





A bicriteria approach for the semi-desirable facility location problem

Fatma Ersoy Duran^{1,2} , Diclehan Tezcaner Öztürk^{1*} 

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Hacettepe University, 06800, Beytepe, Ankara, Türkiye

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Tarsus University, 33400, Tarsus, Mersin, Türkiye

Highlights:

- Locating a semi-desirable facility in two-dimensional Euclidean space
- Minimization of two conflicting objectives: the total transportation cost and the maximum undesirable effect
- Representation of the nondominated frontier with an approach based on BSSS algorithm

Keywords:

- Facility location
- Semi-desirable
- Multiobjective optimization

Article Info:

Research Article

Received: 18.08.2022

Accepted: 26.02.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1164114

Correspondence:

Author: Diclehan Tezcaner Öztürk

e-mail: diclehanozturk@hacettepe.edu.tr

phone: +90 312 297 8950

Graphical/Tabular Abstract

This study addresses the location problem of a semi-desirable facility in two-dimensional Euclidean space considering two objectives. The first objective (W) minimizes the total transportation cost between the demand points and the facility. Assuming that the transportations are made on road maps, the rectilinear distance metric is used to calculate this criterion. The second objective (L) minimizes the maximum undesirable effect of the facility on the demand points. Assuming that the undesirable effects spread radially from the facility, the Euclidean distance metric is used to calculate this criterion. The undesirable effect gets a constant value within a close proximity of the facility, then decreases as the distance between the demand point and the facility increases until it becomes zero. An example problem setting with 1000 demand points and five efficient locations for the facility together with the objective values of those efficient locations are given in Figure A.

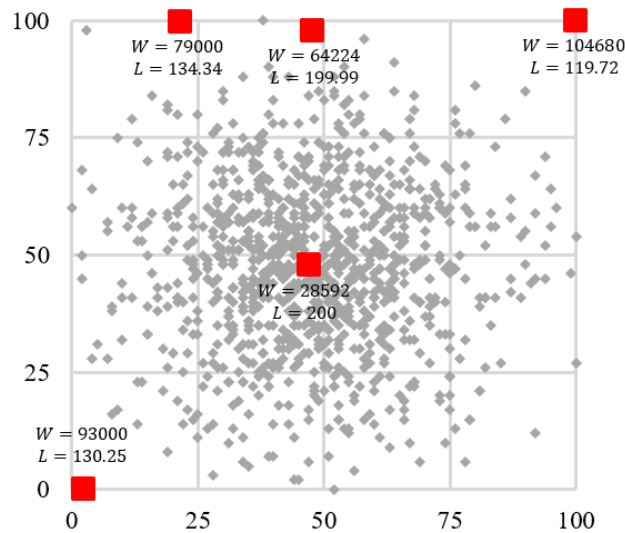


Figure A. An example with 1000 demand points and five efficient locations for the facility

Purpose:

This study aims to develop an effective algorithm for the biobjective semi-desirable facility location problem that finds several representative efficient solutions.

Theory and Methods:

A mixed-integer nonlinear programming model is developed to address the problem. Additionally, an algorithm based on the Big Square Small Square (BSSS) algorithm [10] is developed. This algorithm divides the solution space to smaller regions (sub-regions), eliminates the sub-regions that prove to have inefficient solutions effectively, and finds a representative set of efficient solutions.

Results:

We demonstrate the algorithm on two large problem instances with 500 and 1000 demand points placed randomly in a 100x100 km² space. The algorithm eliminates 56.25% and 68.75% of the solution spaces, respectively, and results in a well-dispersed set of efficient solutions.

Conclusion:

The developed algorithm eliminates the sub-regions that prove to have inefficient solutions easily and effectively for large problem instances and results in the desired number of representative efficient solutions.



Yarı-istenen tesis yer seçimi problemi için iki kriterli bir yaklaşım

Fatma Ersoy Duran^{1,2}^{ID}, Diclehan Tezcaner Öztürk^{1*}^{ID}

¹Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe, Ankara, Türkiye

²Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 33400, Tarsus, Mersin, Türkiye

ÖNEÇİKANLAR

- Bir yarı-istenen tesisin iki boyutlu uzayda yer seçimi
- İki çelişen amaçın minimizasyonu: toplam taşıma maliyeti ve maksimum istenmeyen etki
- Etkin sınırın BKKK algoritması temelli bir yöntemle temsili

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 18.08.2022

Kabul: 26.02.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1164114

Anahtar Kelimeler:

Tesis yer seçimi,
yarı-istenen,
çok amaçlı optimizasyon

ÖZ

Yarı-istenen tesisler çevrelerindeki talep noktalarına hem yakın hem de uzak olmalarını gerektiren istenen ve istenmeyen etkilere sahiptir. Bu çalışmada istenen ve istenmeyen etkilere sahip iki amaçlı yarı-istenen tesis yerleşim problemi ele alınmaktadır. İlk amaç fonksiyonu, tesis ile talep noktaları arasındaki toplam taşıma maliyetini minimize etmektedir ve tesisi talep noktalarına yakın yerleştirme eğilimindedir. Taşımaların doğrusal yollar üzerinden yapılacağı varsayılarak ilk kriter değeri hesaplanırken doğrusal mesafe metriği kullanılmıştır. İkinci amaç fonksiyonu ise tesisin talep noktalarında oluşturduğu istenmeyen etkinin maksimumunu minimize etmektedir, bu nedenle tesisi talep noktalarından uzaklaştırma eğilimindedir. Tesisin bir talep noktası üzerinde oluşturduğu istenmeyen etki, aralarındaki mesafeye bağlı bir fonksiyon ile temsil edilmiştir. Buna göre, tesisten belli bir mesafeye kadar istenmeyen etki sabit kalır, bu mesafeden sonra doğrusal olarak azalır ve sıfırlanır. İstenmeyen etkinin ise tesisten dairesel yayılacağı varsayılarak ikinci kriter değeri hesaplanırken Öklid mesafe metriği kullanılmıştır. Problemin çözümü için ilk olarak karma tamsayı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirilmiştir. İkinci bir yaklaşım olarak çözüm alanını alt bölgelere ayırarak çözüm arayan Büyük Kare Küçük Kare (BKKK) algoritması probleme uyarlanmıştır. Alt bölgelerde etkin çözüm bulunup bulunmamasını değerlendirmek için hesap yükü az olan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım büyük boyutlu iki problem üzerinde test edilmiş ve çözüm alanı daraltılarak etkin çözümlere hızlıca ulaşılabilmektedir.

A bicriteria approach for the semi-desirable facility location problem

HIGHLIGHTS

- Locating a semi-desirable facility in two-dimensional Euclidean space
- Minimization of two conflicting objectives: the total transportation cost and the maximum undesirable effect
- Representation of the nondominated frontier with an approach based on BSSS algorithm

Article Info

Research Article

Received: 18.08.2022

Accepted: 26.02.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1164114

Keywords:

Facility location,
semi-desirable,
multiobjective optimization

ABSTRACT

Semi-desirable facilities have both desirable and undesirable effects on the demand points in their vicinity, which necessitates them to be located both close to and far away from those points. In this study, a bi-objective semi-desirable facility location problem with both desirable and undesirable effects is considered. The first objective minimizes the total transportation cost between the facility and the demand points and tends to locate the facility closer to these points. Assuming that the transportations are made on road maps, the rectilinear distance metric is used to compute the first criterion. The second objective function minimizes the maximum undesirable effect of the facility on the demand points, and it thus tends to locate the facility farther from the demand points. The undesirable effect of the facility on a demand point is represented with a function based on the distance between them. The undesirable effect stays constant within a close proximity of the facility, beyond this proximity it decreases linearly and becomes zero. Assuming that the undesirable effects spread radially from the facility, the Euclidean distance metric is used to compute the second criterion. We first develop a mixed integer nonlinear programming model for the problem. As a second approach, the Big Square Small Square (BSSS) algorithm that searches for a solution by dividing the solution area into sub-regions is adapted to the problem. A mathematical model with low computational requirements is developed to effectively evaluate whether there is an efficient solution in the sub-regions or not. The approach is demonstrated on two large problem instances, in which efficient solutions are obtained quickly by reducing the solution area.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : fatmaersoy@tarsus.edu.tr, *diclehanozturk@hacettepe.edu.tr /
Tel: +90 312 297 8950

1. Giriş (Introduction)

Kurumlar açısından stratejik bir karar olan tesis yer seçimi, akademik alanda da uzun yıllardır çalışılmaktadır. Tesis yer seçiminde uygulanan genel yaklaşım, hizmet sağlanan bölgeler ile tesis arası mesafenin en aza indirilmesi, böylece minimum maliyetli hizmetin sağlanmasıdır [1]. Bunun yanı sıra, bazı tesislerin çevrelerine olumsuz etkileri olabileceği gözlenmiş ve bu tesisler istenmeyen tesisler olarak tanımlanmıştır [2]. İstenmeyen tesis yer seçimi problemlerinde amaç tesisin neden olabileceği istenmeyen etkiyi minimize etmektir. Bu nedenle tesisin talep noktalarından uzağa yerleştirilmesi hedeflenir. Ancak bazı istenmeyen tesisler, talep merkezlerine yakın olmalarını gerektiren hizmetler de sunabilirler. Bu tür hem istenen hem de istenmeyen etkilere sahip olan tesisler “Yarı-İstenen Tesisler” olarak ifade edilmektedir [2]. Yarı-istenen tesislere çöp toplama merkezleri, havaalanları ve stadyumlar örnek olarak verilebilir [3]. Yarı-istenen tesis yerleşim problemlerinde taşıma maliyetinin minimize edilmesi için tesisin talep noktalarına yakın yerleşimi istenirken aynı zamanda talep noktalarının koku, gürültü ve radyasyon gibi istenmeyen etkilere uzak tutulması, dolayısıyla tesisin talep noktalarına uzak yerleşimi de istenmektedir. Yarı-istenen tesislerin talep merkezlerine yakın olması maliyetler açısından fayda sağlarken aynı talep merkezi için çevresel endişeler de yaratabilir. Yarı-istenen tesisler bu şekilde istenen ve istenmeyen etkilere birlikte sahip oldukları için, bu iki kriterin ödünleşimini göz önüne alan uygun yerlere yerleştirilebilirler.

Yer seçimi problemleri arasında gerçek problemleri temsil etmeleri ve istenen-istenmeyen etkileri birlikte gözetmeleri nedeniyle yarı-istenen tesis yer seçimi üzerine literatürde pek çok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalar kullanılan amaç fonksiyonlarında tesis ve talep merkezleri arasındaki minimum mesafenin maksimize edilmesi [4-7] veya toplam mesafenin maksimize edilmesi [8-10], mesafe metriklerinde doğrusal [4,5] veya Öklid [3, 6] mesafe metriğinin kullanılması ve çözüm yöntemlerinde kesin [11] veya sezgisel [3, 8] yöntemlerin kullanılması şeklinde farklılık göstermektedir.

Bu çalışmada istenen ve istenmeyen etkilerin birlikte göz önünde bulundurulduğu, iki amaçlı yarı-istenen tesis yerleşim problemi ele alınmaktadır. İlk amaç fonksiyonu yerleşimi planlanan tesis ile talep noktaları arasındaki toplam taşıma maliyetini minimize etmektedir. Burada, tesis ile talep noktaları arasında doğrusal yollar üzerinde taşıma yapılacağı varsayılarak doğrusal mesafe metriği kullanılmıştır. İkinci amaç fonksiyonunda ise tesisin neden olduğu istenmeyen etki minimize edilmektedir. Koku, gürültü ve radyasyon gibi istenmeyen etkilerin tesisin dairesel yayıldığı varsayılarak, bu etki, tesis ve talep noktası arasındaki Öklid mesafesine bağlı azalan bir fonksiyon ile temsil edilmektedir. Tesisin belli bir mesafeye kadar sabit bir istenmeyen etki oluşturduğu ve bu mesafeden sonra istenmeyen etkinin doğrusal bir şekilde azalıp belli bir mesafe sonunda yok olduğu varsayılmıştır. Çalışmada, yarı-istenen tesisin talep noktaları üzerinde neden olduğu maksimum etkinin ve tesis ile talep noktaları arasındaki toplam taşıma maliyetinin minimize edilmesi amaçlanmış ve bu iki amaç fonksiyonu arası ödünleşimi içeren etkin çözümün bulunması için çözüm yolları geliştirilmiştir. Bunlardan ilki iki amaçlı karma tamsayı doğrusal olmayan bir programlama modelidir. Problemin az talep noktalı örnekleri için modelin epsilon kısıt yöntemi ile çözülmesiyle tüm etkin çözümler bulunabilirken büyük boyutlu örneklerde çözüm süreleri uzamaktadır. Çözüm için geliştirilen ikinci yöntem ise alanı küçültürken alt bölgelerde çözüm arayan Büyük Kare Küçük Kare (BKKK) algoritmasının probleme uyarlanmasıdır. Bu yaklaşımda, istenmeyen etkinin temsil edildiği parçalı fonksiyonun yapısı kullanılarak alt bölgelerin değerlendirilmesi etkin bir şekilde yapılmıştır. Her alt bölgenin değerlendirilmesinde, sadece etkilenebilecek talep miktarları gözletilmiş ve tesisin bu bölgelere yerleşimiyle etkin çözümün

bulunup bulunmayacağı kararı hesap yükü az olan bir matematiksel modelle verilmiştir. Geliştirilen çözüm yaklaşımı büyük boyutlu iki farklı veri seti üzerinde test edilmiştir.

Ele alınan problem yapısının temel özellikleri istenmeyen etkinin Öklid mesafesine bağlı parçalı azalan bir fonksiyon ile temsil edilmesi ve problemde hizmet noktaları üzerindeki maksimum istenmeyen etkinin minimize edilmesi. Literatürde istenmeyen etkinin benzer şekilde temsil edildiği çalışmalar toplam istenmeyen etkiyi minimize etmeyi amaçlamışlardır. Bilgimiz dahilinde literatürde bu problem bizim ele aldığımız şekilde çalışılmamıştır. İstenmeyen etkiyi parçalı azalan bir fonksiyon ile temsil eden problemler sezgisel yöntemlerle çözülmüş ve bu problemlere kesin çözüm yaklaşımları geliştirilmemiştir. Bu çalışma ile problem farklı bir şekilde yapılmış, problemin matematiksel modeli oluşturulmuş ve BKKK algoritması temelli bir kesin çözüm yöntemi geliştirilmiştir.

Makalenin geri kalan kısmı şu şekilde tasarlanmıştır. Bölüm 2’de yarı-istenen tesis yer seçimi problemi ile ilgili literatüre yer verilmiştir. Bölüm 3’te problemin tanımı yapılmış ve matematiksel model anlatılmıştır. Bölüm 4’te BKKK algoritmasından ve algoritmanın probleme uyarlanmasından bahsedilmiştir. Bölüm 5’te önerilen çözüm yönteminin test problemleri üzerindeki uygulama sonuçları gösterilmiştir. Son bölümde ise sonuçlara ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara yer verilmiştir.

2. Literatür Taraması (Literature Review)

Literatürde, birden fazla kriter gözetilen istenmeyen tesis yerleşim problemleri üzerine çalışmalar mevcuttur. Alamatsaz vd. [12] istenmeyen tesislerin olumsuz etkilerini en aza indirmek için toplam kapsanmayan talebi ve tesisler arası minimum mesafeyi maksimize etmeyi amaç olarak belirlemiştir. Problemlerine epsilon kısıt yöntemi ve bir genetik algoritma ile yaklaşmışlardır. Colmenar vd. [13] iki kriter gözettilen p tane tesisin yer seçimi probleminde talep noktalarının en yakınlarındaki tesis ile olan mesafe toplamını ve tesisler arası minimum mesafelerin toplamını maksimize etmişlerdir. Probleme çok amaçlı memetik algoritma geliştirmişlerdir. Lin ve Guan [14] ise istenmeyen tesis yerleşim problemini tek kriter gözeterek ele almışlardır. Talep noktalarının kendilerine en yakın tesise olan mesafelerinin toplamını maksimize ettikleri problemlerine parçacık sürü optimizasyonu yöntemi ile çözüm geliştirmişlerdir. Church ve Drezner [1], istenmeyen tesis yer seçimi üzerine yapılan çalışmalarını özetlemişlerdir.

Yarı-istenen tesis yerleşim problemleri özelinde literatürdeki çalışmalara bakıldığında çoğunluğun bir tesisin yerleşim yerini belirleyen çalışmalar olduğu, bunun yanı sıra daha az sayıda birden çok tesis yerleşimini inceleyen çalışmaların da bulunduğu görülmektedir [2, 3, 15]. Bu çalışmada da, literatürdeki çalışmalara benzer şekilde, istenen ve istenmeyen etkileri dikkate alan iki amaç fonksiyonu gözetilerek, bir tesisin yerleşim yeri belirlenmektedir. Bu problemlerde genellikle ilk amaç fonksiyonu olarak taşıma maliyetleri minimize edilmekte ve bu amaç fonksiyonunun ele alımı kullanılan mesafe metriğine göre farklılaşmaktadır. İstenmeyen etkinin en aza indirilmesi olan ikinci amaç fonksiyonu ise yapısı ve mesafe metriğine göre literatürde çeşitlilik göstermektedir. Bu bölümün devamında, yarı-istenen tesis yerleşim probleminin her iki amacına yönelik bir sınıflandırma yer almaktadır.

Yarı-istenen tesis yerleşiminde ilk kriter olarak gözetilen taşıma maliyetleri, literatürdeki çalışmaların neredeyse tamamında tesis ve talep noktaları arasındaki mesafeye bağlı olup minimize edilmektedir. Taşımaların doğrusal yollarla yapılacağı, dolayısıyla tesis ve talep merkezleri arasında doğrusal mesafe metriği kullanılarak toplam

mesafenin hesaplandığı çalışmalar [4,5,16] ve Öklid mesafe metriği kullanan çalışmalar bulunmaktadır [3, 6, 17]. İstenmeyen etkileri temsil eden ikinci kriterin kullanımında, amaç fonksiyonu, mesafe metriği ve çözüm yöntemine göre literatürde farklılıklar bulunmaktadır. Çalışmalar amaç fonksiyonu açısından gruplandığında, ilk grupta istenmeyen etkiyi tesis ve talep merkezleri arasındaki minimum mesafenin maksimize edilmesi olarak temsil eden çalışmalar bulunmaktadır. Ohsawa ve Tamura [4], bu kriterin hesabında doğrusal ve Öklid metriklerini de içeren farklı metrikler kullanmış, çözüm için ise polinom zamanlı algoritmalar geliştirmişlerdir. Heydari ve Melachrinoudis [7] bu kriter değerinin hesabında eliptik mesafe metriği kullanmışlardır. Problemlerine üç fazlı bir çözüm algoritması geliştirmişler ve bu yöntemi Massachusetts şehrinde bir örnek üzerinde uygulamışlardır. Karasakal ve Nadirler [5] ise çalışmalarında doğrusal mesafe metriği kullanmışlardır. Çözüm için uygun alanı alt bölgelere ayırarak ilerleyen Büyük Kare Küçük Kare (BKKK) algoritmasını problemlerine uyarlamışlardır. Plastria vd. [6] ise talep noktalarına yakın yerleşimi amaçlarken aynı zamanda belli bölgelere uzak yerleşim yapmaya da çalışmıştır. Tek kritere indirgedikleri problemin gerekli optimalite koşullarını belirlemişlerdir.

Yapılan sınıflandırmanın ikinci grubunda, istenmeyen etkiyi tesis ve talep merkezleri arasındaki toplam mesafenin maksimize edilmesi olarak temsil eden çalışmalar bulunmaktadır. Yapıcıoğlu vd. [8] bu kriter değerini mesafeye bağlı iki kademeli bir fonksiyon ile temsil etmişlerdir. Olası tesisin belli bir mesafeye kadar maksimum etki seviyesi olduğunu, tesisin uzaklaştıkça etki miktarının azalacağını ve tesisin belirli bir mesafe uzaklıkta istenmeyen etkinin kalmayacağını varsamışlardır. Öklid veya doğrusal mesafe metriği kullanabildikleri problemlerinde, bir ve iki amaçlı geliştirdikleri parçacık sürü optimizasyonu yöntemini kullanmışlardır. Ortigosa vd. [9] bu kriter hesabını doğrusal ya da Öklid mesafe metriği ile ele almışlardır. Problem çözümünde amaç fonksiyonlarının konveks ve konveks olmayan yapılarını dikkate alan ve global bir optimizasyon algoritması ile kullanılabilir bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Skriver ve Andersen [10] iki kriter değeri için de Öklid mesafe metriği kullanmışlardır. Problemlerine tüm alanı alt bölgelere indirgeyerek çözüm arayan BKKK algoritmasını uygulamışlardır. İndirgenmiş bölgelerin alt ve üst limit değerleri ile bölgeyi temsil eden kriter değerleri kıyaslanarak, etkin olmadığı ispatlanan alt bölgeleri silmişlerdir. Coutinho-Rodrigues vd. [11] çalışmalarında metrik olarak ağ üzerindeki en kısa yol mesafelerini kullanmışlardır. Geliştirdikleri iki amaçlı matematiksel modeli farklı kısıtlarla tekrarlı olarak çözerek etkin çözümlere ulaşmışlardır. Wagner [16] çalışmasında hem istenen hem istenmeyen etkiyi doğrusal mesafe metriği ile hesaplamıştır. Tek kritere indirdikleri problemlerinin çözümü için dual ve primal problemleri ortak kullanmışlardır. Teran-Somohano ve Smith [3] birden fazla tesis yerleşimini dikkate aldıkları çalışmalarında toplam istenmeyen etkiyi Yapıcıoğlu vd.'nin [8] geliştirdiği parçalı fonksiyon ile temsil etmiş ve fonksiyonu açılan tesisin kapasitesini de içerecek şekilde güncellemişlerdir. Öklid mesafe metriği kullanmışlar ve istenmeyen etki miktarını belirli mesafe seviyelerine göre değerlendirmişlerdir. Problemlerine iki amaçlı parçacık sürü optimizasyonu algoritması uygulamışlardır. Ma vd. [18] ise çalışmalarında kentsel atık yönetiminde hem merkezlerin yerlerini hem de merkezlerin yapacağı atık toplama rotalarını bulmayı amaçlamışlardır. Problemin yer seçimi kısmında, merkezler kaynaklı oluşan istenmeyen etkiyi Teran-Somohano ve Smith'in [3] çalışmasından esinlendikleri parçalı fonksiyon yapısı ile ifade etmişlerdir. Öklid mesafe metriği kullanmışlar ve problemlerine hibrit bir metasezgisel algoritma geliştirmişlerdir.

Özetlenen çalışmalardan farklı olarak, Golpayegani vd. [19], çalışmalarında iki amaçlı yarı-istenlen çizgi yer seçimi problemini ele almış ve Öklid mesafe metriği kullanmışlardır. Aynı problem için

Golpayegani vd. [20] doğrusal mesafe metriği kullanmış ve probleme parçacık sürü optimizasyonu yöntemi geliştirmişlerdir. Gholami ve Fathali [21] ise iki amaçlı yarı-istenlen çember yer seçimi problemini ele almışlardır. Öklid mesafe metriği kullandıkları çalışmalarında bir metasezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Fathali vd. [22] istenmeyen ve yarı-istenlen tesis yerleşim problemleri için iki tesis sunucusu yer seçimi problemini ele almışlardır. Tüm düğümlerle çalışan sunucular arasındaki beklenen ağırlıklı toplam mesafeyi minimize etmeye çalışmışlardır. Düğümlerin ağırlıkları, problemin istenmeyen veya yarı-istenlen oluşuna göre pozitif veya negatif değerler alabilmektedir. Ayrıca, yarı-istenlen tesis problemleri için literatürde sunulan iki amaçlı problemlerin yanı sıra Fernández vd. [23] bu problemi üç amaç fonksiyonu ile ele almışlardır. Çalışmada ilk amaç toplam ağırlıklı mesafenin minimize edilmesini, ikinci amaç istenmeyen etkilerin ifade edildiği toplam sosyal maliyetin minimize edilmesini, üçüncü amaç ise istenmeyen etkinin etkilenen talepler arasında eşit dağıtılmasını gözetmektedir. Problemin çözümü için iki çok amaçlı evrimsel algoritma kullanmışlardır. Hammad vd. [24] ise mevcut bir yarı-istenlen tesisin yakınına bu tesisin etkilenen farklı tesislerin yerleşimi problemlerini ele almışlardır. Dört kriter gözettikleri problem için iki seviyeli bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Şahin ve Türkbey [25] çok amaçlı yer seçimi problemleri için iki metasezgisel birlikte kullanılan bir algoritma geliştirmiş ve bu algoritmayı dört kriterli yer seçimi problemi için uygulamışlardır. Barbati vd. [26] beş kriter gözettikleri yer seçimi problemlerinin çözümünü için etkileşimli genetik algoritma uygulamışlardır. Supçiller ve Bayramoğlu [27] ise rüzgar santrali yerleşimi problemi için dört ana başlıkta kriterleri toplamış ve farklı çok kriterli karar verme yöntemleri kullanarak en iyi yerleşim yerine karar vermiştir.

Bu çalışma, istenmeyen etkinin yayılımında iki kademeli bir fonksiyon yapısı kullanarak bu etkinin maksimum değerinin minimize edilmesine odaklanmaktadır. Literatürde itme kriterini benzer kademeli fonksiyon yapısıyla inceleyen çalışmalarda toplam mesafe gözetilmiştir. Bu çalışmada ise yerleştirilecek tesisin kaynaklı en yüksek istenmeyen etki minimize edilerek bu istenmeyen etkinin talep noktaları arasında olabildiğince eşit yayılımı amaçlanmaktadır. Bilgimiz dahilinde çalışmamız problemi bu şekilde ele alan ilk çalışmadır. Literatürde, itme kriterini benzer fonksiyon yapısıyla inceleyen ve toplam mesafeyi minimize eden çalışmalar probleme sezgisel yöntemler geliştirmişlerdir. Bizim yaklaşımımızda ise problem için kesin çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Problemin matematiksel modeli geliştirildikten sonra çözüm yöntemi olarak BKKK algoritması temelli bir yaklaşım çalışılmıştır. Geliştirilen yaklaşımda, istenmeyen etkinin fonksiyon yapısı kullanılarak alt bölgeler etkin bir şekilde değerlendirilmiş ve iki amaç fonksiyonu arası dönüşümü içeren gerçek etkin çözümler bulunmuştur. Henüz çalışılmamış bir problemin yapısının tanımlanması ve bu problem özelinde geliştirilen çözüm yaklaşımı çalışmamızın başlıca ayırt edici özellikleridir.

3. Problem Tanımı (Problem Definition)

Bu bölümde çalışmada ele alınan yarı-istenlen tesis yer seçimi problemi tanımlanmaktadır. Problem istenen ve istenmeyen etkilerin ifade edildiği iki amaç fonksiyonuna sahiptir. İlk amaç fonksiyonu toplam taşıma maliyetinin minimize edilmesi, ikinci amaç fonksiyonu ise maksimum istenmeyen etkinin minimize edilmesidir.

Toplam taşıma maliyeti (W) hesaplanırken, taşımaların yerleştirilecek tesis ve talep noktaları arasında doğrusal yollar üzerinden yapılacağı düşünülerek [28] doğrusal mesafe metriği kullanılmıştır [4, 5, 16]. Bu maliyetin en aza indirilmesi için tesisin talep noktalarına yakın yerleştirilmesi gerekmektedir, dolayısıyla bu amaç fonksiyonu istenen etki/çekme amacı olarak ifade edilebilir. Gidilen mesafe başı maliyetin tüm talep noktaları ile tesis arasında aynı olduğu

varsayılarak bu kriter hesabında toplam mesafe kullanılmıştır. İkinci amaç fonksiyonu (L) hesabında, tesisden istenmeyen etkinin (koku, gürültü, radyasyon vb.) dairesel yayılacağı düşünülerek tesisin talep noktaları üzerindeki istenmeyen etkisinin aradaki Öklid mesafesine bağlı olarak değişeceği varsayılmıştır. Literatürde benzer varsayımı yapan çalışmalar olduğu gibi [6, 23], bu mesafenin daha basitleştirilmiş bir temsili olan doğrusal mesafeyi kullanan çalışmalar da bulunmaktadır [5, 15, 16]. Bu çalışmada istenmeyen etki, Yapicioglu vd.'nin [8] çalışmasında geliştirilen fonksiyon ile temsil edilmektedir. İstenmeyen etkinin yayılımı ve mesafeye bağlı değişimi Şekil 1'de gösterilmiştir. Tesis kaynaklı istenmeyen etki belli bir mesafeye (d_1) kadar sabit değer alır, bu mesafeden sonra etki doğrusal bir şekilde azalır ve belli bir mesafeden (d_2) sonra etki hissedilmemektedir, yani istenmeyen etki sıfır olur. İstenmeyen etkinin mesafeye bağlı değişimi Eş. 1'deki parçalı fonksiyon ile tanımlanmıştır.

Tesis, yerleştirildiği yere bağlı olarak her talep noktasında farklı bir istenmeyen etki yaratacaktır. Bu istenmeyen etkinin tüm talep noktalarında dengeli hissedilmesi için problemdeki amaç fonksiyonunda sebep olunan maksimum etkinin minimize edilmesi amaçlanmıştır.

$$L = \left(\max_i L_i \right)$$

$$L_i = \begin{cases} R, & \text{eğer } d_i \leq d_1 \\ R - s(d_i - d_1), & \text{eğer } d_1 < d_i < d_2 \\ 0, & \text{eğer } d_2 \leq d_i \end{cases} \quad (1)$$

- L : talep noktalarındaki maksimum istenmeyen etki
- L_i : i talep noktasındaki istenmeyen etki
- d_i : i talep noktası ile tesis arasındaki Öklid mesafesi ($i = 1, 2, \dots, N$)
- R : istenmeyen etkinin maksimum seviyesi
- s : istenmeyen etkinin mesafeye azalma katsayısı
- d_1 : tesis kaynaklı istenmeyen etkinin en fazla hissedildiği dairesel alanın yarıçapı
- d_2 : tesis kaynaklı istenmeyen etkinin hissedildiği dairesel alanın yarıçapı

Yukarıda tanımlanan yarı-istenilen tesis yerleşim problemi için geliştirilen iki amaçlı matematiksel model aşağıda verilmiştir. Modelin amacı iki boyutlu uzayda tesisin yerleşim yerini

(x_1, x_2) belirlemektir. Burada i . talep noktasının koordinatları (b_i^1, b_i^2) ile gösterilmektedir.

$$\text{Min } W \quad (2)$$

$$\text{Min } L \quad (3)$$

Kısıtlar

$$W = \sum_{i=1}^N f_i \quad i = 1, \dots, N \quad (4)$$

$$a_i^j - u_i^j = x_j - b_i^j \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, 2 \quad (5)$$

$$a_i^j - o_i^j = b_i^j - x_j \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, 2 \quad (6)$$

$$u_i^j \leq M * t_i^j \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, 2 \quad (7)$$

$$o_i^j \leq M * (1 - t_i^j) \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, 2 \quad (8)$$

$$f_i = a_i^1 + a_i^2 \quad i = 1, \dots, N \quad (9)$$

$$d_i^2 = (x_1 - b_i^1)^2 + (x_2 - b_i^2)^2 \quad i = 1, \dots, N \quad (10)$$

$$k_i^1 - k_i^2 = d_i - d_1 \quad i = 1, \dots, N \quad (11)$$

$$k_i^1 \leq M * y_i \quad i = 1, \dots, N \quad (12)$$

$$k_i^2 \leq M * (1 - y_i) \quad i = 1, \dots, N \quad (13)$$

$$L_i \geq R * (1 - y_i) \quad i = 1, \dots, N \quad (14)$$

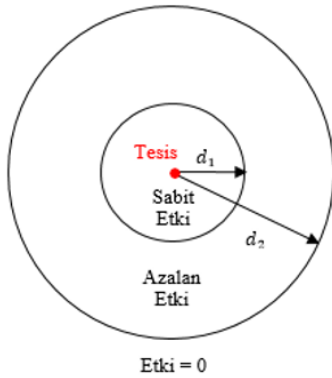
$$L_i \geq R - s * k_i^1 \quad i = 1, \dots, N \quad (15)$$

$$L \geq L_i \quad i = 1, \dots, N \quad (16)$$

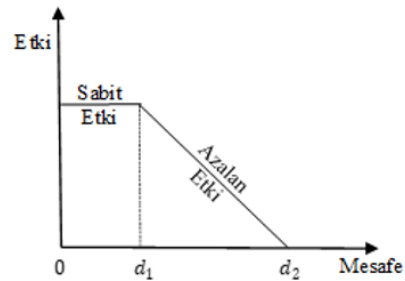
$$x \in X \quad (17)$$

$$a_i^j, u_i^j, o_i^j, k_i^1, k_i^2, d_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, 2 \quad (18)$$

$$t_i^j, y_i \in \{0, 1\} \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, 2 \quad (19)$$



(a)



(b)

Şekil 1. İstenmeyen etkinin seviyeleri (a) ve mesafeye bağlı fonksiyon yapısı (b) [8]
(The levels of the undesirable effect (a) and its distance-based function structure (b) [8])

Eş. 2 ve Eş. 3 ile sırasıyla, toplam taşıma maliyeti ve maksimum istenmeyen etki minimize edilir. Eş. 5-Eş. 9 ile tesis ve i . talep noktası arası doğrusal mesafeler (f_i), Sayın'ın çalışmasında [29] geliştirilen matematiksel model temel alınarak hesaplanmıştır. Eş. 5 ve Eş. 6'daki eşitsizliklerden birinin eşitlik olarak kalmasını garantilemek için u_i^j ve o_i^j değişkenleri tanımlanmış ve bu değişkenlerin en az birinin sıfır olması ikili değişken (t_i^j) ile sağlanmıştır. Burada kullanılan a_i^1 x-boyutundaki, a_i^2 ise y-boyutundaki doğrusal mesafe değeridir. Eş. 10'da etkilenen her bir talep noktası ile tesis arasındaki Öklid mesafesi (d_i) hesaplanmıştır. Bu Öklid mesafeleri kullanılarak, Eş. 11, Eş. 12 ve Eş. 13'te k_1^1 ve k_1^2 'den sadece birinin değer alması ikili değişken (y_i) ile sağlanmıştır. Eş. 14 ve Eş. 15'te L_i ile tesisin talep noktası i üzerindeki istenmeyen etkisi hesaplanmıştır. Detaylı olarak, talep noktası i tesisin sabit etki yarattığı bölge içinde yer alıyorsa ($d_i \leq d_1$ ise), k_1^2 değer alır ve y_i sıfırlanır. Bu da istenmeyen etki, L_i , değerini R'ye eşitler. Talep noktası i azalan etki bölgesinde ise ($d_1 < d_i < d_2$ ise), k_1^1 değer alır. Eş. 15 ile L_i değeri $R - s(d_i - d_1)$ değerine eşitlenir. Talep noktası tesisin etki etmediği bölgede ise ($d_i \geq d_2$ ise), $R - s(d_i - d_1) \leq 0$ olduğu varsayılır ve L_i değeri sıfırlanır. Eş. 16 ile minimize etmeyi amaçladığımız istenmeyen etkinin en büyüğü (L) bulunur. Eş. 17, $X = \{x \in \mathbb{R}^2: g_{k1}x_1 + g_{k2}x_2 \leq h_k, k = 1, \dots, K\}$, K kısıt ile tesisin yerleşebileceği uygun bölgeyi, x_1 ve x_2 'nin alabileceği değerleri sınırlandırarak belirtir. Eş. 18 ile pozitif değişkenler, Eş. 19 ile 0-1 değişkenleri tanımlanmıştır.

Geliştirilen model, karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modelidir ve çözümü için doğrusal olmayan çözümler kullanılabilir. Problemin az talep noktalı örnekleri için epsilon-kısıt yöntemi [30] ile matematiksel model çözülerek tüm etkin çözümler hesaplanabilir. Talep noktalarının sayısı arttıkça etkin çözümlerin bulunması zorlaşır [31]. Bir sonraki bölümde, büyük boyutlu problemlere anlamlı sürelerde çözüm bulabilmek için alanı küçültürük çözüm arayan BKKK algoritması anlatılmıştır.

4. Büyük Kare Küçük Kare Algoritması (The Big Square Small Square Algorithm)

Literatürde tesis yer seçimi problemlerinde kullanılan BKKK algoritması temelinde tesisin yerleşebileceği bölgenin alt bölgelere bölünerek değerlendirilmesi prensibi yatmaktadır. Tesisin her alt bölgeye yerleşimi ile amaç fonksiyonlarının alabileceği değerler için limitler bulunur ve bir bölgeye yerleşimin başka bölge yerleşimleri tarafından domine edileceği sonucuna varılırsa, o bölge olası çözüm kümesinden elenir.

Hansen vd. [32], tek kriter gözettiler istenmeyen tesis yer seçimi problemi için BKKK algoritmasını geliştirmişlerdir. Uygulama alanını küçük karelere bölüp bu bölgelerin elenme koşullarını geliştirmişlerdir. Plastria [33] BKKK algoritmasına Faz II aşamasını ekleyerek, Genelleştirilmiş Büyük Kare Küçük Kare (GBKKK) algoritmasını geliştirmiştir. Alt bölgeleri iki ayrı fazda değerlendirerek optimal yerleşimin bulunabileceği bölgeleri belirlemeyi amaçlamışlardır. Skriver ve Andersen [10], problemin iki kriterli versiyonu için BKKK algoritmasını uyarlamışlardır. Her bölge için belirledikleri alt ve üst limit değerlerini kullanarak etkin olmadığı ispatlanan alt bölgeleri silmişlerdir. Karasakal ve Nadirler [5], Plastria'nın [33] geliştirdiği GBKKK algoritmasını, toplam ağırlıklı taşıma maliyetlerini minimize ettikleri ve minimum mesafeyi maksimize ettikleri iki amaçlı yarı-istenen tesis yerleşim problemlerine uyarlamışlardır. Yönteme Faz III aşamasını ekleyerek, etkin çözüm bulandıran alt bölgelerde seçim için karar vericiye kesin ve yaklaşık olmak üzere iki çözüm prosedürü sunmuşlardır.

Bu çalışmada ele alınan yarı-istenen tesis yerleşimi probleminin çözümünde, Skriver ve Andersen'in [10] yarı-istenen tesis yerleşimi

için geliştirdikleri BKKK algoritması, istenmeyen etkinin kademeli bir fonksiyon ile temsil edildiği problemimize uyarlanmıştır. Tüm bölgeyi alt bölgelere bölme, her bölge için etkili olan talep noktalarını belirleme, ideal noktalara bakarak bölge eliminasyonu sağlama fikirlerinde Karasakal ve Nadirler'in [5] çalışmasından esinlenilmiştir. Önceki çalışmalardan farklı olarak istenmeyen etkinin kademeli bir fonksiyon ile temsil edilmesi, alt bölgelerin etkin çözüm bulundurup bulundurmamaları açısından iki gruba ayrılmalarını sağlamıştır. Ayrıca, etkin çözüm bulundurma ihtimali olmayan bölgelerin belirlenmesi için sadece Öklid mesafe hesabına dayanan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Her alt bölge için elde edilen model sonucu, etkili talep noktalarının belirlenmesinde de kullanılmıştır. Problem özelinde geliştirdiğimiz mekanizmalar, alt bölge tipleri ve bu tiplerin nasıl belirlendiği bir sonraki kısımda anlatılmıştır.

4.1 Alt Bölgelerin Değerlendirilmesi (Evaluation of the sub-regions)

Ele alınan problemde, alt bölgeler Tip I ve II olmak üzere iki çeşittir. Tüm alt bölgelerin oluşturduğu kümeye B , Tip k alt bölge kümesine B^k dersek, $B = B^I \cup B^{II}$ eşitliği sağlanmaktadır. Etkin çözümler kümesinde, toplam taşıma maliyetini minimize eden çözümün ilk amaç fonksiyon değerinin \underline{W} , buraya yerleşim yapıldığında en yakın talep noktası ile arasındaki Öklid mesafesinin $d_{\underline{W}}$, istenmeyen etkinin de \bar{L} olduğunu varsayalım. Problemin örnek bir etkin sınırı ve (\underline{W}, \bar{L}) amaç fonksiyon değerlerine sahip uç çözümü Şekil 2'de gösterilmiştir.

Öncelikle bu uç çözüm değerlendirildiğinde, eğer $d_{\underline{W}} > d_1$ ise problemin uç çözümünün yerleşiminde tesise en yakın bulunan talep noktası en içteki (istenmeyen etkinin en fazla hissedildiği) dairesel alana düşmeyecektir. Bu durumda $\bar{L} < R$ değerini alır. Eğer $d_{\underline{W}} \leq d_1$ ise, $\bar{L} = R$ olur. Başka bir durum ise $d_{\underline{W}}$ değerinin d_2 'den daha büyük eşit olmasıdır. Eğer $d_{\underline{W}} \geq d_2$ ise problemde $(\underline{W}, 0)$ amaç fonksiyon değerlerine sahip tek etkin çözüm vardır ve bu çözüm en iyi yerleşim yeri olarak seçilir.

I. Tip olarak adlandırdığımız bölgelere yerleşim yapıldığında elde edilecek çözümler, (\underline{W}, \bar{L}) uç çözümü tarafından domine edilirler ve bu çözümler Şekil 2'de taranmış alanda bulunurlar. Dolayısıyla Tip I bölgelerde etkin çözüm bulunma ihtimali yoktur ve Tip I alt bölgeler değerlendirilecek bölgeler kümesinden silinir. II. Tip olarak adlandırılan bölgelerde ise etkin çözüm bulunma ihtimali vardır. Bu nedenle bu bölgeler değerlendirilecek bölge kümesinde kalmaya devam eder.

Bölge tipine aşağıda verilen matematiksel model (*ModelMesafe*) ile karar verilir.

(*ModelMesafe*)

Maks d

Kısıtlar

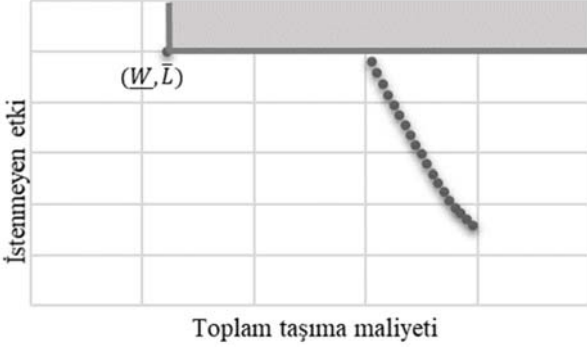
$$d \leq d_i \quad i = 1, \dots, N \quad (20)$$

$$d_i^2 = (x_1 - b_i^1)^2 + (x_2 - b_i^2)^2 \quad i = 1, \dots, N \quad (21)$$

$$x \in X \quad (22)$$

Bu model ile, "değerlendirilen alt bölgede tesis hangi noktaya yerleşsin ki kendisine en yakın talep noktasına uzaklığı maksimum olsun" sorusuna cevap aranır. Modelde d_i , talep noktası i ile

yerleştirilen tesis arasındaki Öklid mesafesine (Eş. 21 ile), d ise bu mesafelerin minimumuna (Eş. 20 ile) eşitlenir. Eş. 22 ile tesisin olurlu bir noktaya yerleşmesi sağlanır. Model sonucu elde edilen (\bar{x}_1, \bar{x}_2) , tesisin bu bölgede yerleşebileceği istenmeyen etkinin en az olacağı nokta olacaktır. Model çözümü ile alt bölge b için amaç fonksiyonunun d_b çıktığını varsayalım. Bu durumda, bu alt bölgede tesisin yerleşebileceği herhangi bir nokta j 'nin en yakın talep noktasına uzaklığı $d_j \leq d_b$ olacaktır. Bu değer d_b ile $\max\{d_w, d_1\}$ arasında karşılaştırma yapılarak alt bölgenin tipine karar verilebilir.



Şekil 2. Uç çözüm (\underline{W}, \bar{L}) ve domine ettiği alan (Extreme solution (\underline{W}, \bar{L}) and the area it dominates)

Eğer $d_b \leq \max\{d_w, d_1\}$ ise, (\bar{x}_1, \bar{x}_2) noktasına yerleşimde istenmeyen etki değeri $L_b \geq \bar{L}$ olur ve bu bölgede bulunan herhangi bir nokta j 'ye tesis yerleşiminin istenmeyen etki değeri $L_j \geq L_b \geq \bar{L}$ olur. Dolayısıyla, bu bölgeye yapılacak herhangi bir yerleşim, (\underline{W}, \bar{L}) amaç fonksiyonuna sahip uç çözüm tarafından domine edilir. Eğer $d_b > \max\{d_w, d_1\}$ ise, bu bölgedeki olası yerleşimlerin uç çözüm tarafından domine edildiği söylenemez. Bu bölgelerde çözüm aranmasına devam edilir. Özet olarak, $d_b \leq \max\{d_w, d_1\}$ ise bölgenin Tip I olduğu ve elenebileceği, aksi durumda ise bölgenin Tip II olduğu ve bu bölgede çözüm aranabileceği sonucuna varılır.

4.1.1. Algoritma adımları (Steps of the algorithm)

Bu kısımda öncelikle geliştirilen algoritma adımları özet olarak verilecektir. Daha sonra ilgili algoritma basamakları detaylandırılacaktır.

B1. Toplam taşıma maliyetinin minimum değere sahip olduğu uç çözümü temsilen bir çözüm bulun. Bu çözümün toplam taşıma maliyetini W ve istenmeyen etki değerini L' ile gösterin. Yerleştirilen tesise en yakın talep noktası ile arasındaki mesafeyi d_w' ile gösterin. Eğer $d_w' \geq d_2$ ise problemin tek etkin çözümü olan $(\underline{W}, \bar{L}')$ çözümünü karar vericiye sunun ve algoritmayı sonlandırın.

B2. Tesisin yerleşebileceği çözüm alanını alt bölgelere bölün. Tüm alt bölgelerin bulunduğu küme B^* 'yi oluşturun.

B3. Tüm $b \in B$ için aşağıdaki basamakları uygulayın.

B3.1. Tesis alt bölge b 'ye yerleşirse etkilenecek talep noktaları ile N_b kümesini oluşturun.

B3.2. Alt bölge b 'nin tipini belirleyin ve I. Tip bölge ise eleyin.

B3.3. ModelMesafe sonucu N_b kümesini güncelleyin.

B3.4. Tip II alt bölge b 'nin uç çözümlerini bulun ve ideal noktasını hesaplayın.

Tüm bölgeler değerlendirilince problemin gerçek uç çözümlerini bulun. Tek etkin çözüm varsa algoritmayı sonlandırın. Eğer (\underline{W}, \bar{L}) uç çözümü güncellenirse, B^I ve B^{II} kümelerini de güncelleyin.

B4. Tip II bölgeler, $b \in B^{II}$ için aşağıdaki basamakları uygulayın.

B4.1. Bölge b 'de tesisi rastgele yerleştirip her yerleşimin iki kriter değerini hesaplayın.

B4.2. Rastgele yerleşimlerin herhangi bir bölge b 'nin ($b \in B^{II}$) ideal noktasını domine edip etmediğine bakın. İdeal noktası domine edilen bölgeyi eleyin.

B5. B4 sonunda kalan bölgelerle B^E kümesini oluşturun. Bu bölgelerde belli sayıda etkin çözüm üretin.

B6. Etkin sınırdaki yer alan çözümleri ve B^E kümesini karar vericiye sunun. Karar verici daha detaylı arama yapmak isterse her b bölgesini ($b \in B^E$) dörde bölüp elde edilen bölgelerle B kümesini oluşturun ve B3 basamağına geri dönün.

Algoritmanın akış şeması Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Çözüm yöntemi akış şeması (Flowchart of the solution approach)

Adım 1: Uç çözümü temsil eden $(\underline{W}, \bar{L}')$ 'nin bulunması (Step 1: Finding $(\underline{W}, \bar{L}')$ that represents the extreme solution)

Algoritmanın ilk basamağında toplam taşıma maliyetimizin minimize edildiği ilk uç çözümü temsilen bir çözüm bulunur. Bunun için, aşağıda yer alan doğrusal karma tamsayı programlama modeli çözülür. Model, Öklid mesafe hesabını içeren ikinci kriteri gözetmediği için doğrusal bir modeldir.

$$\underline{W} = \text{Min } W$$

Kısıtlar

$$W = \sum_{i=1}^N f_i \quad i = 1, \dots, N \quad (23)$$

$$a_i^j \geq x_j - b_i^j \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, 2 \quad (24)$$

$$a_i^j \geq b_i^j - x_j \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, 2 \quad (25)$$

$$f_i = a_i^1 + a_i^2 \quad i = 1, \dots, N \quad (26)$$

$$x \in X \quad (27)$$

Modelde kullanılan değişkenler ve parametreler Eş. 2-19 ile gösterilen model ile aynıdır. Tesisin her talep noktası ile arasındaki mesafe iki boyutta Eş. 24 ve 25 ile bulunurken, doğrusal mesafe Eş. 26 ile bulunur. Bu mesafelerin toplamı ilk kriter değerine Eş. 23 ile eşitlenir. Eş. 27 ile tesisin olurlu bir noktaya yerleşmesi sağlanır. Burada ikinci kriter gözlemlenmeden çözüm yapıldığı için bulunan çözümün ilk kriter değeri gerçek uç çözümün ilk kriter değerine eşit olurken, ikinci kriter değeri gerçek uç çözümün değerinden daha büyük ya da eşittir. Bu nedenle bu çözüme temsili uç çözüm denmiştir.

Model sonucu elde edilen tesis yerleşim noktası ile tüm talep noktaları arasındaki Öklid mesafesi hesaplanabilir. En yakın talep noktası ile arasındaki mesafe $d_{W'}$ ile gösterildiği durumda, eğer tesis istenmeyen etkinin hissedildiği dairesele alanın içinde yer almıyorsa ($d_{W'} \geq d_2$ ise) problemin tek etkin çözümü vardır ve bu çözüm temsili çözüme (\underline{W}, \bar{L}') eşittir. Bu çözüm karar vericiye sunulurken algoritma sonlandırılır. Aksi durumda algoritmaya devam edilir.

Adım 2: Alanı alt bölgelere bölme
(Step 2: Dividing the area to sub-regions)

Bu basamakta, çözüm alanı daha küçük alt bölgelere bölünür. Alan bölme işlemi, her bir kareyi birbirine eş dört kareye bölerek, Şekil 4'te gösterildiği gibi gerçekleştirilmektedir.

Adım 3: Bölge tipinin belirlenmesi
(Step 3: Determining the type of the region)

Bu adımda, alt bölgelerin değerlendirilmesi için öncelikle her alt bölgenin etkileyeceği talep noktalarından oluşan N_b kümesi oluşturulur ve B kümesinde yer alan her alt bölge için sınıflandırma yapılır. I. Tip alt bölgeler elenir ve etkin sınırdaki çözüm bulundurma ihtimali olan II. Tip alt bölgelerin ideal noktaları hesaplanır.

Adım 3.1: Talep noktası azaltma (Step 3.1: Eliminating the demand points)

Her alt bölgede, bölge sınırları ve tesisin neden olduğu istenmeyen etki seviyeleri dikkate alınarak, Karasakal ve Nadirler'in [5] uygulamasına benzer olarak, talep noktalarında azaltma yapılmıştır.

Şekil 5a'da altıncı karesel bölge değerlendirilirken etkilenecek ve etkilenecek talep noktaları gösterilmiştir. İlgili bölgeye tesis yerleşimi yapılırsa etkilenecek talepler (N_b kümesi) içi boyanmış dairelerle gösterilmiştir. Burada tesisten d_2 uzaklıkta istenmeyen etkinin sıfır olduğu bilindiğine göre alt bölgenin sınırlarından d_2 uzaklıkta yer alan talep noktalarının ikinci kriter değerine etkileri yoktur. Bu talep noktaları ise içi boş dairelerle gösterilmiştir. Bu sebeple istenmeyen etki miktarı sıfır olan talepler bu kriter hesabında kullanılmaz. Alt bölgeye tesis yerleştirilirken istenmeyen etki miktarı sadece ilgili bölgenin azaltılmış talep noktaları gözlemlenerek hesaplanır.

Adım 3.2: Bölge tipi belirleme
(Step 3.2: Determining the type of the region)

Alt bölgelerin bölge tipini belirlemek için *ModelMesafe* çözülür. Burada Eş. 20 ve Eş. 21'de kullanılan N kümesi yerine N_b kümesi kullanılır. Alt bölge b için model sonucu d_b ile temsili uç çözümün en yakın talep noktasına mesafesi, $d_{W'}$, karşılaştırılır. Temsili uç çözüm için yapılan yerleşimde $d_{W'} \leq d_{W'}$ dir, dolayısıyla $\bar{L}' \geq \bar{L}$ eşitsizliği sağlanır. Eğer $d_b \leq \max\{d_{W'}, d_1\}$ ise $d_b \leq \max\{d_{W'}, d_1\}$ de olduğu ve $L_b \geq \bar{L}' \geq \bar{L}$ olduğu söylenebilir. Bu nedenle temsili uç çözüm ile elenen bölgeler, gerçek uç çözüm ile de elenmektedir. Aksi durumda ise bölgenin Tip II olduğu ve bu bölgede çözüm aranabileceği sonucuna varılır.

Adım 3.3: N_b kümesini güncelleme (Step 3.3: Updating the set N_b)

ModelMesafe sonucu alt bölge b için elde edilen d_b değeri, b bölgesine yerleşebilecek olan tesisin yeni etki sınırını temsil etmektedir. Dolayısıyla d_b mesafesinin ötesinde yer alan talep noktalarının ikinci kriter değerine etkileri yoktur. Şekil 5b ile, altıncı karesel bölgenin, d_b mesafesinin dikkate alındığı güncel azaltılmış talep noktaları gösterilmiştir. d_2 mesafesi ile temsil edilen gri alan, d_b mesafesinin temsil ettiği kırmızı alana daraltılmıştır. Yeni talepler kırmızı alanda yer alan içi boyanmış dairelerle temsil edilir ve N_b kümesi güncellenir. Bu adımdan sonra b bölgesine tesis yerleştirilirken istenmeyen etki miktarı daha da azaltılmış güncel talep noktaları (N_b kümesi) gözlemlenerek hesaplanır.

Adım 3.4: İdeal nokta bulma (Step 3.4: Finding the ideal point)

Her bölgenin toplam taşıma maliyetinin minimize edildiği ilk uç çözümü ($\underline{W}_b, \bar{L}_b$) için aşağıdaki karışık tamsayı doğrusal olmayan programlama modeli çözülür. Etki miktarının da çok küçük pozitif bir katsayı (ρ) ile Eş. 28'de verilen amaç fonksiyonunda yer alması ile etkin çözümlere ulaşılması garantilenir. Burada Eş. 10-16'da N kümesi yerine N_b kümesi kullanılır.

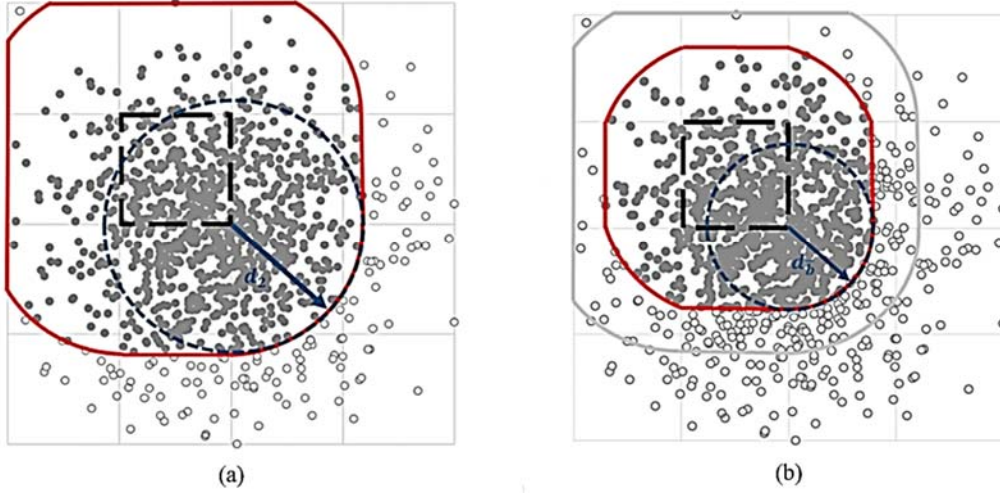
$$\text{Min } z = W + \rho L \quad (28)$$

Kısıtlar

$$(4) - (19)$$



Şekil 4. Çözüm alanının alt bölgelere bölünmesi (Division of the area into sub-regions)



Şekil 5. d_2 mesafesi (a) ve d_b mesafesi (b) gözülerek etkilenen talep noktalarının bulunması
(The demand points that are affected considering the d_2 distance (a) and the d_b distance (b))

Her bölgenin istenmeyen etkinin minimize edildiği ikinci uç çözümünde $(\bar{W}_b, \underline{L}_b)$ ise, üstteki yapıya benzer şekilde, aşağıdaki karışık tamsayı doğrusal olmayan programlama modeli çözülür. Bu modelde maksimum etki minimize edilirken toplam taşıma maliyeti etkin çözüm bulunmasını garantilemek için Eş. 29'da verilen amaç fonksiyonuna küçük bir katsayı ile eklenmiştir.

$$\text{Min } z = L + \rho W \quad (29)$$

Kısıtlar

$$(4) - (19)$$

Uç çözümlerde bulunan kriter değerleri kullanılarak alt bölgenin ideal noktası $(\underline{W}_b, \underline{L}_b)$ belirlenir. Ayrıca, tüm bölgelerin uç çözümleri kullanılarak problemin uç noktaları $(\underline{W}, \underline{L})$ ve (\bar{W}, \bar{L}) bulunur. Bu değerlerden \bar{L} Eş. 30 ile, \underline{L} Eş. 31 ile ve \bar{W} Eş. 32 ile bulunur.

$$\bar{L} = \min_{b \in B: \underline{W}_b = \bar{W}} \bar{L}_b \quad (30)$$

$$\underline{L} = \min_{b \in B} \underline{L}_b \quad (31)$$

$$\bar{W} = \min_{b \in B: \underline{L}_b = \bar{L}} \bar{W}_b \quad (32)$$

Adım 4: Tip II bölgelerin değerlendirilmesi
(Step 4: Evaluating the Type-II regions)

Adım 4.1: Rastgele yerleşim yerleri üretme
(Step 4.1: Generating random locations)

Tip II bölgelerde R tane rastgele tesis yerleşim yeri, alt bölgenin x ve y koordinatındaki alt ve üst sınırları arasında rastgele sayılar atanarak üretilir. Örnek çözümlerde bölgelerin etkin çözümlerinin belli bölgelerde yoğunlaştığı ve çoğunun x ve y koordinatlarının bölgenin uç çözümlerinin x ve y koordinatları arasında kaldığı görülmüştür. Bu nedenle, rastgele üretilen noktaların %80'i uç noktalara denk gelen tesis yerleşimleri arasında, kalanı ise tüm alanda olacak şekilde üretilir. Üretilen tesis yerleşimlerinin iki kriter değeri (L, W) hesaplanır. Bu noktaların birbirini domine etme durumları kontrol edilir. Domine edilmeyen noktalar liste halinde tutulur ve algoritmanın bir sonraki adımına geçilir.

Adım 4.2: Bölge silme (Step 4.2: Eliminating regions)

4.1 adımında üretilen noktaların kriter değerleri herhangi bir alt bölgenin ideal noktasını domine ediyorsa o alt bölge silinir. Domine edilmeyen bölgeler ile bir sonraki adıma geçilir. B^{II} kümesinde yer alan tüm alt bölgeler için bu baskınlık kontrolü yapılır.

Adım 5: Etkin çözümlerin bulunması (Step 5: Finding efficient solutions)

Adım 4 sonucu kalan bölgeler ile etkin çözüm bulunma ihtimali olan B^E kümesi oluşturulur. Problemin iki uç çözümünün arasında belli sayıda nokta bulunur. Bunun için uç çözümlerin ikinci kriter (L) değeri aralığı (\underline{L}, \bar{L}) karar vericinin belirlediği sayıda eşit aralığa bölünür. Epsilon değerleri (ϵ) bu aralıklara denk gelen L değerlerine eşitlenir ve bu değerler modelde Eş. 33'te kullanılır. B^E kümesinde yer alan tüm bölgelerin etkin sınırında yer alan her epsilon değeri için aşağıdaki model çözülür. Model çözümünde Eş. 10-16'da N kümesi yerine N_b kümesi kullanılır. Aynı epsilon değeri farklı bölgelerde de çözülürse bu çözümlerden domine edilenler silinir.

$$\text{Min } z = W + \rho L$$

Kısıtlar

$$L \leq \epsilon \quad (33)$$

$$(4) - (19)$$

Adım 6: Etkin çözümlerin karar vericiye sunulması
(Step 6: Presenting the efficient solutions to the decision maker)

Elde edilen çözümler kullanılarak problemin etkin sınırı belirlenir. Etkin sınırındaki çözümler ve B^E kümesi karar vericiye sunulur. Karar verici detaylı arama yapmak isterse B^E kümesinde yer alan her b bölgesi dörde bölünerek yeni B kümesini oluşturulur ve B3 adımına dönülerek algoritma adımları tekrarlanır.

5. Sayısal Sonuçlar (Computational Results)

Bu çalışmada geliştirilen algoritma, 500 ve 1000 talep noktasının $100 \times 100 \text{ km}^2$ 'lik alanda bulunduğu iki farklı örnekte uygulanmıştır. Uygulaması yapılan iki örnek için Yapicioglu vd.'nin [8] çalışmalarında kullandıkları parametreler probleme göre modifiye edilmiş ve Tablo 1'de verilmiştir.

Algoritma MATLAB R2020a programında yazılmıştır. Geliştirilen matematiksel modeller GAMS 24.2'de çözülmüş ve karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama modellerinde çözücü olarak BARON 12.4 kullanılmıştır. 500 talep noktasına sahip problemde ortalama 36 saniye işlem süresi (CPU time), 1000 talep noktasına sahip problemde ise ortalama 62 saniye işlem süresi (CPU time) içinde çözüme ulaşılmıştır. Çalışmalar Intel Core i7-1065G7 CPU 1.50 GHz işlemci, 8 GB RAM özelliklerine sahip bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

Örnek 1 (Example 1)

İki boyutlu bir çözüm alanında 500 talep merkezine hizmet verme amaçlı bir yarı-istenen tesis yer seçimi problemi ele alınmıştır. Uygun alanın her kenar uzunluğu 100 km olarak alınmıştır. Talep noktalarının iki koordinat değerleri $[0, 100]$ arasında kesikli tekdüze dağılım kullanılarak rastgele atanmıştır. Algoritmanın ilk adımında, toplam taşıma maliyetinin minimize edildiği ilk temsili uç çözüm bulunmuş ve tesis (49,45) noktasına yerleştirilmiştir. Bu yerleşimin amaç fonksiyon değerleri $\bar{L}' = 200$, $\underline{W} = 14335$ 'tir ve en yakın talep noktasının tesise uzaklığı, $d_{\underline{W}}' = 0,89$ km'dir. Algoritmanın ikinci basamağında çözüm alanı kenar uzunluğu 25 km olan 16 alt bölgeye bölünmüştür.

Adım 3'te *ModelMesafe* kullanılarak tüm alt bölgelerin bölge tipi belirlenmiştir. Alt bölgelerin etkilediği talep noktalarının toplam sayısı ve çözüm sonuçları Tablo 2'de ikinci-dördüncü sütunda gösterilmiştir. Etkin çözüm bulundurma ihtimali olmayan I. Tip bölgeler (B5, B6, B7, B9, B10, B11) elenmiştir. Bu bölgelerden B10'da problemin temsili uç çözümü bulunmaktadır. Bu bölge Tip I olduğu için başka bir etkin çözüm bulundurmamaktadır. Bu nedenle bu bölgeye algoritmanın dördüncü basamağında bakılmamaktadır. II. Tip bölgeler için d_b mesafesinin dikkate alındığı güncel talep noktaları belirlenmiş ve ilgili alt bölgenin N_b kümesi güncellenmiştir (Tablo 2, beşinci sütun). Bu adımda elenen alt bölgeler Şekil 7'de siyah çizgilerle gösterilmiştir.

Tip II bölgelerin uç noktaları hesaplanmış ve problemin gerçek uç noktaları (14335,200) ve (51125,56,48) olarak bulunmuştur. Adım 1'de kullanılan temsili uç çözümün gerçek uç çözüm olduğu görülmüştür. II. Tip bölgelerde $R=20$ rastgele tesis yerleşim yeri üretilmiş ve bu yerlerin amaç fonksiyon değerleri hesaplanmıştır. Adım 4 dikkate alınarak B3 bölgesinin çözümleri ile B2 ve B14 bölgelerinin idealleri ve B16 bölgesinin çözümleri ile B8 bölgesinin ideali domine edilmiştir (Şekil 6). Elenen alt bölgeler Şekil 7'de kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Bu basamak sonunda, çözüm alanının %56,25'i elenmiştir.

B^E kümesinde yer alan alt bölgeler için karar vericinin 15 adet eşit aralıklı istenmeyen etki değeri belirlediği varsayılmıştır. Problemin 15 çözümlü etkin sınırı Şekil 8'de gösterilmiştir. Algoritma sonucu kalan alt bölgeler (B^E) ve etkin yerleşim yerleri karar vericiye tercihlerine uygun en iyi yer seçimini belirlemesi için sunulmuştur (Şekil 9). Burada bazı bölgelerden etkin çözüm bulunmaması (Örneğin B3), eşit aralıkla belirlenen 15 tane L değerinin o bölgelerdeki çözümlere denk gelmemesinden kaynaklanmaktadır.

Örnek 2 (Example 2)

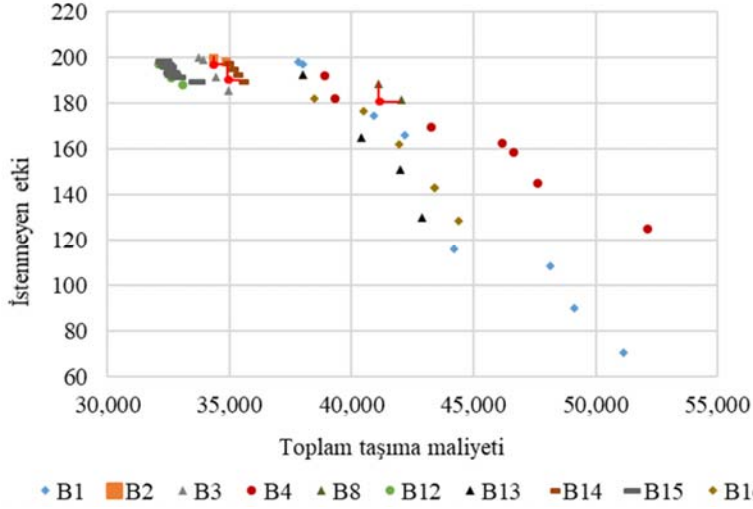
İki boyutlu çözüm alanında bu kez 1000 talep merkezine hizmet verme amaçlı bir yarı-istenen tesis yer seçimi problemi ele alınmıştır. Uygun alanın her kenar uzunluğu Örnek 1'de olduğu gibi 100 km olarak alınmış ve talep noktalarının iki koordinat değerleri $[0,100]$ arasında kesikli tekdüze dağılım kullanılarak rastgele atanmıştır. Temsili ilk uç çözümde tesis (47,48) noktasına yerleştirilmiştir. Bu yerleşimin amaç fonksiyon değerleri $\bar{L}' = 200$, $\underline{W} = 28592$ 'dir ve en yakın talep noktasının tesise uzaklığı, $d_{\underline{W}}' = 0,52$ km'dir. Algoritmanın ikinci basamağında çözüm alanı kenar uzunluğu 25 km olan 16 alt bölgeye bölünmüştür. Adım 3'deki *ModelMesafe* kullanılarak tüm alt bölgelerin bölge tipi belirlenmiştir, sonuçlar Örnek 1'e benzer şekilde Tablo 3'te sunulmuştur. Bu bölgelerden B10'da problemin temsili uç çözümü bulunmaktadır. Bu bölge Tip I olduğu için başka bir etkin çözüm bulundurmamaktadır.

Tablo 1. Girdi Parametreleri (Input Parameters)

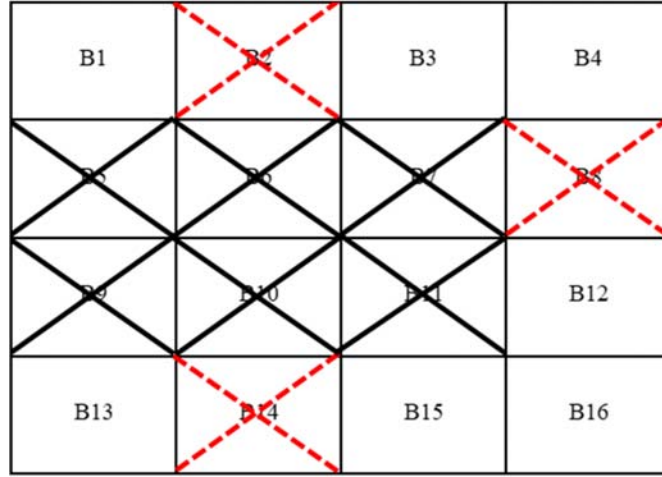
Parametre	Değer
İstenmeyen etkinin maksimum seviyesi (R)	200
İstenmeyen etkinin mesafe ile azalma katsayısı (s)	10
Tesis kaynaklı istenmeyen etkinin en fazla hissedildiği alanın yarıçapı (d_1)	10
Tesis kaynaklı istenmeyen etkinin hissedildiği alanın yarıçapı (d_2)	30

Tablo 2. Adım 3 sonuçları (The results of Step 3)

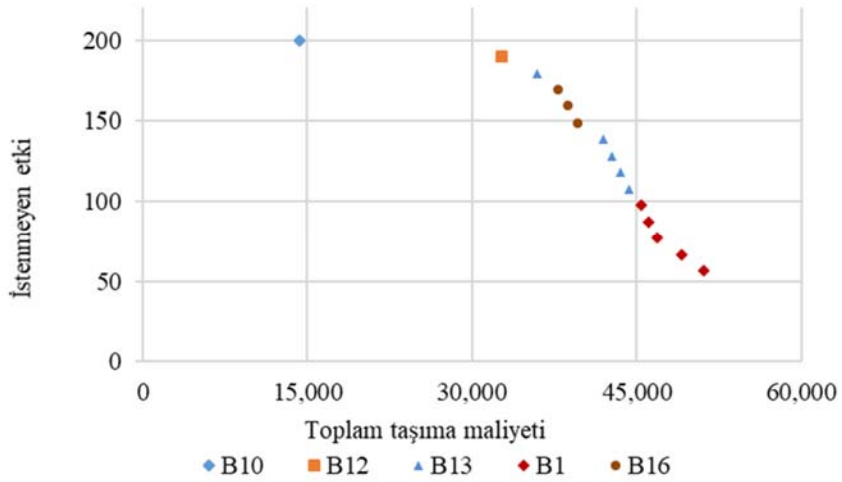
Alt Bölge	Etkilenen Talep Noktası Sayısı (Adım 3.1)	ModelMesafe Amaç Fonksiyon Değeri (d_b)	Bölge Tipi	II. Tip Bölgeler için Etkilenen Talep Noktası Sayısı (Adım 3.3)
B1	165	24,35	II. Tip	80
B2	246	10,78	II. Tip	53
B3	248	11,52	II. Tip	55
B4	153	22,83	II. Tip	60
B5	298	8,83	I. Tip	-
B6	445	5,01	I. Tip	-
B7	445	4,25	I. Tip	-
B8	269	13,08	II. Tip	84
B9	310	8,54	I. Tip	-
B10	461	4,51	I. Tip	-
B11	459	4,49	I. Tip	-
B12	275	11,30	II. Tip	68
B13	230	22,47	II. Tip	112
B14	334	11,31	II. Tip	110
B15	332	11,06	II. Tip	112
B16	199	22,63	II. Tip	80



Şekil 6. Kalan alt bölgelerin baskılanmayan rastgele çözümleri (Random nondominated solutions of remaining sub-regions)



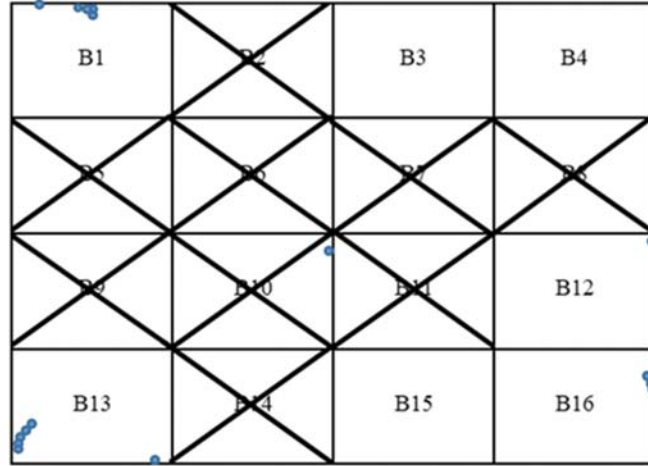
Şekil 7. Adım 3 (-) ve Adım 4 (···) sonucu kalan alt bölgeler (Remaining sub-regions at the end of Step 3 (-) and Step 4 (···))



Şekil 8. Karar vericiye sunulan etkin çözüm kümesi (Set of efficient solutions presented to the decision maker)

Tip II bölgelerin uç noktaları hesaplanmış ve problemin gerçek uç noktaları (28592, 200) ve (104680, 119,72) olarak bulunmuştur. Adım 1'de kullanılan temsili uç çözümün gerçek uç çözüm olduğu

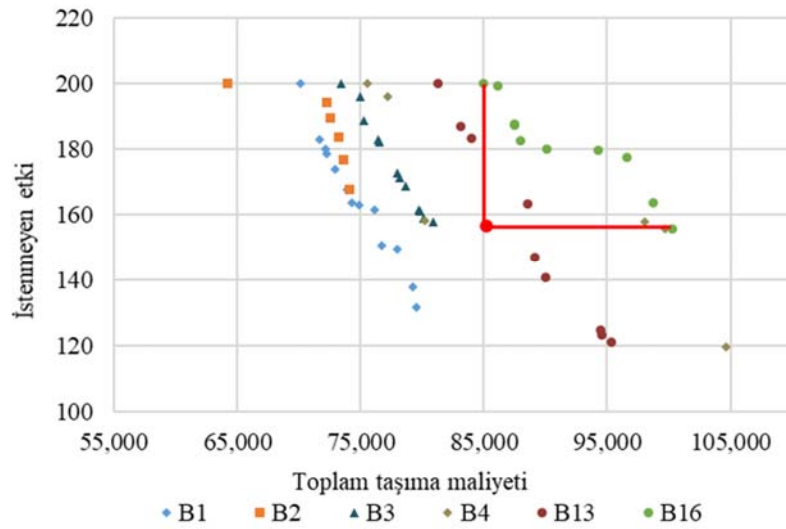
görülmüştür. II. Tip bölgelerde $R = 20$ rastgele yerleşim yeri üretilmiş ve amaç fonksiyon değerleri hesaplanmıştır. Adım 4 ile B16 bölgesi, B1 bölgesi tarafından elenir (Şekil 10). Elenen alt bölgeler Şekil 11'de



Şekil 9. Algoritma sonucu kalan alt bölgeler ve etkin yerleşim yerleri (Remaining sub-regions and efficient locations at the end of the algorithm)

Tablo 3. Adım 3 sonuçları (The results of Step 3)

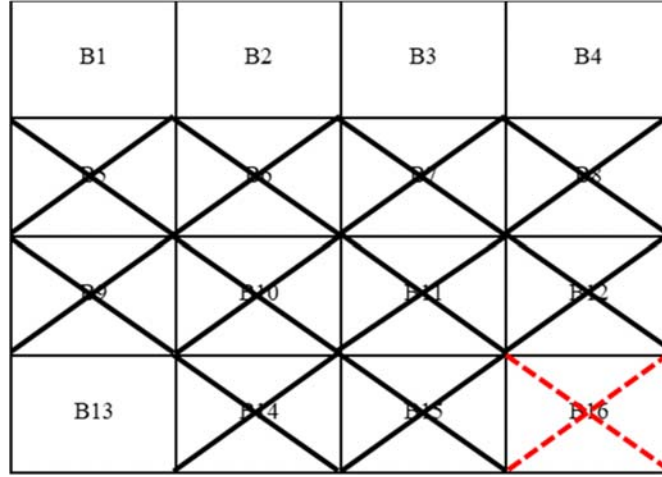
Alt Bölge	Etkilenen Talep Noktası Sayısı (Adım 3.1)	ModelMesafe Amaç Fonksiyon Değeri ($d_{\bar{f}}$)	Bölge Tipi	II. Tip Bölgeler için Etkilenen Talep Noktası Sayısı (Adım 3.3)
B1	380	16,82	II. Tip	60
B2	545	13,21	II. Tip	166
B3	536	14,21	II. Tip	154
B4	313	18,03	II. Tip	80
B5	632	7,72	I. Tip	-
B6	892	3,31	I. Tip	-
B7	877	4,77	I. Tip	-
B8	511	7,21	I. Tip	-
B9	654	8,00	I. Tip	-
B10	929	2,99	I. Tip	-
B11	913	3,91	I. Tip	-
B12	528	9,59	I. Tip	-
B13	438	17,89	II. Tip	129
B14	619	6,01	I. Tip	-
B15	610	8,30	I. Tip	-
B16	353	14,42	II. Tip	60



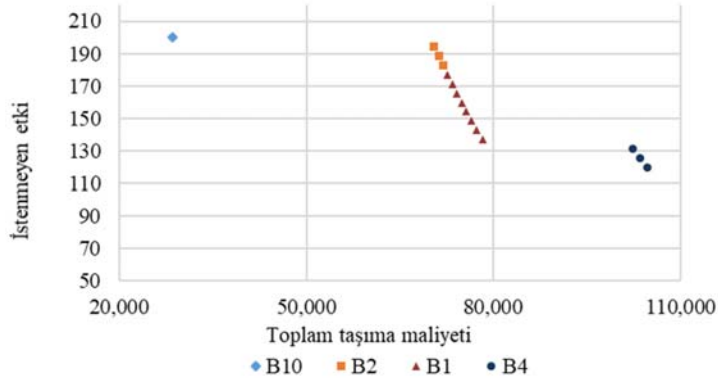
Şekil 10. Kalan alt bölgelerin baskılanmayan rastgele çözümleri (Random nondominated solutions of remaining sub-regions)

gösterilmiştir. Çözüm alanının %68,75'i bu adım sonunda elenmiştir. B^E kümesinde yer alan bölgeler için Örnek 1'de olduğu gibi karar

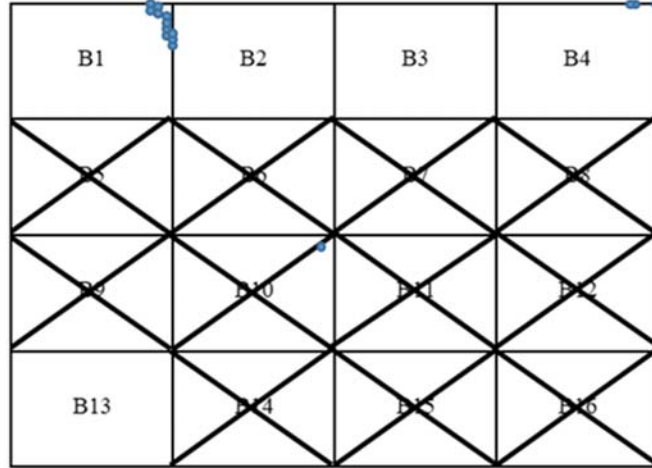
vericinin 15 adet eşit aralıklı istenmeyen etki değeri belirlediği varsayılmıştır. Problemin 15 çözümlü etkin sınırı Şekil 12'de



Şekil 11. Adım 3 (-) ve Adım 4 (···) sonucu kalan alt bölgeler (Remaining sub-regions at the end of Step 3 (-) and Step 4 (···))



Şekil 12. Karar vericiye sunulan etkin çözüm kümesi (Set of efficient solutions presented to the decision maker)



Şekil 13. Algoritma sonucu kalan alt bölgeler ve etkin yerleşim yerleri (Remaining sub-regions and efficient locations at the end of the algorithm)

gösterilmiştir. Algoritma sonucu kalan alt bölgeler (B^E) ve etkin yerleşim yerleri karar vericiye tercihlerine uygun en iyi yer seçimini belirlemesi için sunulmuştur (Şekil 13).

6. Sonuçlar (Conclusions)

Bu makalede istenen ve istenmeyen etkilerin birlikte göz önünde bulundurulduğu iki amaçlı yarı-istenen tesis yerleşim problemi ele

alınmıştır. Problemin ilk amacı toplam taşıma maliyetinin, ikinci amacı ise maksimum istenmeyen etkinin minimize edilmesidir. Toplam taşıma maliyeti tesis ile talep noktaları arası doğrusal mesafe ile, istenmeyen etki ise tesis ile talep noktası arası Öklid mesafesine bağlı parçalı bir fonksiyon ile temsil edilmiştir. Problemin çözümü için öncelikle bir matematiksel model geliştirilmiştir. İkinci çözüm yöntemi olarak ise problemi alt bölgelere ayırarak etkin çözümleri bulan BKKK algoritması probleme uyarlanmıştır. Bu algoritmada,

problemi küçültmek ve hesaplama sürelerini azaltmak adına ikinci kriter değeri hesabı için etki sınırları dikkate alınarak talep miktarı azaltılmıştır. Alt bölgelerin sınıflandırılması için sadece mesafeye dayanan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu sınıflandırma ile alt bölgelerin etkin çözüm verip vermeyeceği değerlendirilmiş ve verme ihtimali olanların etkileyeceği talep miktarları güncellenmiştir. Algoritma sonucu belli sayıda etkin çözüm karar vericiye sunulmuştur. Geliştirilen algoritma 500 ve 1000 talep merkezli problemler üzerinde test edilmiştir. Algoritma sonucu makul sürelerde olası alanlar indirgenerek etkin çözümler elde edilmiştir.

Çalışmada ele alınan problem ile gerçeğe yakın yarı-istenen tesis yerleşim problemleri temsil edebilir. Bu yapılırken, geliştirilen algoritmanın varsayımları göz önünde bulundurulmalı ve algoritmanın verdiği çözüm buna göre yorumlanmalıdır. Algoritmanın en önemli varsayımlarından biri tüm alanın tesis yerleşimi için uygun olduğudur. Gerçek uygulamada yerleşimin mümkün olmayacağı alanların belirlenerek çözüm kümesinden çıkarılması ve algoritmanın bu duruma göre uyarlanması gerekebilir. Bir diğer varsayım ise istenmeyen etki hesabında tesis yeri ile talep noktalarının arasının sadece kuş uçuşu mesafe ile değerlendirilmesi ve yeryüzü şekillerinin bu etki hesabında gözletilmemesidir. Gerçek uygulamada talep noktaları ile tesisin yerleşebileceği olası yerler arasında gerçek etki mesafesi gözetilebilir.

Problemin ve çalışma farklı yönlerde geliştirilebilir. Öncelikle, problem, kapasite ve/veya kapsama alanı kısıtlamaları getirilerek geliştirilebilir. Tesise belli bir yakınlığa kadar yerleşime izin verilmediği durum için algoritma uyarlanabilir. Bir tesisin yerleşimi yerine birden fazla tesisin yerleştirileceği problemler ele alınabilir. Probleme daha kısa sürede iyi çözümler bulabilecek metasezgisel yöntemler uyarlanabilir. Metasezgisel yöntemlerle elde edilen çözümler, çözüm süreleri de göz önüne alınarak hesaplanan gerçek çözümler ile kıyaslanabilir. Ayrıca, karar vericinin olduğu durumlarda tüm çözümleri bulmak yerine karar vericinin tercih edeceği çözümlerin bulunması üzerine algoritma güncellenebilir.

Kaynaklar (References)

- Church, R. L., Drezner, Z., Review of obnoxious facilities location problems, *Computers & Operations Research*, 138, 105468, 2022.
- Erkut E., Neuman S., Analytical models for locating undesirable facilities, *European Journal of Operational Research*, 40 (3), 275–291, 1989.
- Teran-Somohano A., Smith A. E., Locating multiple capacitated semi-obnoxious facilities using evolutionary strategies, *Computers & Industrial Engineering*, 133, 303-316, 2019.
- Ohsawa Y., Tamura K., Efficient location for a semi-obnoxious facility, *Annals of Operations Research*, 123 (1), 173-188, 2003.
- Karasakal E., Nadirler D., An interactive solution approach for a bi-objective semi-desirable location problem, *Journal of Global Optimization*, 42 (2), 177-199, 2008.
- Plastria F., Gordillo J., Carrizosa E., Locating a semi-obnoxious covering facility with repelling polygonal regions, *Discrete Applied Mathematics*, 161 (16-17), 2604-2623, 2013.
- Heydari R., Melachrinoudis E., Location of a semi-obnoxious facility with elliptic maximin and network minisum objectives, *European Journal of Operational Research*, 223 (2), 452-460, 2012.
- Yapicioglu H., Smith A. E., Dozier G., Solving the semi-desirable facility location problem using bi-objective particle swarm, *European Journal of Operational Research*, 177 (2), 733-749, 2007.
- Ortigosa P. M., Hendrix E. M., & Redondo J. L., On heuristic bi-criterion methods for semi-obnoxious facility location, *Computational Optimization and Applications*, 61 (1), 205-217, 2015.
- Skriver A. J., Andersen K. A., The bicriterion semi-obnoxious location problem (BSLP) solved by an ϵ -approximation, *European Journal of Operational Research*, 146 (3), 517-528, 2003.
- Coutinho-Rodrigues J., Tralhão L., Alçada-Almeida L., A bi-objective modeling approach applied to an urban semi-desirable facility location problem, *European Journal of Operational Research*, 223 (1), 203-213, 2012.
- Alamatsaz, K., Fatemi Ghomi, S. M. T., Iranpoor, M., Minimal covering unrestricted location of obnoxious facilities: bi-objective formulation and a case study, *OPSEARCH*, 58 (2), 351-373, 2021.
- Colmenar, J. M., Martí, R., Duarte, A., Multi-objective memetic optimization for the bi-objective obnoxious p-median problem, *Knowledge-Based Systems*, 144, 88-101, 2018.
- Lin, G., Guan, J., A hybrid binary particle swarm optimization for the obnoxious p-median problem, *Information Sciences*, 425, 1-17, 2018.
- Berman, O., Wang, Q., Locating semi-obnoxious facilities with expropriation: minisum criterion, *Journal of the Operational Research Society*, 58 (3), 378-390, 2007.
- Wagner A., Locating a semi-obnoxious facility in the special case of Manhattan distances, *Mathematical Methods of Operations Research*, 90 (2), 255-270, 2019.
- Ohsawa Y., Bicriteria Euclidean location associated with maximin and minimax criteria, *Naval Research Logistics (NRL)*, 47 (7), 581-592, 2000.
- Ma, Y., Zhang, W., Feng, C., Lev, B., Li, Z., A bi-level multi-objective location-routing model for municipal waste management with obnoxious effects, *Waste Management*, 135, 109-121, 2021.
- Golpayegani M., Fathali J., Khosravi E., Median line location problem with positive and negative weights and Euclidean norm, *Neural Computing and Applications*, 24 (3), 613-619, 2014.
- Golpayegani M., Fathali J., Moradi H., A particle swarm optimization method for semi-obnoxious line location problem with rectilinear norm, *Computers & Industrial Engineering*, 109, 71-78, 2017.
- Gholami M., Fathali J., The semi-obnoxious minisum circle location problem with Euclidean norm, *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications*, 12 (1), 669-678, 2021.
- Fathali, J., Nazari, M., Mahdevar, K., Semi-obnoxious backup 2-median problem on a tree, *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, 8 (2), 159-168, 2021.
- Fernández J., Redondo J. L., Arrondo A. G., Ortigosa P. M., A triobjective model for locating a public semiobnoxious facility in the plane, *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.
- Hammad, A. W., Rey, D., Akbarnezhad, A., A bi-level mixed integer programming model to solve the multi-servicing facility location problem, minimising negative impacts due to an existing semi-obnoxious facility, *Data and Decision Sciences in Action*, 381-395, 2018.
- Şahin R., Türkbey O., A new hybrid heuristic algorithm for the multi objective facility layout problem, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25 (1), 119-130, 2010.
- Barbati, M., Corrente, S., Greco, S., Multiobjective Combinatorial optimization with interactive evolutionary algorithms: the case of facility location problems, *arXiv preprint arXiv:2203.03922*, 2022.
- Supçiller A.A., Bayramoğlu S., Wind farm location selection with interval grey numbers based I-GRA and grey EDAS methods, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (4), 1847-1860, 2020.
- Brimberg, J., Juel, H., A minisum model with forbidden regions for locating a semi-desirable facility in the plane, *Location Science*, 6 (1-4), 109-120, 1998.
- Sayin, S., A mixed integer programming formulation for the 1-maximin problem, *Journal of the Operational Research Society*, 51 (3), 371-375, 2000.
- Chankong, V., Haimes, Y. Y., Multiobjective decision making: theory and methodology. *Noth-Holland Series in System Science and Engineering*, 62-109, 1983.
- Yiğit V., Türkbey O., An approach to the facility location problems with hill-climbing and simulated annealing, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 18 (4), 45-56, 2003.
- Hansen P., Peeters D., Thisse, J. F., On the location of an obnoxious facility, *Sistemi Urbani*, 3, 299-317, 1981.
- Plastria, F., GBSS: the generalized big square small square method for planar single-facility location, *European Journal of Operational Research*, 62 (2), 163-174, 1992.