

**YARI-İSTENEN TESİS YERLEŞİM PROBLEMLERİ İÇİN
İKİ AMAÇLI YAKLAŞIMLAR**

**BI-OBJECTIVE APPROACHES FOR SEMI-OBNOXIOUS
FACILITY LOCATION PROBLEMS**

FATMA ERSOY

DR. ÖĞR. ÜYESİ DİCLEHAN TEZCANER ÖZTÜRK

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

ÖZET

YARI-İSTENEN TESİS YERLEŞİM PROBLEMLERİ İÇİN İKİ AMAÇLI YAKLAŞIMLAR

Fatma ERSOY

Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Diclehan TEZCANER ÖZTÜRK

Nisan 2022, 54 sayfa

Bir tesisin yerleşiminin çevresindeki noktalara hem yakın olması hem de oluşturduğu istenmeyen etkiler nedeniyle uzak olması gerekirse bu tesisler yarı-istenen tesis olarak tanımlanır. Bu tezde, iki amaçlı yarı-istenen tesis yerleşim problemi ele alınmaktadır. İlk amaç fonksiyonu yerleştirmeyi planladığımız tesis ve talep noktaları arası taşıma maliyetlerini minimize etmektedir. Taşıma maliyetinin tesis ve talep noktaları arasındaki doğrusal mesafeyle orantılı olduğu varsayılmıştır. İkinci amaç fonksiyonu ise tesisin oluşturduğu istenmeyen etkiyi temsil etmekte ve tesis ile talep noktaları arasındaki Öklid mesafesinin bir fonksiyonu olan sosyal maliyeti minimize etmektedir. Çalışmada, ikinci amaç fonksiyonu iki farklı şekilde değerlendirilmiştir. Birinci problem tipinde, tesisin oluşturacağı en yüksek sosyal maliyet minimize edilmiştir. İkinci problem tipinde ise tesisin oluşturduğu toplam sosyal maliyet minimize edilmiştir. Problemin her iki tipi için yeni çözüm yaklaşımları geliştirilmiş ve alanı küçülterek çözüm arayan Big Square Small Square (BSSS) algoritması problemlere uyarlanmıştır. Çözüm alanının alt bölgelere

bölünmesiyle bazı bölgelerin kolay bir şekilde elenebilmesi ve çözüm kümesinden çıkarılabilmesi sağlanmıştır. Bunun için daha küçük boyutlu matematiksel modeller ve problemin yapısını kullanarak alt bölgeleri değerlendiren yaklaşımlar geliştirilmiştir. İndirgenmiş bölgelerden elde edilebilecek etkin çözümler, temsilci bir küme ile gösterilmiştir. Her iki yaklaşım büyük boyutlu iki veri seti üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar, olası alanların indirgenerek etkin sınırı temsil eden çözüm kümelerinin makul sürelerde elde edildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yarı-İstenen Tesis, Yer Seçimi, Çok Amaçlı Yerleşim Problemi, BSSS Algoritması

ABSTRACT

BI-OBJECTIVE APPROACHES FOR SEMI-OBNOXIOUS FACILITY LOCATION PROBLEM

Fatma ERSOY

Master, Department of Industrial Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Diclehan TEZCANER ÖZTÜRK

April 2022, 54 pages

A facility is defined as a semi-desirable facility if its location is required to be both close to the surrounding points and far away due to the undesirable effects it creates. In this thesis, a bi-objective semi-desirable facility location problem is addressed. The first objective function minimizes the transportation costs between the facility we plan to place and the demand points. It is assumed that the transportation cost is proportional to the rectilinear distance between the facility and the demand points. The second objective function represents the undesirable effects of the facility and it minimizes the social cost, which is a function of the Euclidean distance between the facility and the demand points. In this study, the second objective function is considered in two different ways. In the first problem type, the largest social cost of the facility is minimized. In the second problem type, the total social cost of the facility is minimized. New solution approaches are developed for both problem types and the Big Square Small Square (BSSS) algorithm, which searches for a solution by reducing the feasible area, is adapted to the problems.

By dividing the solution area into subregions some regions can be easily eliminated and removed from the solution set. For this purpose, smaller-sized mathematical models and problem-specific approaches that evaluate the subregions are developed. A representative set of efficient solutions are obtained from the reduced regions. Both approaches are tested on two large data sets. The results show that the representative solution sets are obtained in reasonable times by reducing the possible areas.

Keywords: Semi-Desirable Facility, Location, Multi-Objective Location Problem, BSSS Algorithm

TEŞEKKÜR

Lisansüstü tez çalışmam boyunca engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, her konuda destek olup yol gösteren, motive eden, her zaman yardımcı olan çok değerli danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Diclehan TEZCANER ÖZTÜRK'e,

Lisans ve lisansüstü eğitim hayatım boyunca emeği geçen tüm Erciyes Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü ve Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü hocalarıma,

Hoşgörü ve desteğini esirgemeyen, bu süreçte moral ve motivasyonumu yüksek tutan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Emel YONTAR hocama,

Her zaman yanımda olan ve bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi çok değerli annem Sayın Züleyha ERSOY'a, babam Sayın Üzeyir ERSOY'a, kardeşlerim Sayın Murat ERSOY'a ve Sayın Merve TIRAŐ'a,

Son olarak, çok yakında bir aile olacağımız her türlü desteğiyle her anımda yanımda olan Sayın Hüseyin DURAN'a

Teşekkürlerimi sunarım.

Fatma ERSOY

Nisan 2022, Ankara

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
3. PROBLEM TANIMI.....	8
3.1. Problem Tipi I: Maksimum Sosyal Maliyetin Minimizasyonu.....	8
3.1.1. Çözüm Yaklaşımı	12
3.1.1.1 BSSS Algoritması	13
3.1.1.1.1. Alt Bölgelerin Değerlendirilmesi	14
3.1.2. Uygulama	24
3.2. Problem Tipi II: Toplam Sosyal Maliyetin Minimizasyonu	33
3.2.1. Çözüm Yaklaşımı	35
3.2.2. Uygulama	38
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	47
10. KAYNAKLAR.....	49
EKLER	52
EK 1 – Tezden Türetilmiş Bildiriler	52
EK 2 - Tez Çalışması Orjinallik Raporu	53
ÖZGEÇMİŞ	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. İstenmeyen etkinin seviyeleri [6]	9
Şekil 2. Sosyal maliyetin mesafeye bağlı değişimi [6]	9
Şekil 3. Uç çözüm (W, L) ve domine ettiği alan	15
Şekil 4. Toplam taşıma maliyetini minimize eden bir çözüm	19
Şekil 5. Çözüm alanının alt bölgelere bölünmesi	19
Şekil 6. Etki sınırını dikkate alarak talep miktarı azaltma	21
Şekil 7. Alan bölme ve talep miktarı azaltma	25
Şekil 8. <i>Adım 3</i> sonucu kalan alt bölgeler	26
Şekil 9. Kalan bölgelerin baskılanmayan rastgele çözümleri	27
Şekil 10. <i>Adım 4</i> sonucu kalan alt bölgeler	27
Şekil 11. Sabit epsilon değerleri ile oluşturulan etkin sınır	29
Şekil 12. Algoritma sonucu kalan alt bölgeler ve etkin yerleşim yerleri	29
Şekil 13. <i>Adım 3</i> sonucu kalan alt bölgeler	31
Şekil 14. Kalan bölgelerin baskılanmayan rastgele çözümleri	31
Şekil 15. <i>Adım 4</i> sonucu kalan alt bölgeler	32
Şekil 16. Sabit epsilon değerleri ile oluşturulan etkin sınır	33
Şekil 17. Algoritma sonucu kalan alt bölgeler ve etkin yerleşim yerleri	33
Şekil 18. <i>Adım 4</i> sonucu alt bölgelerin etkin sınırı	41
Şekil 19. Problemin etkin sınırında yer alan çözümler	41
Şekil 20. Algoritma sonucu kalan alt bölgeler ve etkin yerleşim yerleri	42
Şekil 21. <i>Adım 4</i> sonucu alt bölgelerin etkin sınırı	44
Şekil 22. Problemin etkin sınırında yer alan çözümler	45
Şekil 23. Algoritma sonucu kalan alt bölgeler ve etkin yerleşim yerleri	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. Uygulamada kullanılan parametreler	24
Çizelge 2. Alt bölgelerin <i>Adım 3</i> sonuçları	26
Çizelge 3. Sabit epsilon değerlerinin çözümleri.....	28
Çizelge 4. Alt bölgelerin <i>Adım 3</i> sonuçları	30
Çizelge 5. Sabit epsilon değerlerinin çözümleri.....	32
Çizelge 6. Alt bölgelerin <i>Nb</i> skorları ve uç çözümleri	39
Çizelge 7. Sabitlenen <i>W</i> değerleri ve baskılanmayan çözümler	40
Çizelge 8. Alt bölgelerin <i>Nb</i> skorları ve uç çözümleri	42
Çizelge 9. Sabitlenen <i>W</i> değerleri ve baskılanmayan çözümler	43

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

W	Toplam taşıma maliyeti
L	Sosyal maliyet
L_M	Maksimum sosyal maliyet
L_T	Toplam sosyal maliyet
f_i	i. talep noktası ile tesis arasındaki doğrusal mesafe
d_i	i. talep noktası ile tesis arasındaki Öklid mesafesi
L_i	i. talep noktasındaki sosyal maliyet
R	İstenmeyen etkinin maksimum seviyesi
s	Sosyal maliyetin mesafeyle azalma katsayısı
d_1	Tesis kaynaklı istenmeyen etkinin en fazla hissedildiği dairesel alanın yarıçapı
d_2	Tesis kaynaklı istenmeyen etkinin hissedildiği dairesel alanın yarıçapı
N	Talep noktaları sayısı
M	Büyük pozitif sayı
ρ	Küçük pozitif sayı
ε	Epsilon değeri

Kısaltmalar

BSSS	Big Square Small Square
GBSSS	Generalized Big Square Small Square

1. GİRİŞ

Tesis yerleşim problemleri, üzerine çokça çalışılmış bir araştırma konusudur. Bu problem türü yıllar içinde ilgi görse de gerek kamu gerekse özel şirketlere ekonomik anlamda değer katmasıyla problem özetindeki çalışmaların sayısı arttırılmış ve problemin kapsamı genişletilmiştir. Tesis yerleşiminde temel amaç mesafenin en aza indirilmesiyle minimum maliyetli hizmeti sağlamaktır. Ancak tesisin neden olacağı olumsuz çevre ve sağlık koşulları, toplum tarafından tesisin istenmeme nedenleri de ortaya koymaktadır. Bu kapsamda tesisin yarattığı etkiler onu istenen ya da istenmeyen olarak iki alt gruba ayırabilmektedir.

İstenen tesisler, hastaneler, postaneler, eğitim merkezleri ve polis karakolları gibi topluma hizmet ve fayda sağlayan, talep merkezlerine yakın olması istenilen tesislerdir. Talep merkezleri bireysel yerleşim yerleri ya da yerleşim yeri grupları olarak düşünülebilir. Bu tesisler için amaç (çekme hedefi), hem memnuniyeti sağlamak hem de maliyeti azaltmak için, kullanıcılar ve tesis arasındaki mesafeyi minimize etmektir.

Öte yandan istenmeyen tesisler, çevresindeki yerleşimler üzerinde olumsuz etkilere sahip olan tesislerdir. Bu tür tesislerin çevreye koku, gürültü, tehlikeli atık gibi istenmeyen etkileri bulunabileceği için yerleşim merkezlerinden yeterince uzak olmaları tercih edilmektedir. İstenmeyen tesisler için amaç (itme hedefi), tesisin neden olabileceği istenmeyen etkiyi minimize etmektir. Burada istenmeyen etki sosyal bir maliyet olarak düşünülüp mesafeye bağlı bir fonksiyon ile temsil edilebilir.

Son yıllarda, topluma önemli hizmet sağlayan ancak aynı zamanda insan ve çevre üzerinde olumsuz etkilere sahip olan stadyum, havalimanı ve çöp toplama merkezi [1] gibi tesisler için ayrı bir sınıflandırma yapılarak, yarı-istenen tesis yerleşim problemleri ele alınmıştır. Yarı-istenen tesis yerleşim problemini diğer tesis yerleşim problemlerinden ayıran özellik, tesislerin hem istenen hem de istenmeyen etkilere sahip olmalarıdır. İstenmeyen tesisler talep noktalarından mümkün olduğunca uzağa yerleştirilirken, istenen

tesisler ise talep bölgelerine mümkün olduğunca yakın yerleştirilirler. Yarı-istenen tesisler hem istenip hem de istenmedikleri için, bu iki kriterin ödünleşimini göz önüne alan yerlere yerleştirilebilirler. Bu problem, yerleşim problemleri arasında gerçekçiliğin yansıtılabildiği ve istenen-istenmeyen etkilerin birlikte değerlendirilebildiği bir problem tipidir ve bu problem üzerine literatürde pek çok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalar, kullanılan mesafe metriği, model yapısı ve çözüm yöntemine göre farklılıklar göstermektedir.

Bu tezin amacı, yarı-istenen tesis yerleşim problemlerinde istenen ve istenmeyen etkileri birlikte göz önünde bulundurarak, maksimum karı ve memnuniyeti sağlayabilecek problemlerin analiz edilmesini ve çözülmesini sağlamaktır. Bu amaçla, yarı-istenen tesis yerleşim problemi, sosyal ve sosyal olmayan maliyetler olmak üzere iki amaç fonksiyonu ile ele alınmıştır. Sosyal olmayan maliyetler; bir tesisin kurulum, işletme ve tesisten talep noktalarına taşıma maliyetini içerir ve mesafe ile ilişkili artan bir maliyet fonksiyonudur. Kurulum ve işletme maliyetlerinin yerleşim yapılan yere göre büyük farklılık göstermeyeceği varsayılarak sosyal olmayan maliyet, taşıma maliyeti ile temsil edilmiştir. Taşımanın yollar üzerinden yapılacağı düşünülerek bu fonksiyon için doğrusal mesafe metriği kullanılmıştır. Bu amaç fonksiyonu, tesisi talep merkezlerine yakınlaştırma, yani çekme eğilimindedir. Sosyal maliyetler ise; koku, gürültü, kirlilik gibi tesisin çevresindeki yerleşimler üzerinde neden olduğu istenmeyen etkileri temsil eder. Bu tür sosyal maliyetlerin minimize edilmesi için geliştirilen amaç fonksiyonu, tesisi talep merkezlerinden uzaklaştırma eğilimindedir. Bu tür etkilerin tesisten dairesel yayılacağı varsayılarak sosyal maliyet amaç fonksiyonunda ise Öklid mesafe metriğine bağlı artan bir fonksiyon kullanılmıştır.

Sosyal maliyetin değerlendirilmesinde iki farklı yaklaşım kullanılmış ve bu yaklaşımlara bağlı iki farklı problem tipi ele alınmıştır. Problem Tipi I ile tesis ve talep noktaları arasındaki maksimum sosyal maliyetin minimize edilmesi hedeflenmektedir. Problem Tipi II ile tesis ve talep noktaları arasındaki toplam sosyal maliyetin minimize edilmesi hedeflenmektedir. İki problemin uygun çözüm kümesi birbirinden farklıdır, bu nedenle iki problem için de farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Problemlerin küçük boyutlu örnekleri için epsilon kısıt yöntemi ile tüm gerçek etkin çözümler hesaplanabilir.

Problemlerin büyük boyutlu örneklerinde ise çözüm süreleri uzamakta ve çözümler yetersiz kalmaktadır. Büyük boyutlu problemler için alanı küçülterek çözüm arayan Big Square Small Square (BSSS) algoritması her iki problem tipine uyarlanmıştır. Sosyal maliyet hesabında problem boyutunu küçültmek amacıyla tesisin neden olduğu istenmeyen etki sınırları dikkate alınarak talep miktarı azaltılmıştır. Problem Tipi I özelinde, gerçek boyutlu iki amaçlı matematiksel model yerine sadece mesafeye dayanan hesap yükü daha az modeller geliştirilmiştir. Problem Tipi II özelinde ise, sosyal olmayan maliyet değeri sabit tutularak sosyal maliyetin minimize edilmesi hedeflenmiş ve temsili bir etkin çözüm kümesi bulunmuştur. Geliştirilen iki yeni çözüm yaklaşımı, büyük boyutlu iki farklı veri seti üzerinde test edilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde problemin literatür taraması yer almaktadır. Üçüncü bölümde problem tanımı yapılmakta ve Problem Tipi I, Problem Tipi II, problemlere geliştirilen çözüm yaklaşımı ve uygulama sonuçları ile detaylandırılmaktadır. Tez, dördüncü bölümde sonuçlar ve öneriler ile son bulmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

İstenmeyen tesis yerleşim problemleri ilk olarak 1989 yılında Erkut ve Neuman tarafından bir ürün veya hizmeti üretirken çevreye zarar veren tesisler olarak tanımlanmıştır [2]. Bazı istenmeyen tesisler taleplere yakın olmalarını gerektiren hizmetler de sağlamaktadır. Bu tür tesislere örnek olarak çöp boşaltma alanları, stadyumlar, havalimanları ve enerji santralleri verilebilir. Hem istenen hem de istenmeyen etkiye sahip olan bu tesisler “Yarı İstenen Tesisler” olarak ifade edilmektedir [2].

Yarı-istenen tesis yerleşim problemlerinde birden çok tesis yerleşimini inceleyen çalışmaların [1,3] yanı sıra genelde bir tesisin yerleşim yerini belirleyen çalışmalar bulunmaktadır. Bu tezde, istenen ve istenmeyen etkileri dikkate alan iki amaç fonksiyonu gözetilerek, bir tesisin yerleşim yeri belirlenmektedir. Yarı-istenen tesis yerleşim problemlerinde taşıma maliyetlerinin minimize edildiği ilk hedef genel bir fonksiyondur ve literatürde kullanılan mesafe metriğine göre çeşitlilik göstermektedir. İstenmeyen etkinin en aza indirilmesi olan ikinci hedef ise kullanılan amaç fonksiyonu ve mesafe metriğine göre literatürde çeşitlilik göstermektedir. Bu bölümde, yarı-istenen tesis yerleşim probleminin her iki amacına yönelik bir sınıflandırma yer almaktadır.

Yarı-istenen tesis yerleşiminde sosyal olmayan maliyet olarak nitelendirdiğimiz taşıma maliyetleri, literatürdeki çalışmaların neredeyse tamamında mesafeye dayalı olup minimize edilmektedir. Literatürde olası tesis ile talep merkezleri arasında doğrusal mesafe metriği kullanarak toplam mesafenin minimize edilmesinin hedeflendiği pek çok çalışma yer almaktadır [4–10]. Toplam taşıma maliyetinin minimize edilmesinde Öklid mesafe metriği kullanan çalışmalar da mevcuttur [11–17]. Alternatif olarak literatürde en uzak taşıma noktasına olan maliyetin minimize edildiği yine Öklid mesafesine dayanan çalışmalar da bulunmaktadır [18,19].

Sosyal maliyetler olarak nitelendirdiğimiz koku, gürültü ve radyasyon gibi istenmeyen etkileri temsil eden amaç fonksiyonu, mesafe metriği ve çözüm yöntemine göre yarı-

istenen tesis problemleri üzerinde literatürde çeşitlilik oluşturmaktadır. Sosyal olmayan maliyet olarak en yakın talep noktasına mesafenin maksimize edilmesini amaçlayan çalışmalar çoğunluktadır. Ohsawa vd. [20] mesafe hesabında Öklid metriğini kullanmıştır. Problemlerine Voronoi diyagramları ile çözüm geliştirmişlerdir. Aynı yöntemi kullanan Ohsawa ve Tamura [5] çalışmalarında geliştirdikleri yöntemin hem doğrusal hem de Öklid mesafe metriği için kullanılabilirliğini belirtmişlerdir. Plastria vd. [19] ise çalışmalarında bu kriter hesabında Öklid mesafesini kullanmış ve çözümü için Polynomial Algorithm yöntemini geliştirmişlerdir. Heydari ve Melachrinoudis [21] bu kriter değerinin hesabında en kısa yol ve Öklid mesafe metriği kullanmışlardır. Problemlerine üç fazlı Network Redefinition–Elimination–Construction stratejisi geliştirmişler ve rastgele talep noktaları ile Massachusetts şehrinde örnek bir uygulama gerçekleştirmişlerdir. Benzer olarak Karasakal ve Nadirler [7] doğrusal mesafe kullanarak talep noktalarına olan minimum ağırlıklı mesafenin maksimize edilmesini hedeflemişlerdir. Problemleri için bölge eliminasyonuna dayanan Big Square Small Square (BSSS) algoritmasını kullanmışlardır. Tüm alanı belli boyutta alt bölgelere indirgeyerek etkin çözüm bulunmayacağı ispatlanan bölgelerin elenip, silinmesini sağlamışlardır.

Sosyal maliyetin bir diğer gösterim şekli, toplam mesafenin maksimize edilmesidir. Wagner [10] çalışmasında, doğrusal mesafe metriğinin özelliklerini kullanarak Primal ve Dual Grid noktalarının belirlenmesine dayanan basitleştirilmiş iki yeni algoritma geliştirmiştir. Gholami ve Fathali [17] bu kriter değeri için Öklid mesafe metriği kullanmışlardır. Problemlerine Cuckoo Optimizasyon Algoritması ile çözüm geliştirmiş ve problemi iki veri kümesi üzerinde test etmişlerdir.

Yapıcıoğlu vd. [6] sosyal maliyeti, mesafeye bağlı iki kademeli bir fonksiyon olarak temsil etmişlerdir. Olası tesisten belli bir mesafeye kadar maksimum etki seviyesi olduğunu, tesisten uzaklaştıkça etki miktarının azalacağını ve tesisten belirli bir mesafe uzaklıkta istenmeyen etkinin kalmayacağını varsaymışlardır. Öklid veya doğrusal mesafe metriği kullanabildikleri problemlerinde, etki miktarlarının toplamını minimize etmeyi hedeflemişlerdir. Problemlerinde bir ve iki amaçlı geliştirdikleri Parçacık Sürü Optimizasyon yöntemini kullanmışlardır.

Golpayegani vd. [22] toplam negatif etkiyi minimize etmeye çalışmışlardır. Öklid mesafe metriği kullandıkları problemlerine Parçacık Sürü Optimizasyonu yöntemi ile çözüm geliştirmişlerdir. Bir diğer çalışmalarında ise doğrusal mesafe metriği kullanmışlardır [23]. Bu kriter değerini Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Genetik Algoritma yöntemleri ile hesaplamışlardır. Ortigosa vd. [9] ikinci kriter olarak toplam ağırlıklı mesafenin minimizasyonunu amaçlamıştır. Bu kriter değerini doğrusal ya da Öklid mesafe metriği ile hesaplayabildiklerini söylemişlerdir. Problem çözümünde problemin konveks-konveks olmayan yapısını dikkate alan Constraint Method yöntemini kullanmışlar ve dört farklı yarı-istenen tesis yeri belirleme problemi üzerinde test etmişlerdir. Skriver ve Andersen [24], toplam istenmeyen etkinin minimize edildiği problemlerinde, iki kriter değeri için de Öklid mesafe metriği kullanmışlardır. Problemlerinde tüm alanı alt alanlara indirgeyerek çözüm arayan BSSS algoritmasını geliştirmişlerdir. İndirgenmiş bölgelerin alt ve üst limit değerleri ile bölgeyi temsil eden kriter değerleri kıyaslanarak, etkin olmadığı ispatlanan alt bölgeleri silmişlerdir.

İstenmeyen etkiyi koku, gürültü, radyasyon gibi sosyal maliyet olarak ele alan Teran-Somohano ve Smith [1] birden fazla tesis yerleşimini dikkate aldıkları çalışmalarında toplam sosyal maliyeti Yapıcıoğlu vd.'nin [6] 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 Evrimsel Strateji Algoritması ile çözüm geliştirmişlerdir.

Yarı-istenen tesis problemleri için literatürde sunulan iki amaçlı problemlerin yanı sıra Fernandez vd. [16] bu problem türü için üç amaçlı bir model yapısı sunmuşlardır. Çalışmada ilk amaç toplam ağırlıklı mesafenin minimize edilmesi, ikinci amaç istenmeyen etkilerin ifade edildiği toplam sosyal maliyetin minimize edilmesi ve üçüncü amaç ise minimum istenmeyen etkinin, etkilenen talepler arasında eşit dağıtılmasını hedeflemektedir. Problemin çözümü için iki yeni çok amaçlı Evrimsel Algoritma geliştirmişlerdir.

Bu tez, sosyal maliyeti iki kademeli bir fonksiyon yapısı ile temsil ederek bu etkinin minimize edilmesine odaklanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, bir tesis yerleşiminde, sosyal maliyet olarak ele aldığımız maksimum ve toplam istenmeyen etkinin minimize edildiği iki problem tipi üzerinde çalışılmıştır. İlk problem tipinde talep noktaları arası olabildiğince eşit sosyal maliyete ulaşılma amaçlanırken, ikinci problem tipinde talep noktaları için ortalama sosyal maliyet minimize edilmiştir. İki problem tipi için de geliştirilen algoritmalar etkin çözümleri bulabilmektedir. Çözüm yaklaşımımız ve sosyal maliyetin temsili çalışmamızın ayırt edici özelliklerindedir.

3. PROBLEM TANIMI

3.1. Problem Tipi I: Maksimum Sosyal Maliyetin Minimizasyonu

Birinci problem tipinde, ilk kriter olarak yerleştirmeyi planladığımız tesis ile talep noktaları arası toplam taşıma maliyeti, ikinci kriterde ise olası tesisin neden olabileceği maksimum sosyal maliyet minimize edilmiştir. Kriter değerlerinin hesaplanmasında farklı mesafe metrikleri kullanılmıştır.

Sosyal olmayan maliyet olarak ele aldığımız toplam taşıma maliyetinin minimize edildiği ilk kriter değeri hesaplanırken, tesis ve talep noktaları arasında doğrusal mesafe metriği kullanılmıştır [4,5,7,10,23,25]. Taşıma maliyetlerinin şehir içi ulaşımı temsil edecek şekilde doğrusal mesafelerle gösterilmesi gerçekçi bir temsildir [26]. Çünkü talep noktaları ile tesis arası taşımaların yapılacağı mesafeler doğrusal yol gösterimine yakındır. Problemimizde tesis ile talep noktaları arasındaki toplam mesafenin en aza indirilmesi istenen etki/çekme hedefi (W^*) olarak sunulmuştur.

$$W^* = \text{Min } W = \sum_{i=1}^N f_i$$

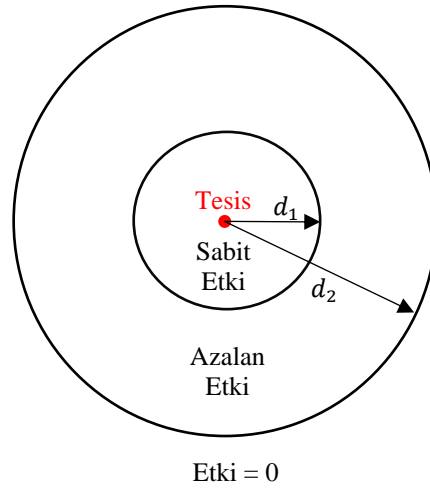
N : talep noktaları sayısı

f_i : i talep noktası ile tesis arasındaki doğrusal mesafe ($i = 1, 2, \dots, N$)

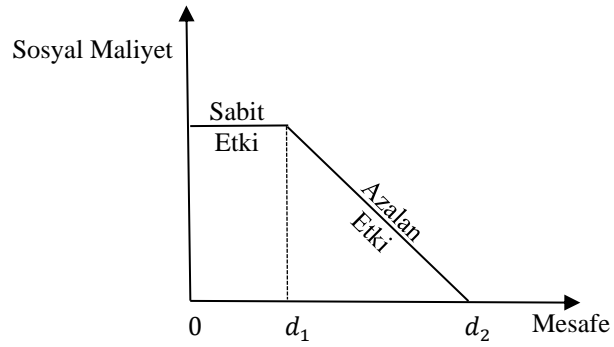
Sosyal maliyet olarak ele aldığımız olumsuz çevre etkisinin minimize edildiği ikinci kriter değeri hesaplanırken, tesis ve talep noktaları arasında istenmeyen etkinin (koku, gürültü, radyasyon, tehlikeli atık vb.) dairesel yayılımı dikkate alınarak bu yayılımı en iyi temsil eden Öklid mesafe metriği kullanılmıştır [1,11,14–17,19,20,22]. Sosyal maliyet, Yapıcıoğlu vd.'nin [6] çalışmasında geliştirilen fonksiyona benzer şekilde iki kademeli ve mesafeye bağlı artmayan bir fonksiyon ile temsil edilmektedir. İstenmeyen etkinin yayılımı Şekil 1'de gösterilmiştir. Tesis kaynaklı istenmeyen etkinin belli bir mesafeye (d_1) kadar sabit bir maliyet oluşturduğu, bu mesafeden sonra etkinin ve dolayısıyla

maliyetin doğrusal olarak azaldığı ve belli bir mesafeden (d_2) sonra etkinin hissedilmediği, yani sosyal maliyetin sıfırlandığı varsayılmıştır. Sosyal maliyetin mesafeye bağlı değişimi Kısıt (1)'deki parçalı fonksiyon ile tanımlanmış ve Şekil 2'de gösterilmiştir [6].

Tesis kaynaklı istenmeyen etkinin talep noktaları tarafından dengeli hissedilmesi için problemdeki amaç fonksiyonunda bu etkinin maksimum değeri minimize edilmiştir.



Şekil 1. İstenmeyen etkinin seviyeleri [6]



Şekil 2. Sosyal maliyetin mesafeye bağlı değişimi [6]

$$L^* = \text{Min } L_M = \text{Min} \left(\max_i L_i \right)$$

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

L_i : i talep noktasındaki sosyal maliyet

d_i : i talep noktası ile tesis arasındaki Öklid mesafesi ($i = 1, 2, \dots, N$)

R : istenmeyen etkinin maksimum seviyesi

s : sosyal maliyetin mesafeyle azalma katsayısı

d_1 : tesis kaynaklı istenmeyen etkinin en fazla hissedildiği dairesel alanın yarıçapı

d_2 : tesis kaynaklı istenmeyen etkinin hissedildiği dairesel alanın yarıçapı

Tesis ve talep noktaları arasındaki toplam taşıma maliyetinin ve maksimum sosyal maliyetin minimize edildiği yarı-istenen tesis yerleşim problemi için geliştirilen iki amaçlı matematiksel model aşağıda verilmiştir. Modeldeki doğrusal mesafenin hesabı için Sayın'ın [27] çalışmasında geliştirilen ve Karasakal ve Nadirler [7] tarafından uyarlanan matematiksel model temel alınmıştır.

$$W^* = \text{Min } W \quad (2)$$

$$L^* = \text{Min } L_M \quad (3)$$

Kısıtlar

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\mathbf{x} \in X \quad (17)$$

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

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

Modelin amacı iki boyutta tesisin yerleşim yerini (x_1, x_2) belirlemektir. Denklem (2) ve (3) ile sırasıyla, toplam taşıma maliyeti ve maksimum sosyal maliyet minimize edilir. Kısıtlar (5)-(9) ile talep noktaları ve tesis arası doğrusal mesafeler hesaplanmıştır. Kısıt (5) ve (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 [27]. Kısıt (10)'da etkilenen her bir talep noktası ile tesis arasındaki Öklid mesafesi, $d_i^2 = (x_1 - b_i^1)^2 + (x_2 - b_i^2)^2$ hesaplanmıştır. Bu Öklid mesafeleri (d_i) kullanılarak, Kısıt (11), (12) ve (13)'te k_i^1 ve k_i^2 'den sadece birinin değer alması sağlanmıştır. Kısıt (14) ve (15)'te L_i ile temsil edilen, her bir talep noktası için tesisin neden olduğu sosyal maliyet hesaplanmıştır. Detaylı olarak, talep noktası i tesisin sabit etki yarattığı bölge içinde yer alıyorsa ($d_i \leq d_1$ ise), k_i^2 değer alır ve y_i sıfırlanır. Bu da sosyal maliyet, L_i , değerini R 'ye eşitler. Talep noktası i azalan etki bölgesinde ise ($d_1 < d_i < d_2$ ise), k_i^1 değer alır. Kısıt (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. Kısıt (16) ile minimize etmeyi hedeflediğimiz sosyal maliyetin en büyüğü (L_M) bulunur. Kısıt (17) ile uygun bölge sınırlandırılmıştır. Kısıt (18) ile pozitif değişkenler, Kısıt (19) ile 0 – 1 değişkenleri tanımlanmıştır.

Elimizdeki model, karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama modelidir ve çözümünü için doğrusal olmayan program çözümleri kullanılabilir.

3.1.1. Çözüm Yaklaşımı

Çok amaçlı problemlerin çözümünde tüm kriterleri aynı anda optimize eden bir çözüm bulunmamaktadır. Bu nedenle problemin çözümünde iki kriter arası ödünleşimi gözeterek etkin çözümler aranmaktadır. Bir çözüm x 'in iki kriter değerinin (taşıma maliyeti, sosyal maliyet) (x_W, x_L) ile gösterildiğini varsayalım. Bu çözümün etkin olması için (y_W, y_L) değerlerine sahip ve $y_W \leq x_W, y_L \leq x_L$ koşullarını sağlayan ve $y_W < x_W, y_L < x_L$ koşullarından en az birini sağlayan farklı bir y çözümünün bulunmaması gerekir.

Problemin az talep noktalı örnekleri için epsilon-kısıt yöntemi [28] ile geliştirilen iki amaçlı matematiksel model çözülerek tüm etkin çözümler hesaplanabilir. Bu yöntemde, bir kriter amaç fonksiyonunda tutulurken diğer tüm kriterler ε değeri ile kısıtlara dönüştürülür. Çalışmamızda, Kısıt (20)'de gösterildiği gibi sosyal maliyetin minimize edildiği ilk kriter değeri ε değeri ile sınırlandırılmıştır. Probleme özgü epsilon-kısıt formülü aşağıdaki gibidir. Burada ρ küçük bir pozitif sabittir ve etkin çözümler elde etmeyi garanti etmek için ilk kriter değeri ile çarpılır ve amaç fonksiyonuna eklenir.

(ModelEpsilonKısıt-L)

$$\text{Min } z = W + L_M * \rho$$

Kısıtlar

$$L_M \leq \varepsilon \tag{20}$$

(4) – (19)

Epsilon-kısıt yöntemi kullanılırken de karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli çözülür ve modelin çözümü zaman almaktadır. Talep noktalarının sayısı arttıkça etkin çözümlerin bulunması daha zorlaşır. Büyük boyutlu problemlere anlamlı sürelerde çözüm bulabilmek için alanı küçülterek çözüm arayan Big Square Small Square (BSSS)

algoritması probleme uyarlanmış ve probleme özgü talep miktarı azaltma yöntemi ile etkin çözümler aranmıştır. Bir sonraki kısımda geliştirilen algoritma detaylandırılmıştır.

3.1.1.1 BSSS Algoritması

Bu kısımda öncelikle literatürde kullanılan BSSS algoritması anlatılmıştır. İkinci kısımda algoritmanın incelenen probleme nasıl uyarlandığı detaylandırılmıştır.

Literatürde tesis yer seçimi problemlerinde kullanılan BSSS algoritması temelinde tesisin yerleşebileceği bölgenin alt alanlara bölünmesi prensibi yatmaktadır. İndirgenmiş alt bölgelerin amaç fonksiyonlarında alabilecekleri değerler için limitler bulunur ve o bölgeye yerleşimin iyi çözümlerle sonuçlanmayacağı kararına varılan yerler elimine edilir.

Hansen vd. [11], tek kriter gözettikleri ve toplam taşıma maliyetini minimize ettikleri tesis yer seçimi problemlerinde BSSS algoritmasını geliştirmişlerdir. Uygulama alanını küçük karelere bölerek, indirgenmiş bölgelerin kriter değerinin alt limit değerini hesaplamışlardır. İlgili bölgenin optimal değeri alt limitten daha iyiye bölgeyi silmişlerdir. Kalan indirgenmiş bölgelerde algoritma adımlarını, uygun kenar uzunluğu seviyesine kadar tekrar etmişlerdir.

Plastria [29] toplam taşıma maliyetini en küçüklemediği tesis yerleşim probleminde, BSSS algoritmaya Faz I-II aşamaları ekleyerek, Generalized Big Square Small Square (GBSSS) algoritmasını sunmuştur. Algoritmanın geliştirilen yeni versiyonu ile hesaplama sürelerini azaltmayı, depolanacak bilgiyi en aza indirmeyi ve optimale yakın bir bölge belirlemeyi amaçlamıştır. Algoritmanın Faz I aşamasında, indirgenmiş alt bölgelerin alt limit değerleri ile bölge silme işlemini gerçekleştirmiştir. Faz II aşamasında ise, bölgenin alt ve üst limit değerlerini kullanarak, optimal bölgeyi belirlemeyi amaçlamıştır.

Skriver ve Andersen [24], Hansen vd.'nin [10] toplam taşıma maliyetini minimize ettikleri problemlerine, toplam istenmeyen etkinin minimize edildiği ikinci bir kriter

değeri ekleyerek, yöntemi iki amaçlı yarı-istenen tesis yerleşim probleminde kullanmışlardır. Kullanılan BSSS algoritmasında, indirgenmiş alt bölgelerin gerçek alt ve üst limit değerleri hesaplanmıştır. Bu limit değerleri ile bölgeyi temsil eden kriter değerleri kıyaslanarak, etkin olmadığı ispatlanan alt bölgeleri silmişlerdir. Uygun kenar uzunluğu seviyesine ulaşınca kadar algoritma adımlarını tekrar etmişlerdir. Çalışmalarında BSSS algoritmasını, iki kriter değeri için de Öklid mesafesi kullanarak uygulamışlardır.

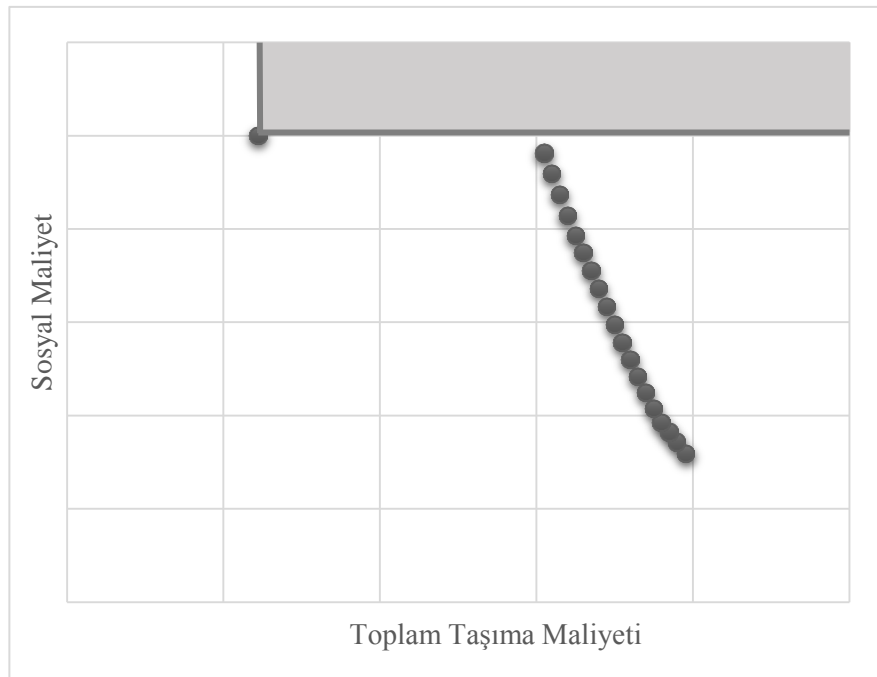
Karasakal ve Nadirler [7], Plastria'nın [29] geliştirdiği GBSSS algoritmasını , toplam ağırlıklı taşıma maliyetlerini minimize ettikleri ve minimum istenmeyen etkiyi maksimize ettikleri, iki amaçlı yarı-istenen tesis yerleşim problemlerine uyarlamışlardır. Yönteme Faz III aşamasını ekleyerek, etkin çözüm bulunduran alt bölgelerde seçim için karar vericiye kesin ve yaklaşık olmak üzere iki çözüm prosedürü sunmuşlardır.

Bu tezde ele alınan yarı-istenen tesis yerleşimi probleminin çözümünde, Skriver ve Andersen'in [24] yarı-istenen tesis yerleşimi için geliştirdikleri BSSS algoritması probleme uyarlanmıştır. Tüm bölgeyi alt bölgelere bölme, her bölge için etkili olan talep noktaları azaltma, ideal noktalarına bakarak bölge eliminasyonu sağlama fikirlerinde Karasakal ve Nadirler'in [7] çalışmasından esinlenilmiştir. Önceki çalışmalardan farklı olarak Sosyal maliyet hesabında istenmeyen etkinin hissedilme mesafelerinin dikkate alındığı kademeli bir fonksiyon kullanılır. Kriter değerleri hesabında farklı mesafe metriklerine yer verilir. Ayrıca bölgeler iki ayrı tipe ayrılmıştır. Bölgelerin değerlendirilmesinde kullanılmak üzere sadece Öklid mesafe hesabına dayanan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Belirlenen tip ile alt bölgeye yerleşimde etkin çözüm bulunup bulunamayacağı sonucuna varılır. Eğer etkin çözüm bulunma ihtimali varsa, o bölgenin etkilediği talep noktaları gözetilerek küçük boyutlu problemler çözülür. Alt bölge tipleri ve bu tiplerin nasıl belirlendiği bir sonraki kısımda anlatılmıştır.

3.1.1.1.1. Alt Bölgelerin Değerlendirilmesi

İndirgenmiş 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 $d_{\underline{W}}$, sosyal maliyetinin de \bar{L} olduğunu varsayalım. Örnek bir etkin sınır ve (\underline{W}, \bar{L}) amaç fonksiyon değerlerine sahip uç çözüm Şekil 3'te gösterilmiştir. I. Tip olarak adlandırdığımız bölgelerde bulunan çözümler, bu uç çözüm tarafından domine edilir. Şekil 3'te etkin sınırı gösterilen problem için Tip I çözümler, (\underline{W}, \bar{L}) uç çözümünün domine ettiği taranmış alanda bulunurlar. Dolayısıyla Tip I bölgelerde etkin çözüm bulunma ihtimali yoktur ve Tip I alt bölgeler değerlendirilecek bölgeler kümesinden silinir.



Şekil 3. Uç çözüm (\underline{W}, \bar{L}) ve domine ettiği alan

II. Tip olarak adlandırdığımız bölgelerde ise etkin çözüm bulunma ihtimali vardır. Bu nedenle bu bölgeler değerlendirilecek bölge kümesinde kalmaya devam eder.

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

(*ModelMesafe*)

Maks d

Kısıtlar

$$d \leq d_i \quad i = 1, \dots, N \quad (21)$$

$$d_i^2 = (x_1 - b_i^1)^2 + (x_2 - b_i^2)^2 \quad i = 1, \dots, N \quad (22)$$

$$\mathbf{x} \in X \quad (23)$$

Bu model ile, “değerlendirilen alt bölgede hangi noktaya tesis yerleşsin ki kendisine en yakın talep noktasına uzaklığı maksimum olsun” sorusuna cevap aranır. Bu nokta, tesisin bu bölgede yerleşebileceği sosyal maliyetin en az olacağı nokta olacaktır.

Model çözümü ile alt bölge b için amaç fonksiyonunun $d_{\bar{b}}$ çıktığını varsayalım. Bu durumda, bu alt bölgede yerleşilebilecek herhangi bir nokta i 'nin en yakın talep noktasına uzaklığı $d_i \leq d_{\bar{b}}$ olacaktır. Bu değer $d_{\bar{b}}$ ile $\max\{d_{\underline{W}}, d_1\}$ arasında karşılaştırma yapılarak bölgede etkin çözüm bulunup bulunmadığı kararına varılabilir.

Eğer $d_{\underline{W}} > d_1$ ise uç çözümün yerleşiminde tesise en yakın bulunan talep noktası en içteki (istenmeyen etkinin en fazla hissedildiği) dairesel alana düşmeyecektir. Bu durumda $\bar{L} < R$ değerini alır ve doğrudan $d_{\bar{b}}$ ile $d_{\underline{W}}$ arasında karşılaştırma yapılır. Eğer $d_{\underline{W}} \leq d_1$ ise, $\bar{L} = R$ olur ve $d_{\bar{b}}$ ile d_1 arasında karşılaştırma yapılır.

Eğer $d_{\bar{b}} \leq \max\{d_{\underline{W}}, d_1\}$ ise, bu noktanın istenmeyen etki değeri $L_{\bar{b}} \geq \bar{L}$ olur ve bu bölgede bulunan herhangi bir nokta i 'nin istenmeyen etki değeri $L_i \geq L_{\bar{b}} \geq \bar{L}$ olur. Dolayısıyla, bu bölgeye yapılacak herhangi bir yerleşim, (\underline{W}, \bar{L}) amaç fonksiyonuna sahip uç çözüm tarafından domine edilir.

Eğer $d_{\bar{b}} > d_{\underline{W}}$ ise, bu bölgedeki olası yerleşimlerin uç çözüm tarafından domine edildiği söylenemez. Bu bölgelerde çözüm aranmasına devam edilir.

Özet olarak, $d_{\bar{b}} \leq \max \{d_{\underline{W}}, d_1\}$ ise bölgenin Tip I olduğu ve elenebileceği, aksi durumda ise bölgenin Tip II olduğu ve bu bölgede çözüm aranabileceği sonucuna varılır.

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.

3.2.1.1. Geliştirilen Algoritma

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

$(W - L_M)$ Algoritmasının Adımları

B1. Toplam taşıma maliyetinin minimum değere sahip olduğu uç çözümü temsilen bir çözüm bulun. Bu çözümün toplam taşıma maliyetini \underline{W} ve maksimum sosyal maliyetini \bar{L}' ile gösterin. Yerleştirilen tesise en yakın talep noktası ile arasındaki mesafeyi $d_{\underline{W}'}$ ile gösterin. Eğer $d_{\underline{W}'} \geq d_2$ 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. 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 ($b \in B^I$) 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.

Adım 1: Uç çözümü temsil eden $(\underline{W}, \bar{L}')$ 'nin bulunması

Algoritmanın ilk basamağında toplam taşıma maliyetinin minimize edildiği ilk uç çözümü temsilen bir çözüm bulunur. Bunun için aşağıda yer alan doğrusal karışık tamsayılı programlama modeli çözülür.

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

Kısıtlar

$$W = \sum_{i=1}^N f_i \quad i = 1, \dots, N \quad (24)$$

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

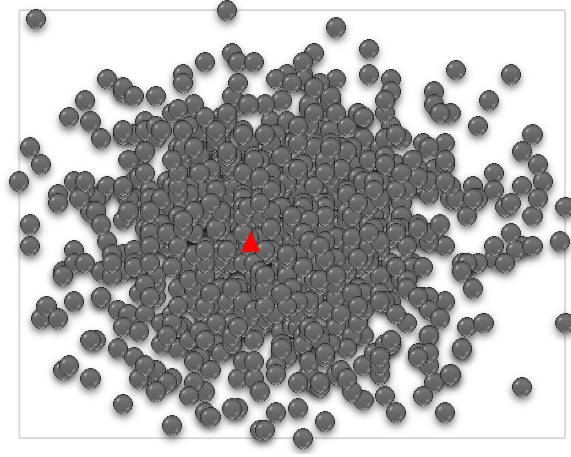
$$a_i^j \geq b_i^j - x_j \quad i = 1, \dots, N \quad j = 1, 2 \quad (26)$$

$$f_i = a_i^1 + a_i^2 \quad i = 1, \dots, N \quad (27)$$

$$\mathbf{x} \in X \quad (28)$$

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.

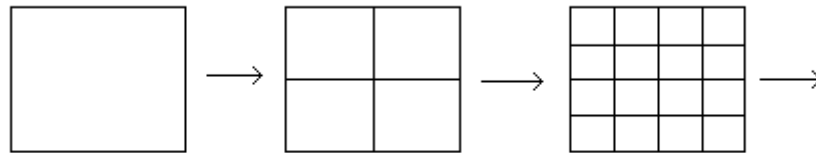
Bu hesaplamada tüm talep noktalarının tesise olan doğrusal mesafeleri dikkate alınır. Şekil 4'te tekdüze dağılım ile rastgele üretilmiş talep noktalarına toplam taşıma maliyetini minimum tutan tesisin yerleşim yeri gösterilmiştir. Bu çözüm $(\underline{W}, \bar{L}')$ kriter değerleri ile problemin ilk uç çözümünü temsil etmektedir. Bu çözümde, yerleştirilen tesis ile en yakın talep noktası arasındaki mesafe $d_{\underline{W}}'$ ile gösterilmektedir. Eğer tesis istenmeyen etkinin hissedildiği dairesel alanın içinde yer almıyorsa ($d_{\underline{W}}' \geq d_2$ ise) problemin tek etkin çözümü vardır ve bu çözüm temsili çözüme $(\underline{W}, \bar{L}')$ eşittir. $(\underline{W}, \bar{L}')$ çözümü karar vericiye sunulurken algoritma sonlandırılır.



Şekil 4. Toplam taşıma maliyetini minimize eden bir çözüm

Adım 2: Alanı alt bölgelere bölme

Bu basamakta, çözüm alanı, çözüm elde edilebilecek daha küçük alt bölgelere bölünür. Alan bölme işlemi, her bir kareyi birbirine eş dört kareye bölerek, Şekil 5'te gösterildiği gibi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5. Çözüm alanının alt bölgelere bölünmesi

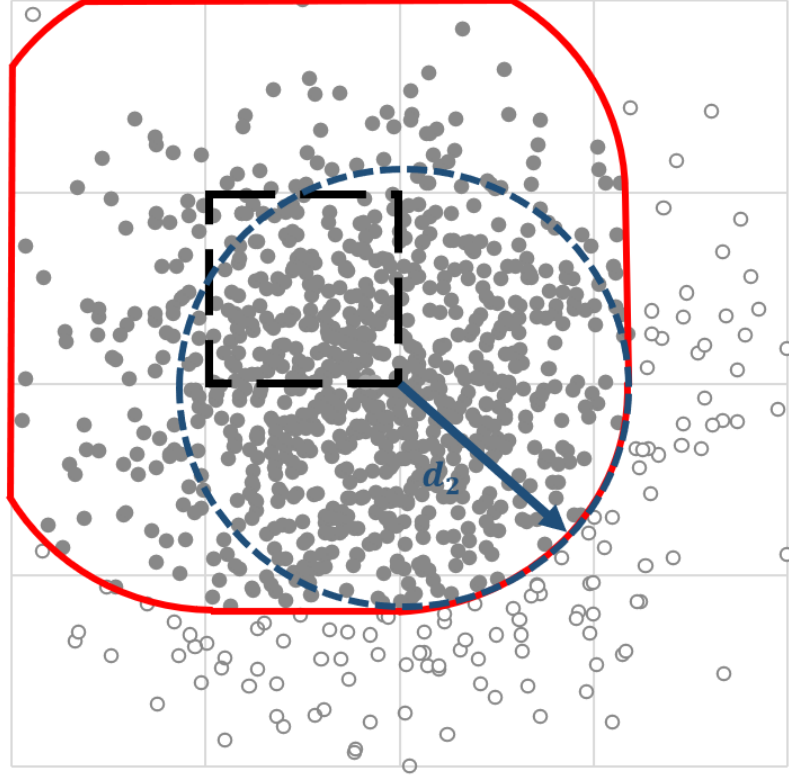
Adım 3: Bölge Tipinin Belirlenmesi

Alt bölgelerin değerlendirilmesi öncesi her alt bölgenin etkileyeceği talep noktalarından oluşan N_b kümesi oluşturulur. B kümesinde yer alan her alt bölge için sınıflandırma yapılır.

I. Tip bölgeler elenir ve etkin sınırdaki çözüm bulundurma ihtimali olan II. Tip bölgelerin ideal noktaları hesaplanır.

3.1 Talep miktarı azaltma

BSSS algoritması kullanılarak indirgenen her bir alt bölgede, bölge sınırları ve tesisin neden olduğu istenmeyen etki seviyeleri dikkate alınarak, Karasakal ve Nadirler'in [7] uygulamasına benzer olarak, talep miktarlarında azaltma yapılmıştır. Şekil 6'da altıncı karesel bölge değerlendirilirken etkilenecek ve etkilenmeyecek talep noktaları gösterilmiştir. İlgili bölgeye tesis yerleşimi yapılırsa etkilenecek talepler (N_b kümesi) içi boyanmış dairelerle gösterilmiştir. Burada tesisten belli bir mesafe uzaklıkta etkinin sıfır olduğu bilindiğine göre indirgenmiş bölgeden belli bir mesafe uzaklıkta yer alan talep noktalarının ikinci kriter değerine etkileri yoktur. Bu talep noktaları ise içi boş dairelerle gösterilmiştir. Bu sebeple sosyal maliyetleri sıfır olan talepler bu kriter hesabında kullanılmaz. Alt bölgeye tesis yerleştirilirken sosyal maliyet sadece ilgili bölgenin azaltılmış talep noktaları gözetilerek hesaplanır.



Şekil 6. Etki sınırını dikkate alarak talep miktarı azaltma

3.2 Bölge tipi belirleme

Alt bölgelerin bölge tipini belirlemek için *ModelMesafe* çözülür. Burada Kısıt (21) ve (22)'de kullanılan N kümesi yerine N_b kümesi kullanılır.

Model sonucu elde edilen alt bölge b için amaç fonksiyonunun $d_{\bar{b}}$ çıktığını varsayalım. Bu değer ile temsili uç çözümün en yakın talep noktasına mesafesi, $d_{\underline{w}'}$ ile değerlendirme yapılır. Temsili uç çözüm için yapılan yerleşimde $d_{\underline{w}'} \leq d_{\underline{w}}$ 'dir, dolayısıyla $\bar{L}' \geq \bar{L}$ eşitsizliği sağlanır. Eğer $d_{\bar{b}} \leq \max \{d_{\underline{w}'}, d_1\}$ ise $d_{\bar{b}} \leq \max \{d_{\underline{w}}, d_1\}$ de olduğu ve $L_{\bar{b}} \geq \bar{L}' \geq \bar{L}$ olduğu söylenebilir. Bu nedenle temsili uç çözüm ile elenen bölgeler, gerçek uç çözüm ile de elenmektedir.

Eğer $d_{\bar{b}} \leq \max \{d_{\underline{w}'}, d_1\}$ ise bölgenin Tip I olduğu ve elenebileceği, aksi durumda ise bölgenin Tip II olduğu ve bu bölgede çözüm aranabileceği sonucuna varılır.

3.3 İdeal nokta hesaplama

Her bölgenin toplam taşıma maliyetinin minimize edildiği ilk uç çözümü $(\underline{W}_b, \bar{L}_b)$ için aşağıdaki karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli çözülür. Sosyal maliyetin de çok küçük bir katsayı (ρ) ile amaç fonksiyonunda yer alması ve minimize edilmesi hedeflenir. Burada (10)-(16)'da N kümesi yerine N_b kümesi kullanılır.

$$\text{Min } z = W + L_M * \rho$$

Kısıtlar

$$(4) - (19)$$

Her bölgenin sosyal maliyetinin minimize edildiği ikinci uç çözümünde $(\bar{W}_b, \underline{L}_b)$ ise aşağıdaki karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli çözülür. Toplam taşıma maliyetinin çok küçük bir katsayı (ρ) ile amaç fonksiyonunda yer alması ve minimize edilmesi hedeflenir. Burada (10)-(16)'da N kümesi yerine N_b kümesi kullanılır.

$$\text{Min } z = L_M + W * \rho$$

Kısıtlar

$$(4) - (19)$$

Uç çözümlerde bulunan kriter değerleri kullanılarak alt bölgenin ideal noktası $(\underline{W}_b, \underline{L}_b)$ belirlenir.

Tüm bölgelerin uç çözümleri kullanılarak problemin uç noktaları (\underline{W}, \bar{L}) ve (\bar{W}, \underline{L}) bulunur.

$$\bar{L} = \min_{b \in B: \underline{W}_b = \underline{W}} \bar{L}_b$$

$$\underline{L} = \min_{b \in B} \underline{L}_b$$

$$\bar{W} = \min_{b \in B: \underline{L}_b = \underline{L}} \bar{W}_b$$

Adım 4: Tip II Bölgelerin Değerlendirilmesi

Adım 4.1: Olası yerleşim yerleri üretme ve gerçek değer hesaplama

Tip II bölgelerde R tane rastgele tesis yerleşim yeri üretilir. Bunun için, tesisin x ve y koordinatları olarak, alt bölgenin x ve y koordinatındaki alt ve üst sınırları arasında rastgele sayılar atanır. Örnek çözümlerinde bölgelerin etkin çözümlerinin belli bölgelerde yoğunlaştığı ve çoğunun x ve y koordinatlarının uç çözümlerin x ve y koordinatları arasında kaldığı görülmüştür. Bu nedenle, rastgele üretilen noktaların %80 kadarı uç noktalara denk gelen tesis yerleşimleri arasında, kalanı ise tüm alanda rastgele 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

Eğer üretilen noktaların kriter değerleri, herhangi bir alt bölgenin ideal noktasını domine ediyorsa; o bölge silinir. Aksi durumda; 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

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) değer aralığı (L, \bar{L}) karar vericinin belirlediği sayıda eşit aralığa bölünür. Epsilon değerleri bu aralıklara denk gelen L değerlerine eşitlenir. B^E kümesinde yer alan tüm bölgelerin etkin sınırında yer alan her epsilon değeri için *ModelEpsilonKısıt-L* çözülür. Model çözümünde (10)-(16)'da N kümesi yerine N_b kümesi kullanılır. Aynı epsilon değeri farklı bölgelerde de çözümlerse bu çözümlerden domine edilenler silinir.

Adım 6: Etkin çözümlerin karar vericiye sunulması

Elde edilen çözümler kullanılarak problemin etkin sınırı belirlenir. Etkin sınırdaki 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 *Adım 3* basamağına dönülerek algoritma adımları tekrarlanır.

3.1.2. Uygulama

Bu tez kapsamında Problem Tipi I özelinde geliştirilen algoritma iki amaçlı yarı-istenen tesis yerleşim problemi için $100*100$ 'lük düzlemsel kare bir alan üzerinde uygulanmıştır. Uygulama için $[0, 100]$ aralığında tekdüze dağılıma sahip 500 ve 1000 talepli örnekler oluşturulmuştur. Uygulaması yapılan iki örnek için Yapicioglu vd. 'nin [6] çalışmalarında kullandıkları Çizelge 1'de verilen parametreler probleme uygun modifiye edilmiştir.

Çizelge 1. Uygulamada kullanılan parametreler

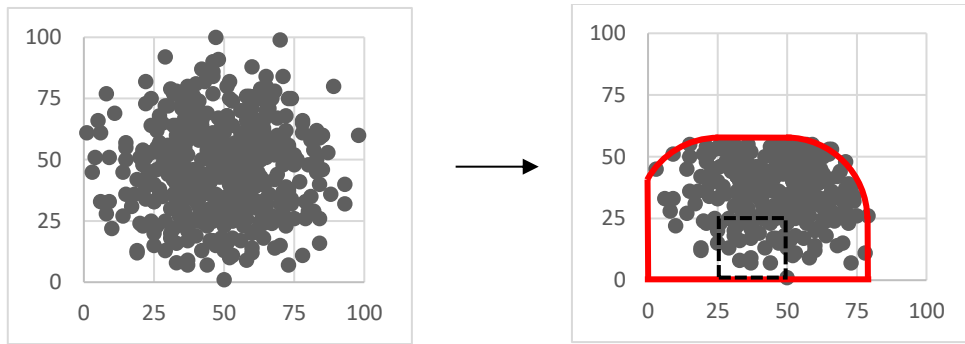
Parametre	Değer
İstenmeyen etkinin maksimum seviyesi (R)	200
Sosyal maliyetin mesafe ile azalma katsayısı (s)	10
Tesis kaynaklı istenmeyen etkinin en fazla hissedildiği alanın yarıçapı (d_1)	10
Tesis kaynaklı istenmeyen etkinin hissedildiği alanın yarıçapı (d_2)	30

Çalışmada geliştirilen matematiksel modeller GAMS 24.2'de çözülmüştür. Karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama (MINLP) modellerinde çözücü olarak GAMS 24.2'nin altında çalışan BARON 12.4 kullanılmıştır. Optimizasyon programını çağıran bilgisayar kodu MATLAB R2019a ile yazılmıştır. Uygulamada yer verdiğimiz 500 talep noktasına sahip problem için ortalama 3 saat işlem süresinde, 1000 talep noktasına sahip problem için ise ortalama 5,5 saat işlem süresinde gerçekleşmiştir. Çalışmalar Intel Core i5-8500 CPU 3.00 GHz işlemci, 8 GB RAM özelliklerine sahip bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

Örnek 1

İki boyutlu 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. Burada algoritmanın ilk adımı olan tüm talep noktalarının dikkate alındığı toplam taşıma maliyetinin minimize edildiği problemin ilk uç çözümünde tesis $(49,45)$ noktasına yerleştirilmiştir. Bu yerleşimin amaç fonksiyon $\bar{L}' = 200, \underline{W} = 14335$ 'tir ve en yakın talep noktasının tesise uzaklığı, $d_{\underline{W}}' = 0,89$ km'dir. Algoritmanın ikinci basamağında çözüm alanı kenar uzunlukları 25 km olan 16 alt bölgeye bölünmüştür. İndirgenmiş bölgelerin, istenmeyen etki sınırları dikkate alınarak, Şekil 7'de gösterildiği gibi talep miktarları azaltılmıştır.



Şekil 7. Alan bölme ve talep miktarı azaltma

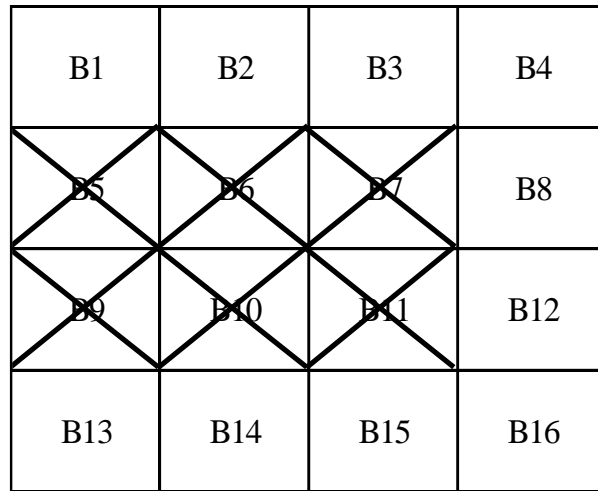
Adım 3'teki *ModelMesafe* kullanılarak tüm alt alanların bölge tipi belirlenmiştir. Alt bölgelerin etkilediği talep noktalarının toplam sayısı ve çözüm sonuçları Çizelge 2'de gösterilmiştir. Etkin çözüm bulundurma ihtimali olmayan I. Tip bölgeler ($d_{\bar{b}} \leq \max \{d_{\underline{W}}', d_1\}$) elenmiştir (Şekil 8).

Bu bölgelerden B10'da problemin uç çözümü bulunmaktadır. Bu bölge Tip I olduğu için başka bir etkin çözüm bulundurmamaktadır. Bu nedenle bu bölgeye B4 basamağında bakılmamaktadır.

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.

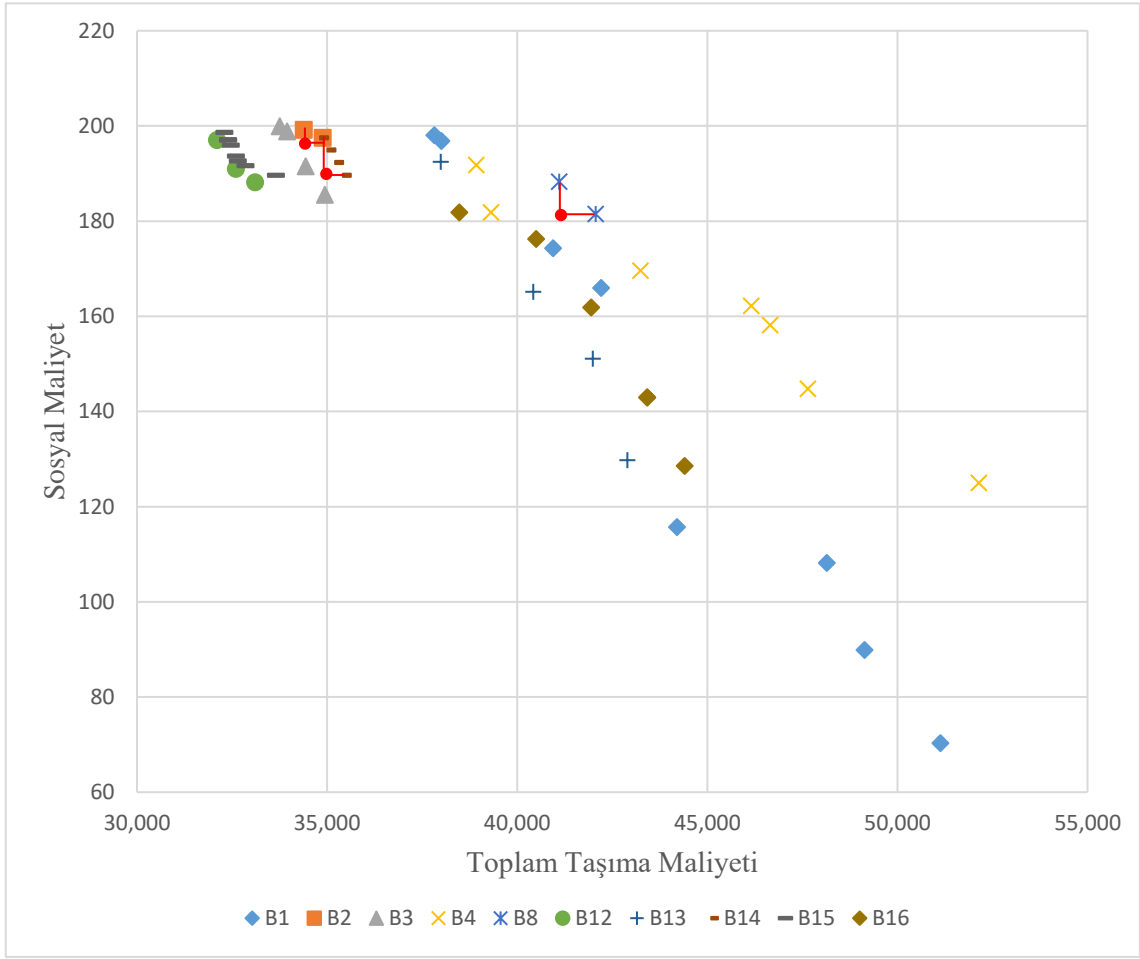
Çizelge 2. Alt bölgelerin *Adım 3* sonuçları

Alt Bölge	Etkilenen Talep Noktası Sayısı	<i>ModelMesafe</i> Amaç Fonksiyon Değeri ($d_{\bar{b}}$)	Bölge Tipi
B1	165	24,35	II. Tip
B2	246	10,78	II. Tip
B3	248	11,52	II. Tip
B4	153	22,83	II. Tip
B5	298	8,83	I. Tip
B6	445	5,01	I. Tip
B7	445	4,25	I. Tip
B8	269	13,08	II. Tip
B9	310	8,54	I. Tip
B10	461	4,51	I. Tip
B11	459	4,49	I. Tip
B12	275	11,3	II. Tip
B13	230	22,47	II. Tip
B14	334	11,31	II. Tip
B15	332	11,06	II. Tip
B16	199	22,63	II. Tip

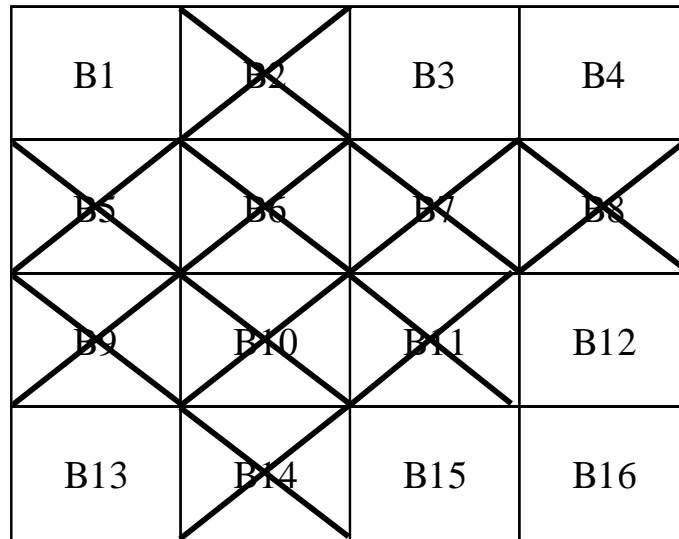


Şekil 8. *Adım 3* sonucu kalan alt bölgeler

II. Tip bölgelerde rastgele tesis yerleşim yeri üretilmiş ve amaç fonksiyon değerleri hesaplanmıştır. *Adım 4* dikkate alınarak B3 bölgesinin çözümleri ile B14 ve B2 bölgesinin ideali ve B16 bölgesinin çözümleri ile B8 bölgesinin ideali domine edilmiş (Şekil 9), elimine edilen alt bölgeler Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Kalan bölgelerin baskılanmayan rastgele çözümleri

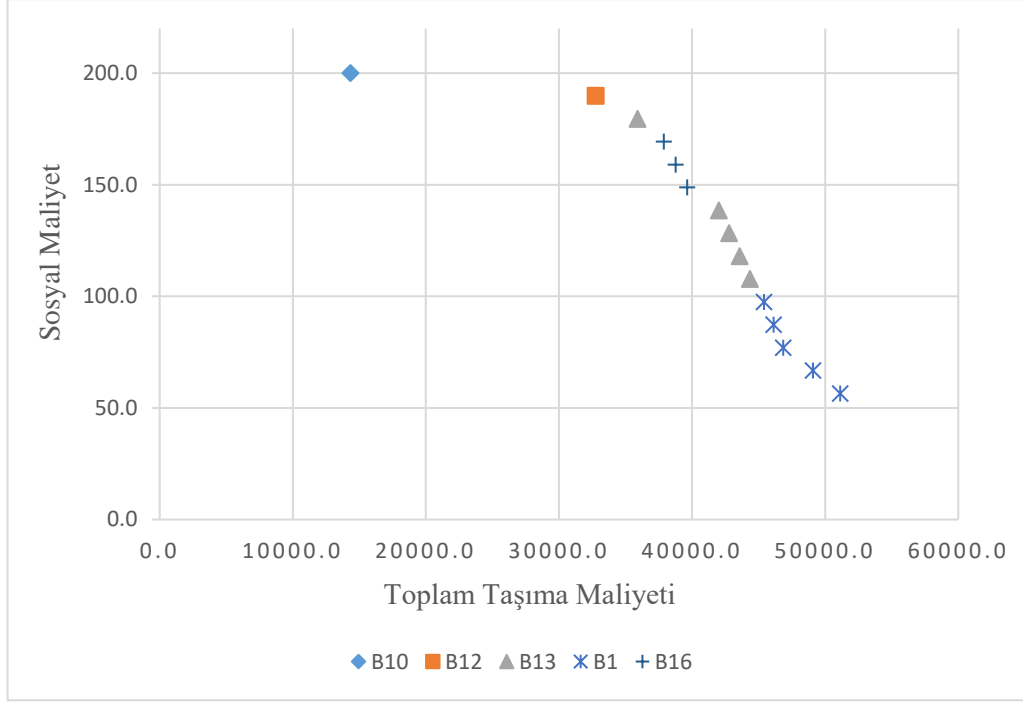


Şekil 10. Adım 4 sonucu kalan alt bölgeler

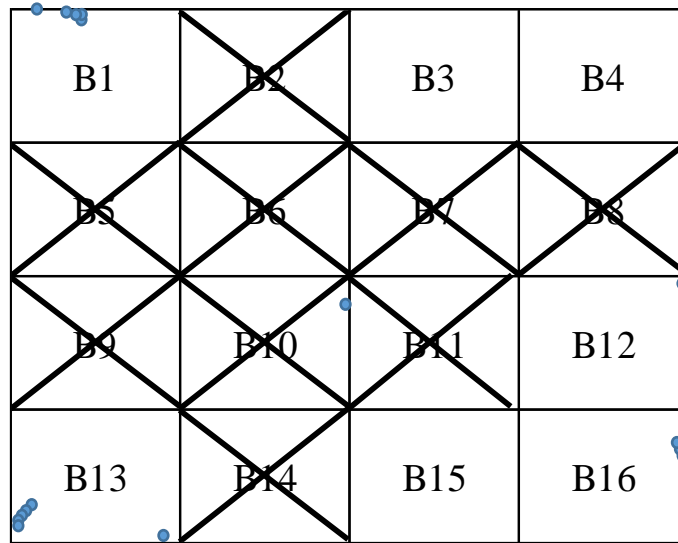
B^E kümesinde yer alan bölgeler için karar vericinin 15 adet eşit aralıklı sosyal maliyet değeri belirlediği varsayılmıştır. Bu sabit epsilon değerlerinin B^E bölgelerindeki ve uç çözüme sahip alt bölgedeki (B10) çözümleri Çizelge 3'te, oluşturulan problemin etkin sınırı Şekil 11'de gösterilmiştir. Algoritma sonucu kalan alt bölgeler (B^E) ve etkin yerleşim yerleri karar vericiye tercihlerine uygun en iyi yer seçimini belirlemesi için sunulmuştur (Şekil 12).

Çizelge 3. Sabit epsilon değerlerinin çözümleri

ϵ değeri	B1	B3	B4	B10	B12	B13	B15	B16	Min W
200,0	27331,0	21963,0	28603,0	14335,0	20989,0	23983,0	18615,0	25255,0	14335,0
189,7	38610,7	34360,5	37481,0	X	32754,0	35120,5	32819,0	35815,3	32754,0
179,5	39411,8	X	38472,0	X	X	35909,1	X	36906,9	35909,1
169,2	40191,4	X	39349,2	X	X	39597,0	X	37878,9	37878,9
159,0	40954,7	X	40322,0	X	X	40413,5	X	38780,4	38780,4
148,7	41711,2	X	42151,9	X	X	41215,7	X	39636,3	39636,3
138,5	42461,5	X	43550,2	X	X	42007,2	X	42106,2	42007,2
128,2	43204,4	X	44758,9	X	X	42793,0	X	44038,7	42793,0
118,0	43940,9	X	45859,5	X	X	43572,5	X	45225,0	43572,5
107,7	44673,1	X	46889,9	X	X	44345,1	X	46211,8	44345,1
97,5	45402,4	X	48735,2	X	X	45113,31	X	47085,1	45402,4
87,2	46130,6	X	50764,6	X	X	46160,1	X	47887,7	46130,6
77,0	46858,9	X	52165,0	X	X	47208,1	X	48643,2	46858,9
66,7	49079,7	X	X	X	X	X	X	X	49079,7
56,5	51125,0	X	X	X	X	X	X	X	51125,0



Şekil 11. Sabit epsilon değerleri ile oluşturulan etkin sınır



Şekil 12. Algoritma sonucu kalan alt bölgeler ve etkin yerleşim yerleri

Örnek 2

İki boyutlu çözüm alanında bu kez 1000 talep merkezine hizmet verme amaçlı bir yarı-istenen tesis yer seçimi problemi ele alınmıştır. Uygun alanın 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. Burada algoritmanın ilk adımı olan tüm talep noktalarının dikkate alındığı toplam taşıma maliyetinin minimize

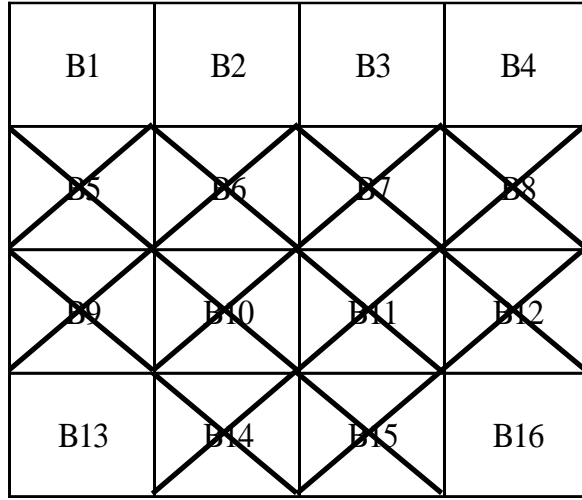
edildiği problemin ilk uç çözümünde tesis (47,48) noktasına yerleştirilmiştir. Bu yerleşimin amaç fonksiyon değerleri $\bar{L}' = 200, \underline{W} = 28592$ 'dir ve en yakın talep noktasının tesise uzaklığı, $d_{\underline{W}}' = 0,52$ km'dir. Algoritmanın ikinci basamağında çözüm alanı kenar uzunluğu 25 km olan 16 alt bölgeye bölünmüştür. *Adım 3*'deki *ModelMesafe* kullanılarak tüm alt alanların bölge tipi belirlenmiştir. Alt bölgelerin etkilediği talep noktalarının toplam sayısı ve çözüm sonuçları Çizelge 4'te gösterilmiştir. Etkin çözüm bulunma ihtimali olmayan I. Tip bölgeler ($d_{\bar{b}} \leq \max \{d_{\underline{W}}', d_1\}$) elenmiştir (Şekil 13).

Bu bölgelerden B10'da problemin uç çözümü bulunmaktadır. Bu bölge Tip I olduğu için başka bir etkin çözüm bulundurmamaktadır. Bu nedenle bu bölgeye B4 basamağında bakılmamaktadır.

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.

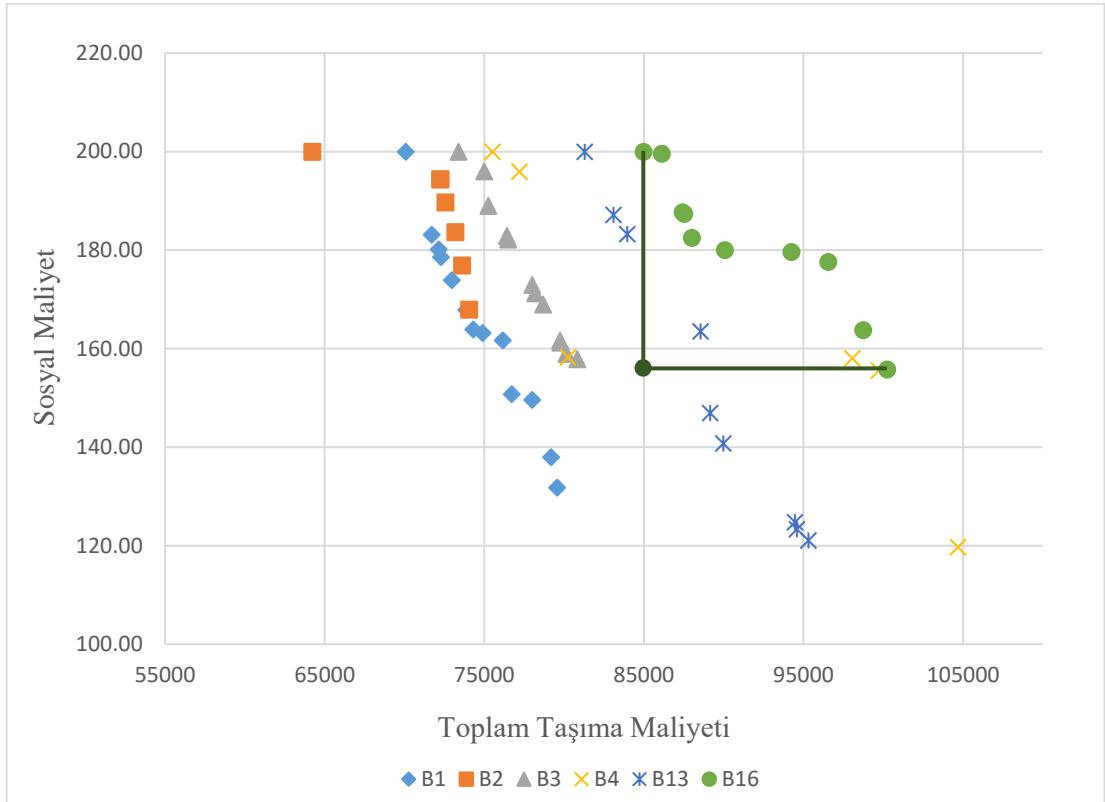
Çizelge 4. Alt bölgelerin *Adım 3* sonuçları

Alt Bölge	Etkilenen Talep Noktası Sayısı	<i>ModelMesafe</i> Amaç Fonksiyon Değeri ($d_{\bar{b}}$)	Bölge Tipi
B1	380	16,82	II. Tip
B2	545	13,21	II. Tip
B3	536	14,21	II. Tip
B4	313	18,03	II. Tip
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
B14	619	6,01	I. Tip
B15	610	8,30	I. Tip
B16	353	14,42	II. Tip

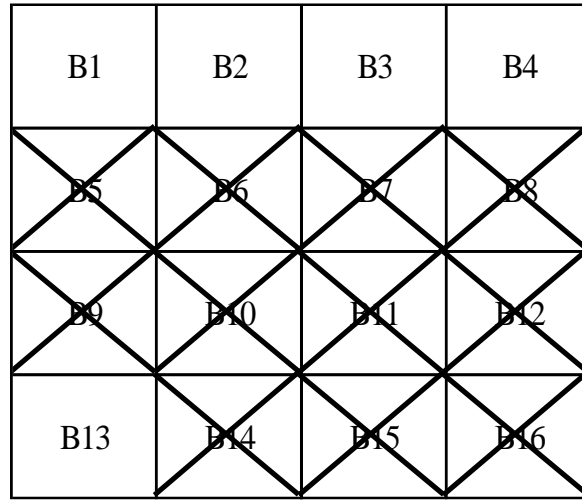


Şekil 13. Adım 3 sonucu kalan alt bölgeler

II. Tip bölgelerde rastgele yerleşim yeri üretilmiş ve amaç fonksiyon değerleri hesaplanmıştır. Adım 4 ile B16 bölgesi, B1 bölgesi tarafından elenir (Şekil 14). Elimine edilen alt bölgeler Şekil 15’te gösterilmiştir.



Şekil 14. Kalan bölgelerin baskılanmayan rastgele çözümleri

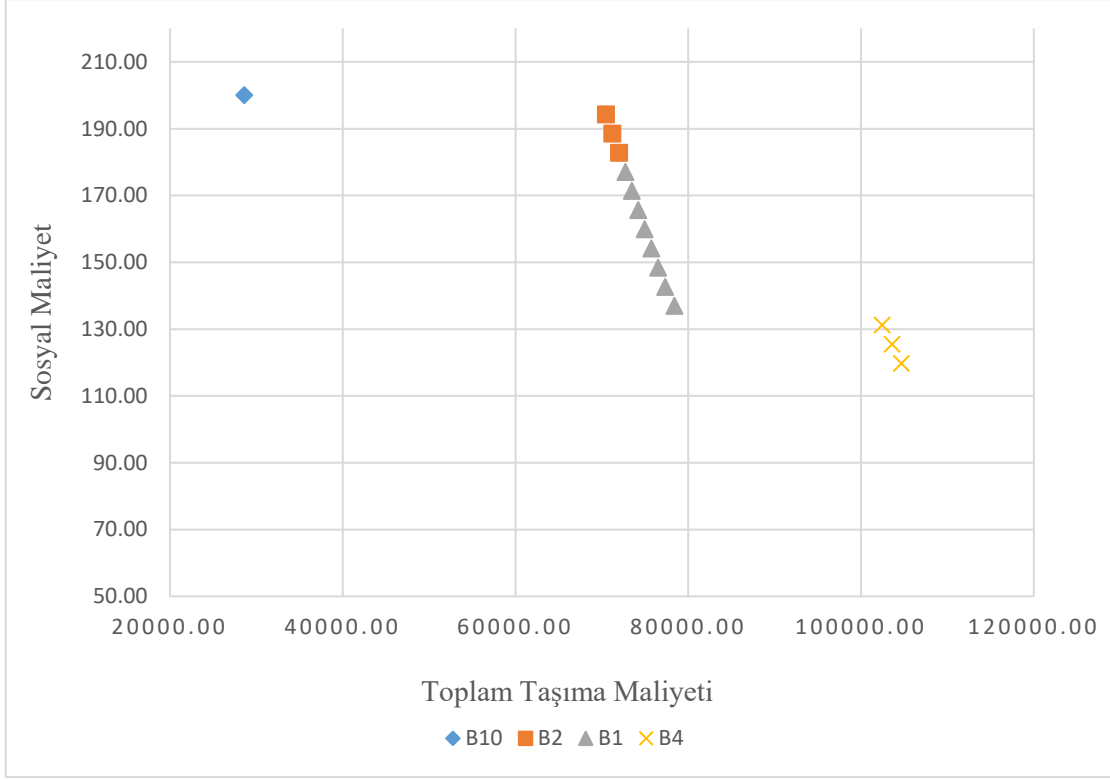


Şekil 15. Adım 4 sonucu kalan alt bölgeler

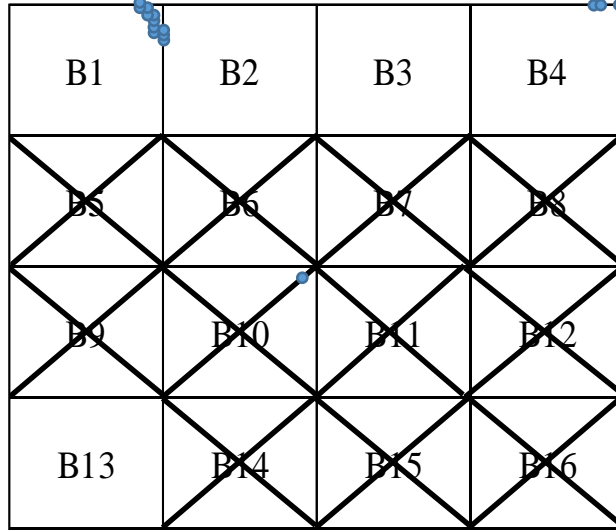
B^E kümesinde yer alan bölgeler için Örnek 1’de olduğu gibi karar vericinin 15 adet eşit aralıklı sosyal maliyet değeri belirlediği varsayılmıştır. Bu sabit epsilon değerlerinin B^E bölgelerindeki ve uç çözüme sahip alt bölgedeki (B10) çözümleri Çizelge 5’te, oluşturulan problemin etkin sınırı Şekil 16’da gösterilmiştir. Algoritma sonucu kalan alt bölgeler (B^E) ve etkin yerleşim yerleri karar vericiye tercihlerine uygun en iyi yer seçimini belirlemesi için sunulmuştur (Şekil 17).

Çizelge 5. Sabit epsilon değerlerinin çözümleri

ϵ değeri	B1	B2	B3	B4	B10	B13	Min W
200,00	52242,00	42248,00	42406,00	56692,00	28592,00	42406,00	28592,00
194,27	70730,13	70471,40	74592,23	76174,13	X	82162,25	70471,40
188,53	71372,93	71219,33	75679,58	76816,94	X	83027,37	71219,33
182,80	72006,33	71963,92	76695,40	77451,52	X	83884,35	71963,92
177,06	72712,34	72777,61	77662,66	78080,29	X	84737,78	72712,34
171,33	73460,94	73594,85	78589,63	78702,36	X	85586,53	73460,94
165,60	74208,24	X	79566,83	74490,51	X	86430,85	74208,24
159,86	74961,17	X	80525,50	80370,93	X	87276,80	74961,17
154,13	75713,30	X	X	81229,93	X	X	75713,30
148,39	76500,13	X	X	90791,29	X	X	76500,13
142,66	77333,54	X	X	99458,61	X	X	77333,54
136,92	78396,25	X	X	101090,00	X	X	78396,25
131,19	X	X	X	102430	X	X	102430
125,46	X	X	X	103600	X	X	103600
119,72	X	X	X	104680	X	X	104680



Şekil 16. Sabit epsilon değerleri ile oluşturulan etkin sınır



Şekil 17. Algoritma sonucu kalan alt bölgeler ve etkin yerleşim yerleri

3.2. Problem Tipi II: Toplam Sosyal Maliyetin Minimizasyonu

İkinci problem tipinde, Problem Tipi I ile benzer olarak, ilk kriter değerinde yerleştirmeyi planladığımız tesis ile talep noktaları arası toplam taşıma maliyeti minimize edilmiştir. İkinci kriter değerinde ise Problem Tipi I'den farklı olarak olası tesisin neden olabileceği

toplam sosyal maliyet minimize edilmiştir. Problem Tipi II için de kriter değerlerinin hesabında farklı mesafe metrikleri kullanılmıştır.

Sosyal olmayan maliyet olarak ele aldığımız toplam taşıma maliyetinin minimize edildiği ilk kriter değeri, Problem Tipi I'in ilk kriter değeri ile aynı şekilde hesaplanır.

Sosyal maliyet olarak ele aldığımız olumsuz çevre etkisinin minimize edildiği ikinci kriter değeri hesaplanırken, istenmeyen etki sonucu oluşan sosyal maliyetin maksimumunu yerine toplamı ele alınmıştır.

$$L^* = \text{Min } L_T = \sum_{i=1}^N L_i$$

$$L_i = \begin{cases} R, & \text{eğer } d_i \leq d_1 \\ R - s(d_i - d_1), & \text{eğer } d_1 < d_i < d_2 \\ 0, & \text{eğer } d_2 \leq d_i \end{cases} \quad (29)$$

L_i : i talep noktasındaki sosyal maliyet

d_i : i talep noktası ile tesis arasındaki Öklid mesafesi ($i = 1, 2, \dots, N$)

R : istenmeyen etkinin maksimum seviyesi

s : sosyal maliyetin mesafeyle azalma katsayısı

d_1 : tesis kaynaklı istenmeyen etkinin en fazla hissedildiği dairesel alanın yarıçapı

d_2 : tesis kaynaklı istenmeyen etkinin hissedildiği dairesel alanın yarıçapı

Problem Tipi II özelinde, tesis ve talep noktaları arasındaki toplam taşıma maliyetinin ve sosyal maliyetin minimize edildiği yarı-istenen tesis yerleşim problemi için geliştirilen iki amaçlı matematiksel model aşağıda verilmiştir.

$$W^* = \text{Min } W \quad (30)$$

$$L^* = \text{Min } L_T \quad (31)$$

Kısıtlar

$$L_T = \sum_{i=1}^N L_i \quad i = 1, \dots, N \quad (32)$$

(4) – (15), (17) – (19)

Denklem (30) ve (31) ile sırasıyla, toplam taşıma maliyeti ve toplam sosyal maliyet minimize edilir. Kısıt (32)'de etkilenen her bir talep noktası ile tesis arasında Öklid mesafeleri kullanıldığı toplam istenmeyen etki miktarı hesaplanır.

Elimizdeki model, karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama modelidir ve çözümü için doğrusal olmayan program çözümleri kullanılabilir.

3.2.1. Çözüm Yaklaşımı

Bu problemin çözümü için de Problem Tipi I'de kullanılan BSSS algoritması uygulanmıştır. Kullanılan BSSS algoritması ile tesisin yerleşebileceği bölge küçültülerek sınırlandırılmıştır. Alt bölgelerin eliminasyonuna dayanan bu probleme özgü yöntem ile etkin olma ihtimali olan bölgeler ve bu bölgelerden temsili çözümler bulunmuştur. İndirgenmiş alt bölgelerde, sadece tesisin istenmeyen etkisine maruz kalan, azaltılmış talep noktaları dikkate alınmıştır. Bu bölgelerde, ilk kriter değeri sabit tutularak ikinci kriter değerinin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Algoritma sonucu, etkin sınırdaki yer alan yerleşim yerleri, karar vericiye sunulmuştur. Aşağıdaki kısımda öncelikle algoritma adımları verilmiş, bir sonraki kısımda geliştirilen algoritma adımları detaylandırılmıştır.

3.2.1.1. Geliştirilen Algoritma ($W - L_T$) Adımları

B1. Tesisin yerleşebileceği çözüm alanını alt bölgelere bölün. Tüm alt bölgelerin bulunduğu küme B 'yi oluşturun.

B2. Tüm $b \in B$ için aşağıdaki basamakları uygulayın.

B2.1. Tesis alt bölge b 'ye yerleşirse etkilenecek talep noktaları ile N_b kümesini oluşturun.

B2.3. Alt bölge b 'nin uç çözümlerini bulun ve ideal noktasını hesaplayın.

Tüm bölgeler değerlendirilince problemin gerçek uç çözümlerini bulun.

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

B3.1. Bölge b 'de tesisi rastgele yerleştirip her yerleşimin iki kriter değerini hesaplayın.

B3.2. Rastgele yerleşimlerin herhangi bir bölge b 'nin ideal noktasını domine edip etmediğine bakın. İdeal noktası domine edilen bölgeyi eleyin.

B4. B3 sonunda kalan bölgelerle B^E kümesini oluşturun. Bu bölgelerde belli sayıda etkin çözüm üretin. Etkin sınırdaki yer alan çözümleri ve B^E kümesini karar vericiye sunun.

B5. Karar verici daha detaylı arama yapmak isterse her b bölgesini ($b \in B^E$) dörde bölüp elde edilen bölgelerle B kümesini oluşturun ve B2 basamağına geri dönün.

Adım 1: Alanı alt bölgelere bölme

Bu basamakta öncelikle $(W - L_M)$ algoritmasında olduğu gibi çözüm alanı, çözüm elde edilebilecek daha küçük alt bölgelere bölünür.

Adım 2: Talep miktarı azaltma ve uç çözüm hesaplama

Burada tesisten belli bir mesafe uzaklıkta istenmeyen etkinin artık hissedilmeyeceği bilinerek, $(W - L_M)$ algoritmasında geliştirilen talep miktarlarında azaltma işlemi yapılır. b bölgesinin azaltılmış talep miktarı N_b kümesi ile temsil edilir.

N_b kümesi kullanılarak her b bölgesinin uç çözümleri ve ideal noktaları hesaplanır. Bu hesaplamalarda *Algoritma* $(W - L_M)$ 'nin *Adım 3.3*'ünde yer alan modeller kullanılmaktadır.

Tüm bölgelerin uç çözümleri kullanılarak problemin uç noktaları (\underline{W}, \bar{L}) ve (\bar{W}, \underline{L}) bulunur.

Adım 3: Olası yerleşim yeri üretme ve gerçek değer hesaplama

R tane rastgele tesis yerleşim yeri üretilir. Üretilen tesis yerleşim yerlerinin iki kriter değeri (L, W) hesaplanır. Elde edilen çözümlerin birbirini domine etme durumları kontrol edilir.

Eğer üretilen noktaların kriter değerleri, herhangi bir bölgenin ideal noktasını domine ediyorsa o bölge silinir. Domine edilmeyen bölgeler ile bir sonraki adıma geçilir.

Adım 4: Etkin çözümlerin bulunması

Adım 3 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 ilk kriter (W) değer aralığı (\underline{W}, \bar{W}) karar vericinin belirlediği sayıda eşit aralığa bölünür. Epsilon değerleri bu aralıklara denk gelen W değerlerine eşitlenir. B^E kümesinde yer alan tüm bölgelerin etkin sınırında yer alan her epsilon değeri için aşağıda verilen *ModelEpsilonKısıt-W* çözülür. Aynı epsilon değeri farklı bölgelerde de çözülürse bu çözümlerden domine edilenler silinir.

(ModelEpsilonKısıt-W)

$$\text{Min } z = L_T + W * \rho$$

Kısıtlar

$$W \leq \varepsilon \tag{33}$$

$$(4) - (15), (17) - (19), (32)$$

Adım 5: Etkin çözümlerin karar vericiye sunulması

Elde edilen çözümler kullanılarak problemin etkin sınırı belirlenir. Etkin sınırdaki 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 kümesi oluşturulur ve *Adım 2* basamağına dönülerek algoritma adımları tekrarlanır.

3.2.2. Uygulama

Bu tez kapsamında Problem Tipi II özelinde geliştirilen algoritma iki amaçlı yarı-istenene tesis yerleşim problemi için $100*100$ 'lük düzlemsel kare bir alan üzerinde uygulanmıştır. Uygulama için Problem Tipi I'de kullanılan $[0, 100]$ aralığında tekdüze dağılıma sahip 500 ve 1000 talepli örnekler kullanılmıştır. Uygulaması yapılan iki örnek için Problem Tipi I'de kullanılan ve Çizelge 1'de verilen parametreler kullanılmıştır.

Çalışmada geliştirilen matematiksel modeller GAMS 24.2'de çözülmüştür. Karışık tamsayı doğrusal olmayan programlama (MINLP) modellerinde çözücü olarak GAMS 24.2'nin altında çalışan BARON 12.4 kullanılmıştır. Optimizasyon programını çağıran bilgisayar kodu MATLAB R2019a ile yazılmıştır. Uygulamada yer verdiğimiz 500 talep noktasına sahip problemimiz için ortalama 25 saat işlem süresinde, 1000 talep noktasına sahip problemimiz için ise ortalama 5 gün işlem süresinde (CPU time) gerçekleşmiştir. Çalışmalar Intel Core i5-8500 CPU 3.00 GHz işlemci, 8 GB RAM özelliklerine sahip bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

Örnek 1

İki boyutlu çözüm alanında 500 talep merkezine hizmet verme amaçlı bir yarı-istenene 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. Burada algoritmanın ilk adımı ile çözüm alanı kenar uzunlukları 25 km olan 16 alt bölgeye bölünmüştür.

B kümesinde yer alan bölgelerin (b), istenmeyen etki sınırları dikkate alınarak talep miktarları azaltılmıştır (N_b). Her b bölgesinin uç çözümleri hesaplanmıştır. B kümesinde yer alan bölgelerin uç çözümlerine ait kriter değerleri Çizelge 6’da gösterilmiştir.

Çizelge 6. Alt bölgelerin N_b skorları ve uç çözümleri

Alt Bölge	N_b	Alt Bölge \underline{L}		Alt Bölge \underline{W}	
		W	\underline{L}	\underline{W}	L
B1	165	51125	72,23	27331	10505
B2	246	39373	1282,22	21949	19268
B3	248	40639	1055,97	21963	19249
B4	153	52623	71,66	28603	9646
B5	298	39089	1392,33	19909	24606
B6	445	27331	10505,04	14527	43697
B7	445	28603	9646,35	14541	43477
B8	269	40595	1069,89	21181	21708
B9	310	35741	2330,48	19717	25653
B10	461	23983	17229,12	14335	44766
B11	459	25255	14021,54	14349	44618
B12	275	37247	1558,64	20989	22096
B13	230	47369	220,65	23983	17229
B14	334	35611	2634,78	18601	28860
B15	332	36883	1913,27	18615	29799
B16	199	48875	148,83	25255	14021

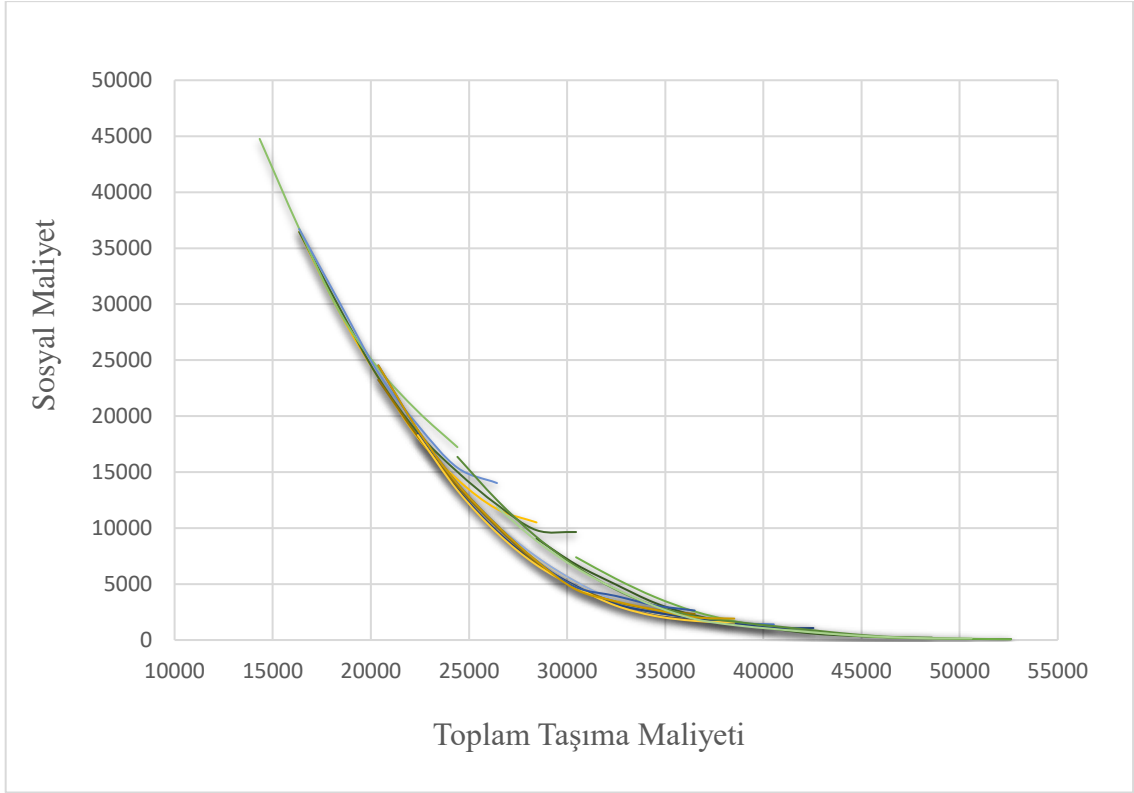
Problemin uç noktaları (**52623, 71, 66**) ve (**14335, 44766**) şeklinde hesaplanmıştır. Rastgele üretilen tesis yerleşim yerlerinin kriter değerleri B kümesinde yer alan herhangi bir b alt bölgesinin ideali domine edilememiştir. Algoritmanın bu basamağında bölge silme işlemi gerçekleştirilememiştir. 16 alt bölge ile B^E kümesi oluşturulmuş ve *Adım 4*’e geçilmiştir.

B^E kümesinde yer alan bölgeler için karar vericinin 20 adet eşit aralıklı toplam taşıma maliyet değeri belirlediği varsayılmıştır. Bu değerler ile her b bölgesinin etkin sınırı belirlenmiştir (Şekil 18). Çizelge 7 ile alt bölgelerde bu sabit W değerlerine karşılık gelen baskılanmayan çözümler gösterilmiştir. Bu çözümler problemin etkin sınırını oluşturmaktadır (Şekil 19). Algoritma sonucu B^E kümesinde yer alan alt bölgeler ve etkin

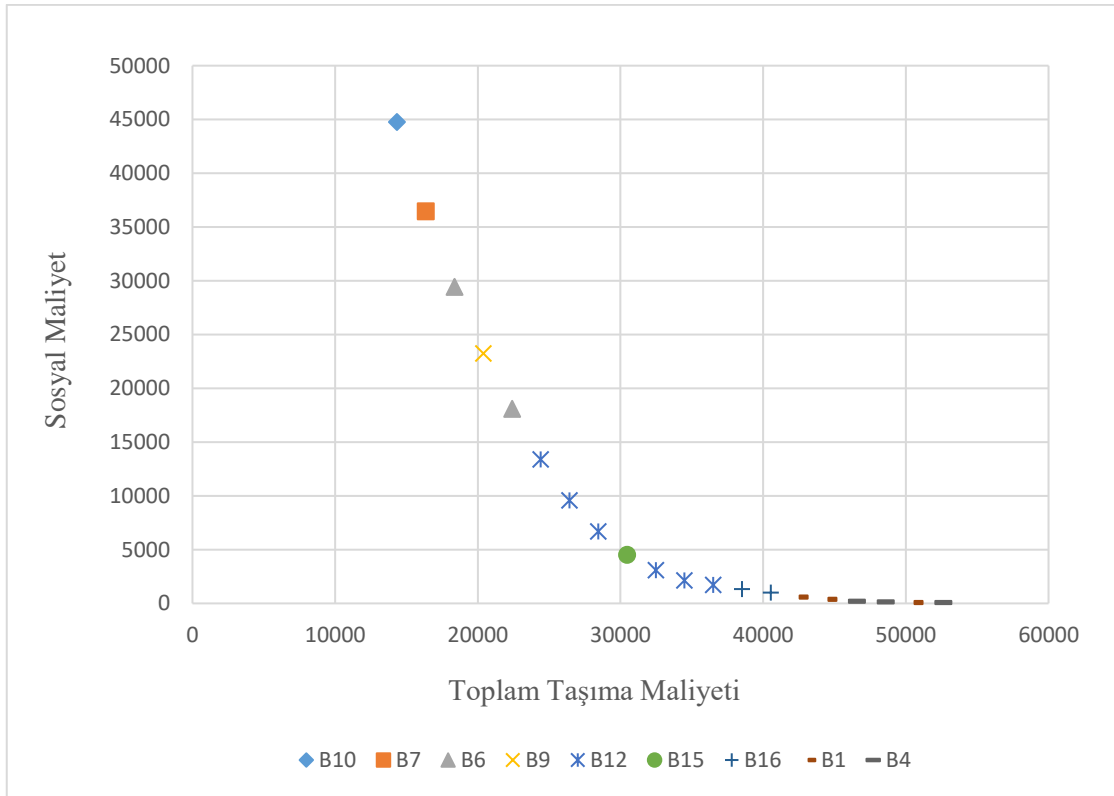
yerleşim yerleri karar vericiye tercihlerine uygun en iyi yer seçimini belirlemesi için sunulmuştur (Şekil 20).

Çizelge 7. Sabitlenen W değerleri ve baskılanmayan çözümler

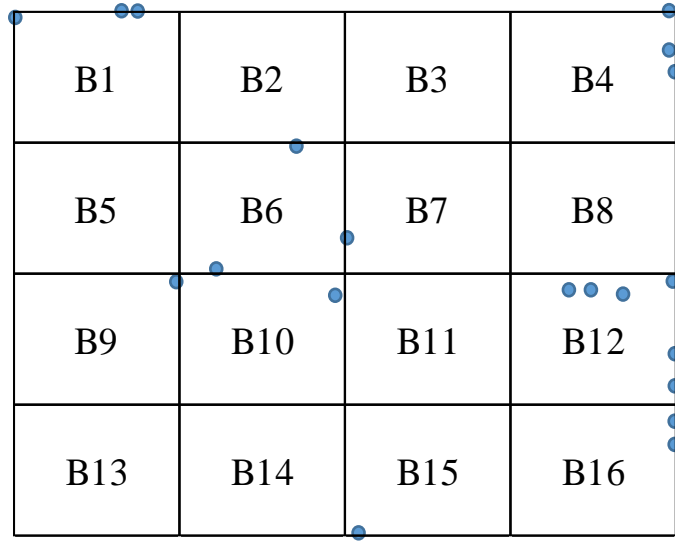
Bölge	x_1	x_2	Sabit W değeri	L_T
B10	49,00	46,00	14335	44766
B7	51,00	59,57	16350	36452,09
B6	29,26	51,00	18365	29418,02
B9	23,77	49,44	20380	23243,29
B6	41,00	74,57	22396	18080,68
B12	82,59	46,00	24411	13373,65
B12	86,78	46,00	26426	9578,91
B12	90,87	45,00	28441	6703,16
B15	53,24	0,00	30456	4503,32
B12	98,92	44,00	32471	3080,27
B12	100,00	33,96	34486	2144,67
B12	100,00	27,00	36502	1709,61
B16	100,00	21,89	38517	1329,14
B16	100,00	17,24	40532	990,09
B1	17,77	100,00	42547	573,24
B1	13,45	100,00	44562	371,51
B4	100,00	87,76	46577	206,43
B4	99,93	91,93	48592	138,19
B1	0,00	98,96	50608	90,23
B4	99,98	100,00	52623	71,82



Şekil 18. Adım 4 sonucu alt bölgelerin etkin sınırı



Şekil 19. Problemin etkin sınırında yer alan çözümler



Şekil 20. Algoritma sonucu kalan alt bölgeler ve etkin yerleşim yerleri

Örnek 2

Problem Tipi I'in uygulamasında kullanılan, iki boyutlu çözüm alanında 1000 talep merkezine hizmet verme amaçlı bir yarı-istenen tesis yer seçimi problemi ele alınmıştır. Burada algoritmanın ilk adımı ile çözüm alanı kenar uzunluğu 25 km olan 16 alt bölgeye bölünmüştür.

B kümesinde yer alan bölgelerin (b), istenmeyen etki sınırları dikkate alınarak talep miktarları azaltılmıştır (N_b). Her b bölgesinin uç çözümleri hesaplanmıştır. B kümesinde yer alan bölgelerin uç çözümlerine ait kriter değerleri Çizelge 8'de gösterilmiştir.

Çizelge 8. Alt bölgelerin N_b skorları ve uç çözümleri

Alt Bölge	N_b	Alt Bölge \underline{L}		Alt Bölge \underline{W}	
		\underline{W}	\underline{L}	\underline{W}	\underline{L}
B1	380	99748	455,04	52242	26112,42
B2	545	76392	2393,62	42248	43246
B3	536	80842	1880,52	42406	42614,38
B4	313	104680	227,06	56692	19446,08
B5	632	75610	3652,73	38688	54379,46
B6	892	52242	26112,31	28684	91953

B7	877	56867	19445,99	28852	90982,69
B8	511	80526	2831,91	43138	39321,75
B9	654	72142	4519,52	38586	54480,14
B10	929	48786	31436,00	28592	92338
B11	913	53236	22549,36	28750	91673,39
B12	528	77070	2613,95	43036	39312,22
B13	438	95324	685,85	48786	31436,59
B14	619	71972	5314,94	38792	54449,02
B15	610	76418	4119,08	38950	54085,379
B16	353	100252	423,70	53236	22549,46

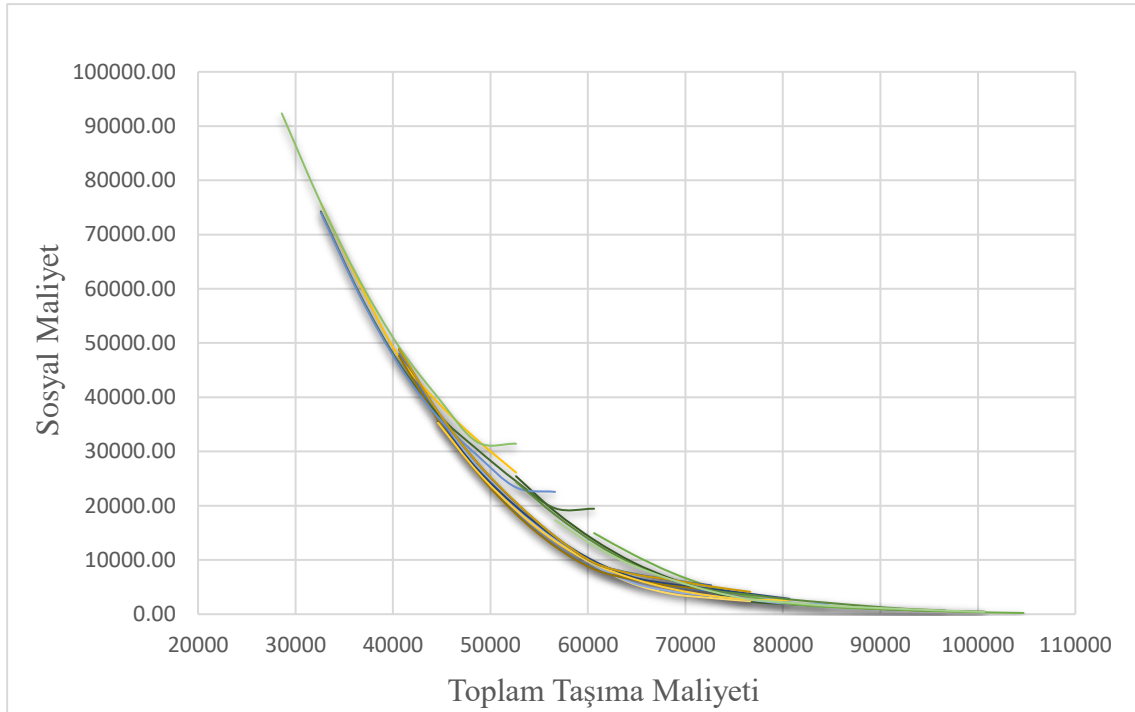
Problemin uç noktaları **(104680,227,06)** ve **(28592,92338)** şeklinde hesaplanmıştır. Rastgele üretilen tesis yerleşim yerlerinin kriter değerleri B kümesinde yer alan herhangi bir b alt bölgesinin ideali domine edilememiştir. Algoritmanın bu basamağında bölge silme işlemi gerçekleştirilememiştir. 16 alt bölge ile B^E kümesi oluşturulmuş ve *Adım 4'*e geçilmiştir.

B^E kümesinde yer alan bölgeler için karar vericinin 20 adet eşit aralıklı toplam taşıma maliyet değeri belirlediği varsayılmıştır. Bu değerler ile her b bölgesinin etkin sınırı belirlenmiştir (Şekil 21). Çizelge 9 ile alt bölgelerde bu sabit W değerlerine karşılık gelen baskılanmayan çözümler gösterilmiştir. Bu çözümler problemin etkin sınırını oluşturmaktadır (Şekil 22). Algoritma sonucu B^E kümesinde yer alan alt bölgeler ve etkin yerleşim yerleri karar vericiye tercihlerine uygun en iyi yer seçimini belirlemesi için sunulmuştur (Şekil 23).

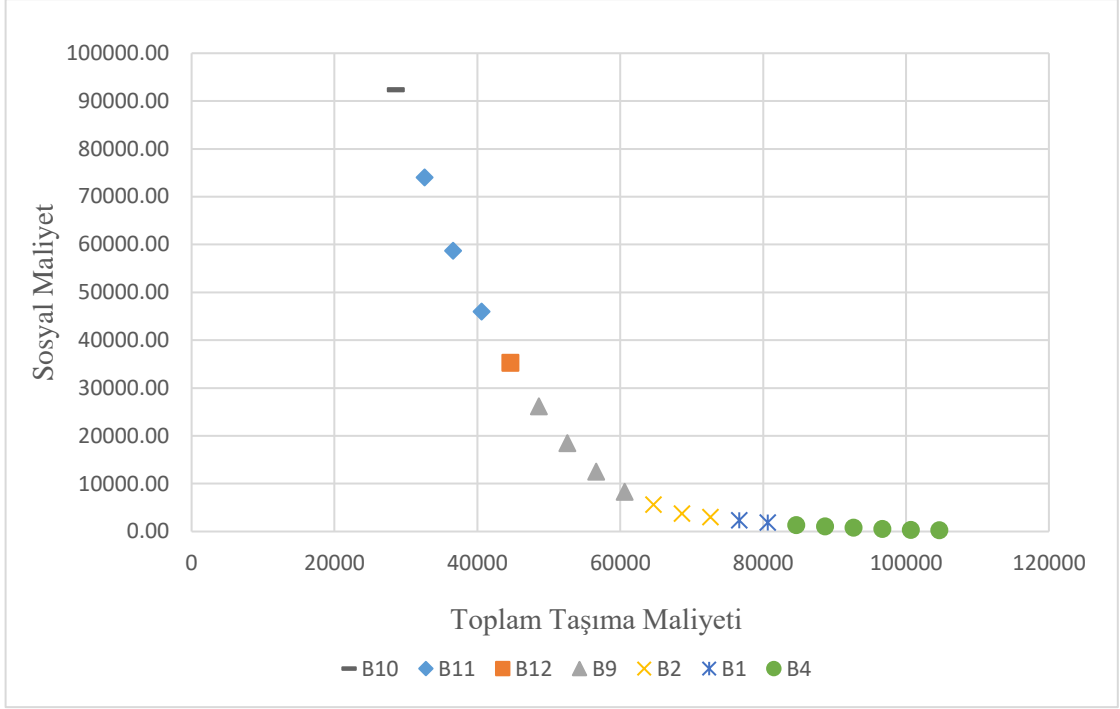
Çizelge 9. Sabitlenen W değerleri ve baskılanmayan çözümler

Bölge	x_1	x_2	Sabit W değeri	L_T
B10	47,00	48,00	28592	92338,69
B11	60,72	47,00	32596	74040,22
B11	66,97	47,00	36601	58690,6
B11	72,01	46,00	40605	45962,48
B12	76,56	45,00	44610	35291,17
B9	13,85	45,00	48614	26159,41
B9	9,48	47,00	52619	18459,02
B9	5,38	47,00	56623	12496,44
B9	1,34	47,00	60627	8291,27

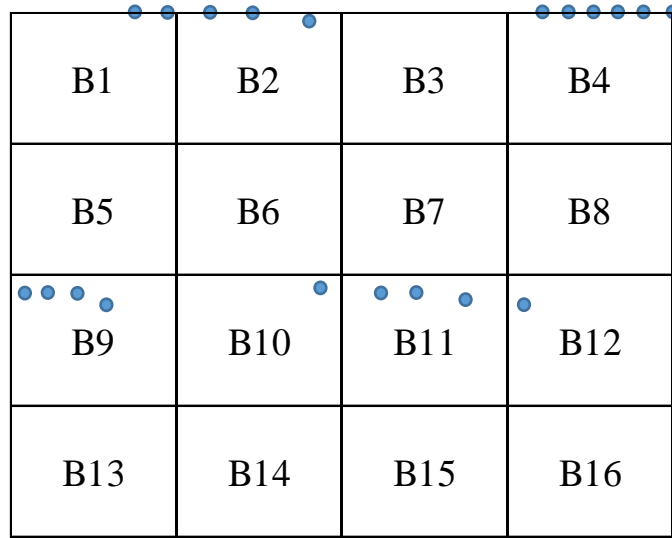
B2	45,00	98,13	64632	5612,88
B2	36,96	100,00	68636	3739,75
B2	29,97	100,00	72641	2984,04
B1	24,68	100,00	76645	2358,55
B1	19,95	100,00	80649	1859,84
B4	79,27	100,00	84654	1335,8
B4	83,58	100,00	88658	1031,6
B4	87,78	100,00	92663	757,26
B4	91,92	100,00	96667	519,36
B4	95,98	100,00	100670	340,93
B4	100,00	100,00	104680	227,06



Şekil 21. Adım 4 sonucu alt bölgelerin etkin sınırı



Şekil 22. Problemin etkin sınırında yer alan çözümler



Şekil 23. Algoritma sonucu kalan alt bölgeler ve etkin yerleşim yerleri

Sonuç olarak, taşıma maliyetleri ve sosyal maliyeti minimize eden iki amaçlı bir yarı-istenen tesis yerleşim problemi için ikinci kriter değeri hesabında farklılık gösteren iki problem tipi ele alınıp, bu iki problem tipine iki ayrı çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. İlk problem tipinde maksimum sosyal maliyet, ikinci problem tipinde ise toplam sosyal maliyet minimize edilmiştir. İlk problemde etkin çözümlerin bulunabileceği alan oldukça

daraltılmış, iki problemde de gerçek etkin çözümle bulunmuştur. Problem özelinde geliştirilen yaklaşımlar, özölmesi zor büyük boyutlu problemler üzerinde uygulanmış ve yaklaşımların gerçek hayatta uygulanabilirliği görölmüştür.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde, istenen ve istenmeyen etkilerin birlikte göz önünde bulundurulduğu iki amaçlı yarı-istenen tesis yerleşim problemi ele alınmıştır. Problemin ilk kriter değerinde toplam taşıma maliyetinin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Tesis ile talep noktaları arasında doğrusal mesafe metriği kullanılmıştır. İkinci kriter değerinde ise istenmeyen etki sosyal maliyet olarak temsil edilmiş ve bu maliyetin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Tesis ile talep noktaları arasında Öklid mesafe metriği kullanılmıştır.

İki kriterin gözetildiği iki farklı problem tipi üzerinde çalışılmıştır. Bu iki problem tipi istenmeyen etkinin minimize edildiği ikinci kriter değeri hesabında farklılıklar göstermiştir. Ele alınan Problem Tipi I ile tesis ve talep noktası arasındaki maksimum sosyal maliyetin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Problem Tipi II ile talep noktası başına düşen ortalama sosyal maliyetin minimize edilmesi hedeflenmiştir.

Büyük boyutlu versiyonlarda çözüm sürelerinin azaltılması ve etkin çözüm bulunduran bölgelerin daha iyi temsil edilebilmesi için BSSS algoritması her iki problem tipine uyarlanmıştır. Problemi küçültmek ve hesaplama sürelerini azaltmak adına ikinci kriter değeri hesabı için etki sınırları dikkate alınarak talep miktarı azaltılmıştır. Problem Tipi I için alt bölgelerin sınıflandırılması için sadece mesafeye dayanan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Algoritma sonucu, gerçek etkin sınırı temsil eden çözüm kümeleri, karar vericiye sunulmuştur. Problem Tipi II için alan değerlendirmesinde, ilk kriter değeri sabit tutulup ikinci kriter değeri minimize edilerek etkin çözümler bulunmuştur. Algoritma sonucu, etkin yerleşim yerleri, karar vericiye sunulmuştur.

Geliştirilen her iki algoritma 100 km*100 km'lik düzlemsel kare bir alan üzerinde 500 ve 1000 talep merkezine sahip veri kümeleri ile test edilmiştir. Algoritma sonucu makul sürelerde olası alanlar indirgenerek gerçek etkin sınırı temsil eden çözüm kümeleri elde edilmiştir.

Bu tez yarı-istenen tesis yerleşim problemlerinde kullanılan iki amaç fonksiyonunun yapısını ve karşılıklı ödünleşimlerini göz önüne alır. İstenmeyen etkinin dairesel yayılımını dikkate alarak parçalı fonksiyon yapısı ile gerçeğe en yakın yarı-istenen tesis yerleşim problemlerini temsil edebilir. Çalışmada, istenmeyen etkinin yayılımı ve hesaplanması üzerine iki problem tipi ve bu problem tiplerine uygun iki yeni algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma adımları talep miktarının artırıldığı, uygulama alanının genişletildiği ve farklı kısıtlara yer verilen problemler için modifiye edilebilir.

Çalışma gelecekte, yarı-istenen tesis yerleşim problemi özelinde kapasite ve/veya kapsama alanı kısıtlamaları getirilerek geliştirilebilir. Tesise belli bir yakınlığa kadar yerleşim olmadığı durum için algoritma uyarlanabilir. Baskın çözümlerin üretilmesi ve problemin etkin sınırının belirlenmesinde ilgili çözüm yöntemi değiştirilebilir. Birden fazla tesisin yerleştirileceği problemler için algoritma uyarlanabilir. Probleme daha kısa sürede daha fazla sayıda etkin çözümler bulabilecek metasezgisel yöntemler (Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II, NSGA-II, [30] yöntemi) uyarlanabilir. Metasezgisel yöntemlerle elde edilen çözümler, çözüm süreleri de göz önüne alınarak hesaplanan gerçek çözümler ile kıyaslanabilir. Algoritmalar karar vericinin tercihlerini gözeterek şekilde güncellenebilir.

10. KAYNAKLAR

- [1] A. Teran-Somohano, A.E. Smith, “Locating multiple capacitated semi-obnoxious facilities using evolutionary strategies,” *Computers and Industrial Engineering*, vol. 133, pp. 303–316, **2019**.
- [2] E. Erkut, S. Neuman, “Analytical models for locating undesirable facilities,” *European Journal of Operational Research*, vol. 40, pp. 275–291, **1989**.
- [3] O. Berman, Q. Wang, “Locating semi-obnoxious facilities with expropriation: Minisum criterion,” *Journal of the Operational Research Society*, vol. 58, pp. 378–390, **2007**.
- [4] E. Melachrinoudis, “Bicriteria location of a semi-obnoxious facility,” *Computers and Industrial Engineering*, vol. 37, pp. 581–593, **1999**.
- [5] Y. Ohsawa, K. Tamura, “Efficient Location for a Semi-Obnoxious Facility,” *Annals of Operations Research*, vol. 123, pp. 173–188, **2003**.
- [6] H. Yapicioglu, A.E. Smith, G. Dozier, “Solving the semi-desirable facility location problem using bi-objective particle swarm,” *European Journal of Operational Research*, vol. 177, pp. 733–749, **2006**.
- [7] E. Karasakal, D. Nadirler, “An interactive solution approach for a bi-objective semi-desirable location problem,” *Journal of Global Optimization*, vol. 42, pp. 177–199, **2008**.
- [8] P.M. Ortigosa, E.M.T. Hendrix, “On a specific method to solve semi-obnoxious continuous facility location problems *,” pp. 109–112, **2010**.
- [9] P.M. Ortigosa, E.M.T. Hendrix, J.L. Redondo, “On heuristic bi-criterion methods for semi-obnoxious facility location,” *Computational Optimization and Applications*, vol. 61, pp. 205–217, **2015**.
- [10] A. Wagner, “Locating a semi-obnoxious facility in the special case of Manhattan distances,” *Mathematical Methods of Operations Research*, vol. 90, pp. 255–270, **2019**.
- [11] P. Hansen, D. Peeters, D. Richard, J.F. Thisse, “Minisum and Maximax Location Problems Revisited.,” *Operations Research*, vol. 33, pp. 1251–1265, **1985**.
- [12] J. Brimberg, H. Juel, “A bicriteria model for locating a semi-desirable facility in the plane,” *European Journal of Operational Research*, vol. 106, pp. 144–151, **1998**.
- [13] J. Brimberg, H. Juel, “On locating a semi-desirable facility on the continuous plane,” *International Transactions in Operational Research*, vol. 5, pp. 59–66, **1998**.
- [14] E. Melachrinoudis, Z. Xanthopoulos, “Semi-obnoxious single facility location in

- Euclidean space,” *Computers and Operations Research*, vol. 30, pp. 2191–2209, **2003**.
- [15] J. Coutinho-Rodrigues, L. Tralhão, L. Alçada-Almeida, “A bi-objective modeling approach applied to an urban semi-desirable facility location problem,” *European Journal of Operational Research*, vol. 223, pp. 203–213, **2012**.
- [16] J. Fernández, J.L. Redondo, A.G. Arrondo, P.M. Ortigosa, “A Triobjective Model for Locating a Public Semiobnoxious Facility in the Plane,” *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2015, **2015**.
- [17] M. Gholami, J. Fathali, “The semi-obnoxious minisum circle location problem with euclidean norm,” *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications*, vol. 12, pp. 669–678, **2021**.
- [18] Y. Ohsawa, “Bicriteria Euclidean Location Associated with Maximin and Minimax Criteria,” *Naval Research Logistics*, vol. 47, pp. 581–592, **2000**.
- [19] F. Plastria, J. Gordillo, E. Carrizosa, “Locating a semi-obnoxious covering facility with repelling polygonal regions,” *Discrete Applied Mathematics*, vol. 161, pp. 2604–2623, **2013**.
- [20] Y. Ohsawa, F. Plastria, K. Tamura, “Euclidean push-pull partial covering problems,” *Computers and Operations Research*, vol. 33, pp. 3566–3582, **2006**.
- [21] R. Heydari, E. Melachrinoudis, “Location of a semi-obnoxious facility with elliptic maximin and network minisum objectives,” *European Journal of Operational Research*, vol. 223, pp. 452–460, **2012**.
- [22] M. Golpayegani, J. Fathali, E. Khosravian, “Median line location problem with positive and negative weights and Euclidean norm,” *Neural Computing and Applications*, vol. 24, pp. 613–619, **2014**.
- [23] M. Golpayegani, J. Fathali, H. Moradi, “A particle swarm optimization method for semi-obnoxious line location problem with rectilinear norm,” *Computers and Industrial Engineering*, vol. 109, pp. 71–78, **2017**.
- [24] K.A.A. Andersen J. V. Skriver, “The Bicriteria Semi-obnoxious Location Problem (BSLP) Solved by an e-Approximation,” pp. 5–8, **2006**.
- [25] C.E. Romero-Morales Dolores, Emilio Carrizosa, “Semi-obnoxious location models: A global optimization approach,” *European Journal of Operational Research*, vol. 102, pp. 295–301, **1997**.
- [26] J. Brimberg, H. Juel, “A minisum model with forbidden regions for locating a semi-desirable facility in the plane,” *Location Science*, vol. 6, pp. 109–120, **1998**.
- [27] S. Sayin, “A mixed integer programming formulation for the 1-maximin problem,” *Journal of the Operational Research Society*, vol. 51, pp. 371–375, **2000**.

- [28] G. Mavrotas, “Effective implementation of the ε -constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming problems,” *Applied Mathematics and Computation*, vol. 213, pp. 455–465, **2009**.
- [29] F. Plastria, “GBSSS: The generalized big square small square method for planar single-facility location,” *European Journal of Operational Research*, vol. 62, pp. 163–174, **1992**.
- [30] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, T. Meyarivan, “A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II,” *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 6, pp. 182–197, **2002**.

EKLER

EK 1 – Tezden Türetilmiş Bildiriler

F. Ersoy, D. Tezcaner Öztürk, Taşıma Maliyeti ve Maksimum İstenmeyen Etkiyi Minimize Eden Yarı-istenen Tesis Yer Seçimi Problemi, 40. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi (YAEM 2021), 5-7 Temmuz, İstanbul, Türkiye **2021**.

D. Tezcaner Öztürk, F. Ersoy, Biobjective Approaches for Location a Semi-Desirable Facility, 31th European Conference on Operational Research (EURO2021), 11-14 Temmuz, Atina, Yunanistan, **2021**.