., Turksen I. B., "Capacitated location-routing problem with time windows under uncertainty", Knowledge-Based Systems, No.37, (2013), 480-489.

Zhang R., Phillis Y. A., Kouikoglou V. S., Fuzzy Control of Queuing Systems, Springer-Verlag London, USA, 2005.

wiki.gis.com/wiki/index.php/ArcGIS_Network_Analyst, Erişim Tarihi: 20.02.2015

www.cevko.org.tr/images/stories/mevzuat/cevre_kanunu.pdf, Erişim Tarihi: 10.02.2015.

www.konyaalti.bel.tr, Erişim Tarihi: 10.02.2015

EKLER

EK 1- ADAY YERLEŞİM BÖLGELERİ ARASI İKİLİ EN KISA YOL MESAFELERİ MATRİS 1 (METRE)

Bölgeler	baslangic	bolge1	bolge2	bolge3	bolge4	bolge5	bolge6	bolge7	bolge8
baslangic	M	1437,71	1148,58	1134,26	929,91	1423,33	1293,19	1014,20	1014,67
bolge1	1437,71	M	514,66	366,90	570,29	234,23	266,55	571,52	574,10
bolge2	1148,58	M	M	148,42	218,11	503,19	372,42	434,21	436,73
bolge3	1134,26	M	M	M	200,86	353,48	229,05	337,16	339,74
bolge4	929,91	M	M	M	M	547,98	417,41	217,97	218,16
bolge5	1423,33	M	M	M	M	M	230,46	554,71	553,73
bolge6	1293,19	M	M	M	M	M	M	425,16	426,51
bolge7	1014,20	M	M	M	M	M	M	M	4,97
bolge8	1014,67	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge9	1399,22	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge10	1456,55	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge11	1519,96	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge12	1537,92	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge13	1400,84	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge14	1292,06	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge15	1226,95	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge16	1235,55	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge17	1263,00	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge18	1256,07	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge19	1013,95	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge20	892,01	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge21	760,31	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge22	907,45	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge23	819,42	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge24	1058,97	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge25	1134,52	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge26	895,16	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge27	1119,46	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge28	266,58	M	M	M	M	M	M	M	M
bolge29	654,25	M	M	M	M	M	M	M	M

* M = Büyük sayı

EK 2- ADAY YERLEŞİM BÖLGELERİ ARASI İKİLİ EN KISA YOL MESAFELERİ MATRİS 2 (METRE)

Bölgeler	bolge9	bolge10	bolge11	bolge12	bolge13	bolge14	bolge15
baslangic	1399,22	1456,55	1519,96	1537,92	1400,84	1292,06	1226,95
bolge1	38,49	444,85	499,75	664,29	756,05	667,29	559,00
bolge2	479,13	532,34	646,53	661,93	714,22	580,87	471,91
bolge3	330,71	385,21	498,10	513,51	567,47	434,09	324,57
bolge4	526,49	583,57	694,47	709,55	761,57	585,88	469,73
bolge5	192,07	288,86	268,60	398,63	578,36	497,03	422,15
bolge6	221,97	186,76	300,45	314,21	495,36	413,83	320,13
bolge7	530,64	514,60	584,10	597,00	582,50	371,77	267,65
bolge8	534,39	508,68	580,94	594,31	582,10	367,20	263,98
bolge9	M	408,94	460,68	534,86	715,88	628,80	519,27
bolge10	M	M	111,65	128,50	310,27	226,24	246,87
bolge11	M	M	M	132,66	309,76	229,90	315,51
bolge12	M	M	M	M	179,47	242,84	329,35
bolge13	M	M	M	M	M	263,09	351,16
bolge14	M	M	M	M	M	M	218,26
bolge15	M	M	M	M	M	M	M
bolge16	M	M	M	M	M	M	M
bolge17	M	M	M	M	M	M	M
bolge18	M	M	M	M	M	M	M
bolge19	M	M	M	M	M	M	M
bolge20	M	M	M	M	M	M	M
bolge21	M	M	M	M	M	M	M
bolge22	M	M	M	M	M	M	M
bolge23	M	M	M	M	M	M	M
bolge24	M	M	M	M	M	M	M
bolge25	M	M	M	M	M	M	M
bolge26	M	M	M	M	M	M	M
bolge27	M	M	M	M	M	M	M
bolge28	M	M	M	M	M	M	M
bolge29	M	M	M	M	M	M	M

* M = Büyük sayı

EK 3- ADAY YERLEŞİM BÖLGELERİ ARASI İKİLİ EN KISA YOL MESAFELERİ MATRİS 3 (METRE)

Bölgeler	bolge16	bolge17	bolge18	bolge19	bolge20	bolge21	bolge22
baslangic	1235,55	1263,00	1256,07	1013,95	892,01	760,31	907,45
bolge1	652,37	848,90	841,60	742,98	673,41	1046,94	1399,74
bolge2	554,64	693,48	747,30	613,87	478,44	757,66	1163,04
bolge3	416,88	616,93	739,56	509,93	440,21	741,79	1150,93
bolge4	474,39	553,96	585,58	395,34	258,64	542,61	950,89
bolge5	544,40	685,76	842,51	633,89	655,37	1011,89	1295,17
bolge6	438,93	602,30	757,83	531,82	528,21	902,14	1191,99
bolge7	273,63	342,00	331,08	181,03	246,59	545,64	828,92
bolge8	269,89	335,86	327,33	176,02	251,50	539,54	825,18
bolge9	611,59	810,41	803,11	704,49	632,53	1007,47	1361,29
bolge10	339,63	414,31	408,18	462,19	641,39	834,33	1121,70
bolge11	343,61	417,15	411,02	513,40	710,02	881,42	1126,95
bolge12	357,37	430,92	422,39	525,90	724,96	895,18	994,94
bolge13	327,49	258,73	268,42	498,42	704,99	866,44	815,71
bolge14	112,56	187,25	181,11	283,49	491,24	651,51	918,26
bolge15	121,09	322,41	311,55	212,97	394,45	586,23	873,55
bolge16	M	198,90	192,76	219,98	402,73	597,26	880,14
bolge17	M	M	6,14	253,63	460,20	620,67	731,01
bolge18	M	M	M	247,64	454,06	614,53	737,19
bolge19	M	M	M	M	212,98	375,65	662,97
bolge20	M	M	M	M	M	446,41	733,77
bolge21	M	M	M	M	M	M	409,18
bolge22	M	M	M	M	M	M	M
bolge23	M	M	M	M	M	M	M
bolge24	M	M	M	M	M	M	M
bolge25	M	M	M	M	M	M	M
bolge26	M	M	M	M	M	M	M
bolge27	M	M	M	M	M	M	M
bolge28	M	M	M	M	M	M	M
bolge29	M	M	M	M	M	M	M

* M = Büyük sayı

EK 4- ADAY YERLEŞİM BÖLGELERİ ARASI İKİLİ EN KISA YOL MESAFELERİ MATRİS 4 (METRE)

Bölgeler	bolge23	bolge24	bolge25	bolge26	bolge27	bolge28	bolge29
baslangic	819,42	1058,97	1134,52	895,16	1119,46	266,58	654,25
bolge1	1312,58	1492,14	1251,16	1341,66	489,58	1170,73	893,99
bolge2	1081,01	1321,96	1079,47	1068,69	395,28	884,58	603,34
bolge3	1063,37	1259,77	1015,73	1106,78	253,99	863,59	587,47
bolge4	863,20	1104,56	861,21	849,60	315,13	666,14	388,29
bolge5	1161,14	1337,48	1095,67	1186,17	471,56	1154,47	877,18
bolge6	1106,51	1252,80	1010,30	997,83	341,99	1026,09	747,82
bolge7	754,54	923,01	686,83	675,91	249,38	742,87	466,20
bolge8	739,70	927,12	683,09	673,85	254,31	747,17	468,57
bolge9	1274,09	1454,47	1211,97	1199,51	448,68	1132,24	855,50
bolge10	975,20	1066,03	823,53	811,07	402,68	1185,50	903,14
bolge11	978,44	1219,32	824,83	815,60	472,50	1254,55	1006,23
bolge12	762,25	938,58	696,09	683,62	486,26	1267,76	1021,37
bolge13	667,24	757,67	515,17	504,40	490,34	1221,47	1002,58
bolge14	769,79	860,22	617,72	710,60	275,42	1024,65	786,27
bolge15	785,35	961,68	716,11	706,72	153,72	959,92	689,49
bolge16	695,54	871,87	629,37	618,60	162,85	967,65	700,12
bolge17	496,64	672,97	428,93	419,70	362,94	994,78	756,41
bolge18	502,40	679,11	436,61	424,15	355,62	988,65	752,62
bolge19	575,81	751,11	509,30	497,84	257,06	748,79	511,79
bolge20	667,19	843,52	601,72	590,25	354,82	625,87	347,20
bolge21	321,98	1004,97	632,15	750,01	629,13	493,36	157,08
bolge22	146,42	882,92	457,10	731,61	916,45	641,95	563,86
bolge23	M	648,54	224,27	395,27	825,87	640,13	562,20
bolge24	M	M	584,61	253,27	1004,59	1288,12	1141,11
bolge25	M	M	M	329,80	763,97	865,09	785,78
bolge26	M	M	M	M	750,11	1034,36	886,46
bolge27	M	M	M	M	M	848,75	571,67
bolge28	M	M	M	M	M	M	387,41
bolge29	M	M	M	M	M	M	M

* M = Büyük sayı

EK 5- EN İYİ ÇÖZÜME (µ=0.918) AİT MODEL

<table>
<tr><td colspan="3">Sets
i / baslangic, bolge1, bolge2, bolge3, bolge4, bolge5, bolge6, bolge7, bolge8, bolge9, bolge10, bolge11, bolge12, bolge13, bolge14, bolge15, bolge16, bolge17, bolge18, bolge19, bolge20, bolge21, bolge22, bolge23, bolge24, bolge25, bolge26, bolge27, bolge28, bolge29 /
j / baslangic, bolge1, bolge2, bolge3, bolge4, bolge5, bolge6, bolge7, bolge8, bolge9, bolge10, bolge11, bolge12, bolge13, bolge14, bolge15, bolge16, bolge17, bolge18, bolge19, bolge20, bolge21, bolge22, bolge23, bolge24, bolge25, bolge26, bolge27, bolge28, bolge29 /;</td></tr>
<tr><td colspan="3">Scalar f mesafe birim maliyet /1/;</td></tr>
<tr><td>Parameters
Table d(i,j) bolgeler arasi uzaklik</td><td>Parameters h(j) bir bolgeden digerine gidildiginde hizmet edilecek toplam kisi/</td><td>Parameter c(i,j) hareket maliyeti;
c(i,j) = f * d(i,j);</td></tr>
<tr><td>Variables
v bölgeler arasında akiş olursa
x
M1
M2
z;</td><td>Positive Variables
M
M1
M2;</td><td>Binary Variables
x
v;</td></tr>
<tr><td>Equations
amac
mesafedoyum
hanedoyum(i)
tersine(j)
cikis(j)
giris(j)
toplam
zorunluluk
ustsinir1;</td><td colspan="2">amac.. z =e= M1+M2 ;
hanedoyum(i).. sum(j, h(j) * x(j))- 1900 =g= 800*M1;
mesafedoyum..3900 - sum((i,j), c(i,j)*v(i,j)) =g= 900*M2 ;
tersine(j).. sum(i,v(i,j)) =e= sum(i,v(j,i));
cikis(j).. sum(i,v(i,j)) =e= x(j);
giris(j).. sum(i,v(j,i)) =e= x(j);
toplam.. sum((i,j), v(i,j)) =e= 10;
zorunluluk.. x("baslangic") =e= 1;
ustsinir1.. z =l= 1;</td></tr>
<tr><td colspan="3">Model yerlesim /all/;
Solve yerlesim using mip maximizing z;</td></tr>
</table>

EK 6- EN İYİ ÇÖZÜME (μ=0.918) AİT ÇÖZÜM ÖZETİ

```
--- Starting compilation
--- tezson11.gms(128) 3 Mb
--- Starting execution
--- tezson11.gms(84) 4 Mb
--- Generating MIP model yerlesim
--- tezson11.gms(128) 4 Mb
---   125 rows  933 columns  6,306 non-zeroes
---   930 discrete-columns
--- Executing CPLEX

GAMS/Cplex    Jun  1, 2007 WIN.CP.CP 22.5 034.037.041.VIS For Cplex 10.2
Cplex 10.2.0, GAMS Link 34
Cplex licensed for 1 use of lp, qp, mip and barrier, with 4 parallel threads.

Reading data...
Starting Cplex...
Tried aggregator 2 times.
MIP Presolve eliminated 33 rows and 437 columns.
MIP Presolve modified 205 coefficients.
Aggregator did 2 substitutions.
Reduced MIP has 89 rows, 494 columns, and 2694 nonzeros.
Presolve time =    0.05 sec.
Clique table members: 58.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
Tried aggregator 1 time.
No LP presolve or aggregator reductions.
Presolve time =    0.00 sec.
Initializing dual steep norms . . .

Iteration log . . .
Iteration:     1   Dual objective     =             1.000000
Perturbation started.
Iteration:    52   Dual objective     =             1.000000
Removing perturbation.
Root relaxation solution time =    0.02 sec.

        Nodes                                         Cuts/
   Node  Left     Objective  IInf  Best Integer     Best Node    ItCnt     Gap

      0     0        0.9418    23                     0.9418       97
*     0+    0                   0        0.5795       0.9418       97   62.52%
*                    0.9175     0        0.9175     Cuts:  12      104    0.00%

Cover cuts applied:  1
Flow cuts applied:  1
Gomory fractional cuts applied:  5
Fixing integer variables, and solving final LP...
Tried aggregator 1 time.
LP Presolve eliminated 125 rows and 933 columns.
All rows and columns eliminated.
Presolve time =    0.00 sec.

Proven optimal solution.

MIP Solution:           0.917539    (104 iterations, 0 nodes)
Final Solve:            0.917539    (0 iterations)

Best possible:          0.917539
Absolute gap:           0.000000
Relative gap:           0.000000

--- Restarting execution
--- tezson11.gms(128) 0 Mb
--- Reading solution for model yerlesim
*** Status: Normal completion
--- Job tezson11.gms Stop 03/18/15 11:51:47 elapsed 0:00:00.911
```

EK 7- EN İYİ ÇÖZÜME (μ=0.918) AİT ÇÖZÜM DEĞERLERİ

VAR X				
	LOWER	**LEVEL**	**UPPER**	**MARGINAL**
baslangic	.	**1.000**	1.000	EPS
bolge1	.	.	1.000	0.218
bolge2	.	.	1.000	0.367
bolge3	.	**1.000**	1.000	0.100
bolge4	.	.	1.000	0.240
bolge5	.	.	1.000	0.175
bolge6	.	.	1.000	0.146
bolge7	.	**1.000**	1.000	0.210
bolge8	.	**1.000**	1.000	0.220
bolge9	.	.	1.000	0.133
bolge10	.	.	1.000	0.185
bolge11	.	.	1.000	0.138
bolge12	.	.	1.000	0.119
bolge13	.	.	1.000	0.471
bolge14	.	.	1.000	0.165
bolge15	.	**1.000**	1.000	0.196
bolge16	.	**1.000**	1.000	0.168
bolge17	.	**1.000**	1.000	0.184
bolge18	.	**1.000**	1.000	0.594
bolge19	.	**1.000**	1.000	0.138
bolge20	.	**1.000**	1.000	0.450
bolge21	.	.	1.000	0.100
bolge22	.	.	1.000	0.160
bolge23	.	.	1.000	0.350
bolge24	.	.	1.000	0.375
bolge25	.	.	1.000	0.118
bolge26	.	.	1.000	0.288
bolge27	.	.	1.000	0.058
bolge28	.	.	1.000	0.075
bolge29	.	.	1.000	0.075
VAR M1	.	**0.024**	+INF	.
VAR M2	.	**0.894**	+INF	.
VAR Z	-INF	**0.918**	+INF	.

* M1: Maksimum hane sayısı

* M2: Minimum mesafe

* Z: Toplam Doyum Derecesi

ÖZGEÇMİŞ

Adı SOYADI : Salih AKA
Doğum Tarihi ve Yeri : 02.04.1987 - Elmalı / Antalya
Medeni Durumu : Bekar

Eğitim Durumu

Mezun Olduğu Lise : Elmalı Anadolu Lisesi, Antalya, 2006
Lisans Diploması : Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, 2010
Yüksek Lisans Diploması : Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Antalya, 2015
Tez Konusu :Yer Seçimi Problemlerine Bulanık Hedef Programlama Yaklaşımı: Atık Kutularının Yerleşimi Üzerine Bir Uygulama
Yabancı Diller : İngilizce / Fransızca

Bilimsel Faaliyetler

Katıldığı Bilimsel Kongre / Sempozyumlar

- 7th World Conference on Educational Sciences, Atina, Şubat 2015
- 13. Ulusal İşletmecilik Kongresi, Kemer/Antalya, Mayıs 2014

Diğer Dergilerde Yayımlanan Makaleler

- Akyüz G., Aka S., "İmalat Performansı Ölçümü Için Alternatif Bir Yaklaşım: Tercih İndeksi (Psi) Yöntemi", Business and Economics Research Journal, no.1, pp.63-77, 2015

Sempozyum Bildiri Kitaplarında Yer Alan Yayınlar

- Aka S., Akyüz G., "Üretim Yönetimi Dersinin İşletme Bölümü Öğrencileri Özyeterlilikleri Üzerine Etkisi", 13. Ulusal İşletmecilik Kongresi, Antalya, TÜRKİYE, 8-10 Mayıs 2014, cilt.1, ss.315-321

İş Deneyimi

- Süntaş A.Ş: İş Geliştirme Analisti (Yarı Zamanlı), Kayseri, 06. 2008 - 08. 2008
- Merkez Çelik A.Ş: İş Geliştirme Analisti (Yarı Zamanlı), Kayseri, 10. 2009 - 06. 2010

Çalıştığı Kurumlar

- Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Araştırma Görevlisi, Antalya, 2011-Devam ediyor.

E-Posta : salihaka@akdeniz.edu.tr.