



Goal programming model for bi-objective inverse multiple criteria sorting problem

Billur Ecer^{1*}, Mehmet Kabak², Metin Dağdeviren²

¹Department of Industrial Engineering, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, 06010, Turkey

²Department of Industrial Engineering, Gazi University, Ankara, 06570, Turkey

Highlights:

- Bi-objective inverse multiple criteria sorting problem
- Linear multiple criteria sorting model
- Goal programming approach to obtain compromise solution between conflicting objectives

Keywords:

- Inverse multiple criteria sorting problem
- Goal programming
- Linear sorting model

Article Info:

Research Article
Received: 13.03.2019
Accepted: 30.03.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.539218

Correspondence:

Author: Billur Ecer
e-mail: becer@ybu.edu.tr
phone: +90 312 906 2263

Graphical/Tabular Abstract

Some kind of multi-criteria decision-making problems are interested in the assignment of objects to predetermined classes. Based on the existence of preference order between object classes, these problems are called as multi-criteria sorting or classification problems. Inverse multi-criteria sorting problem deals with the improvement of class assignments for objects to more preferred classes. In this study, a bi-objective formulation for inverse multi-criteria ranking problem is proposed. Solution to the model for a building energy efficiency labels improvement application is obtained by using goal programming approach to find a compromise solution between the improvement plan cost and the number of objects assigned to preferred classes.

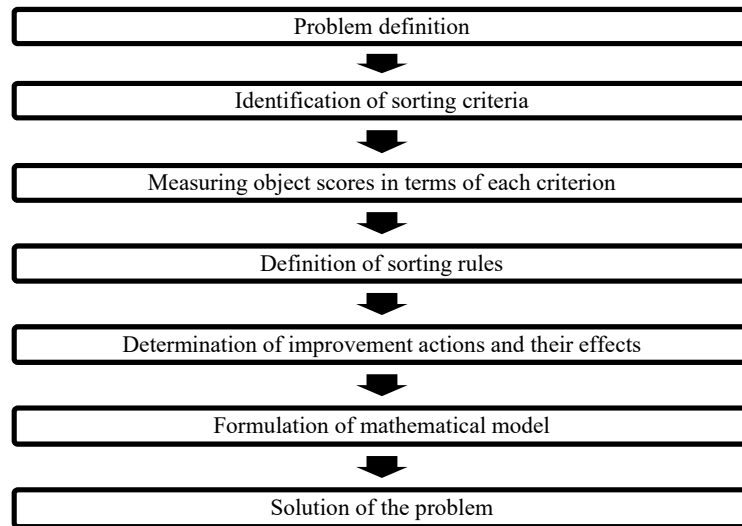


Figure A. Steps of modelling and solution process for the proposed model

Purpose: The main aim of this study is to propose a new model for inverse multi-criteria sorting problem in order to extend the problem into multi-objective optimization context. To do so, a bi-objective model is proposed and solution to the model is obtained by goal programming approach.

Theory and Methods:

Inverse multi-criteria sorting problem aims to determine improvement strategies for assignment of objects to more preferred classes in sorting applications. The proposed model in this study is a multi-objective integer linear programming model. To obtain a compromise solution between two objectives, goal programming approach is utilized as the solution methodology.

Results:

A numerical example on the improvement of building energy efficiency labels is presented. According to the criteria used in the BEP – TR model, which measures the energy efficiency of buildings in Turkey, improvement plan is developed for energy labels of ten buildings.

Conclusion:

The first multi-objective model for inverse multi-criteria sorting problem is proposed in this study. Solution results seems promising for application of the problem in different areas.



İki amaçlı ters çok kriterli sıralama problemi için hedef programlama modeli

Billur Ecer^{1*}, Mehmet Kabak², Metin Dağdeviren²

¹Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06010, Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06570, Ankara, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- İki amaçlı ters çok kriterli sıralama problemi
- Doğrusal çok kriterli sıralama modeli
- Çelişen amaçlar arasında uzlaşık çözümü elde etmek için hedef programlama yaklaşımı

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 13.03.2019

Kabul: 30.03.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.539218

Anahtar Kelimeler:

Ters çok kriterli sıralama
problemi,
hedef programlama,
doğrusal sıralama modeli

ÖZET

Çok kriterli karar verme problemlerinin çözümlerinin bir kısmında, nesnelerin birden fazla kriter temelinde değerlendirilerek önceden belirlenmiş sınıflara atanması gerçekleştirilir. Bu tip problemler sınıfların sıralı olup olmamasına bağlı olarak çok kriterli sıralama veya sınıflandırma problemleri olarak tanımlanırlar. Ters çok kriterli sıralama problemi ise, nesnelerin durumlarını değiştirebilecek olası eylemler arasında seçimler yapılması yoluyla nesnelerin atandığı sınıfların iyileştirilmesiyle ilgilidir. Bu çalışmada ters çok kriterli sıralama problemi için en düşük maliyetli iyileştirme ve belirli bir sınıfa atanan nesne sayısı hedefi arasında uzlaşık çözümü bulmayı amaçlayan bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model bina enerji sınıflarını iyileştirmeye yönelik bir uygulama çalışması üzerinde test edilerek elde edilen çözüm sonuçları değerlendirilmiştir.

Goal programming model for bi-objective inverse multiple criteria sorting problem

H I G H L I G H T S

- Bi-objective inverse multiple criteria sorting problem
- Linear multiple criteria sorting model
- Goal programming approach to obtain compromise solution between conflicting objectives

Article Info

Research Article

Received: 13.03.2019

Accepted: 30.03.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.539218

Keywords:

Inverse multiple criteria
sorting problem,
goal programming,
linear sorting model

ABSTRACT

A type of multi-criteria decision-making problems is about the assignment of objects to predetermined classes by considering multiple criteria. Such problems are defined as multi-criteria sorting or classification problems based on whether the classes are ordered or not. Inverse multi-criteria sorting problem deals with the improvement of assigned classes of objects by determining the possible actions that can change the state of objects. In this study, a goal programming model of inverse multi-criteria ranking problem is proposed to find a compromise solution between the improvement at least cost and the number of objects assigned to a particular class. The proposed model is tested on an application of building energy class improvement and obtained solution results are evaluated.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Karar verme uygulamaları literatürde oldukça fazla çalışılmış durumda olup araştırmacılar tarafından farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamalara örnek olarak öğrenci seçimi [1], stok sınıflandırma [2], proje değerlendirme [3] ve tedavi yöntemi sıralaması [4] gibi çalışmalar gösterilebilir. Karar verme uygulamalarının bir kısmında problem, nesnelere önceden belirlenmiş sınıflara atanmasını hedeflemektedir. Çok kriterli bakış açısında, bu tür problemlerin çok kriterli sıralama veya sınıflandırma teknikleri ile ele alınması mümkündür [5]. Çok kriterli sıralama, sınıfların en çok tercih edilen nesneden en az tercih edilene doğru sıralı tanımlandığı durumları ifade ederken, çok kriterli sınıflandırma sınıfların nominal olarak tanımlandığı durumları ifade etmektedir. Çok kriterli sınıflandırma ve sıralama problemlerinin sağlık, örüntü tanımlama, insan kaynakları yönetimi, finansal yönetim ve ekonomi başta olmak üzere pek çok alanda uygulaması vardır [6].

Ters çok kriterli sıralama problemi (TÇKSP) ise, sıralanacak nesnelere uygun istenen şekilde sıralanmasını garanti edecek şekilde, nesnelere kriter bazında değerlendirmelerini değiştirmesi olası eylemlerle ilgilenmektedir [7]. Her eylemin bir maliyeti ve nesnelere kriter bazında değerlendirmeleri üzerinde yaratacağı bir değişim olduğu kabul edilirse, hedef istenen sınıflamayı sağlayacak toplam maliyetin en düşük olacağı uygun eylemleri belirlemek olacaktır.

Bu çalışmada ters çok kriterli sıralama problemi için çok amaçlı bir karar verme durumu ele alınmıştır. Sıralamada iyileştirme yapabilmek için katlanılacak maliyeti ve istenmeyen sınıflara düşecek nesnelere en az sayıda olması için iki amaçlı bir karma tamsayılı programlama modeli önerilmiş, uzlaşık bir çözüme ulaşabilmek için hedef programlama tekniğinden yararlanılmıştır.

Çalışmanın ikinci ve üçüncü kısımlarında sırasıyla çok kriterli sıralama problemi ile ters çok kriterli sıralama problemi tanıtılmış, önerilen model dördüncü bölümde verilmiştir. Beşinci bölümde modelin çözümüne yönelik örnek bir bina enerji verimini iyileştirme uygulaması sunulmuş, sonuçlar ve gelecek çalışmalara yönelik öneriler ile altıncı bölümde tamamlanmıştır.

2 ÇOK KRİTERLİ SIRALAMA PROBLEMİ (MULTI-CRITERIA SORTING PROBLEM)

Çok kriterli sıralama ve sınıflandırma problemleri araştırmacıların yoğun ilgi gösterdiği konulardandır. İki problem de önceden belirlenmiş sınıflara bir dizi nesnenin atanması ile ilgili olmakla birlikte, sınıfların tanımlanma biçimine göre farklılık göstermektedir. Sınıflandırmada, sınıflar nominal bir şekilde tanımlanırken; sıralamada en fazla tercih edilenden en az tercih edilene doğru sıralı biçimde tanımlanmaktadır [6].

Çok Kriterli Sıralama Problemi şöyle tanımlanabilir [8]:

Sonlu sayıdaki nesnenin, sonlu sayıda kriter için değerlendirildiğini, $I=\{1, 2, \dots, m\}$ kümesinin nesne indislerini ve $J=\{1, 2, \dots, n\}$ kümesinin kriter indislerini ifade ettiğini kabul edelim. Bir a_i nesnesi için, $g_j(a_i)$ i nesnesinin j kriteri temelindeki performansını göstermekte ve karar verici nesnelere q sınıfta sıralamak isterken c_k k sınıfını, c_1 en çok tercih edilen, c_q en az tercih edilen grubu ifade ediyor olsun. Sınıf indisleri ise $K=\{1, 2, \dots, q\}$ kümesi ile gösterilsin.

Bu şekilde tanımlanan problem, klasik sıralama problemidir. Literatürde klasik çok kriterli sıralama üzerine yapılmış çalışmalara rastlamak mümkündür. Problemin bazı uygulamaları şu şekilde listelenebilir [6]:

Tıp: Hastaların belirtiler temelinde hastalık sınıflarına sınıflandırılması [9]

Örüntü tanıma: Nesnelere veya bireylerin fiziksel özelliklerinin incelenmesi ve tanımlanması [10]

İnsan kaynakları yönetimi: Nitelikleri doğrultusunda personelin uygun meslek gruplarına atanması [11]

Üretim sistemleri yönetimi ve teknik teşhis: Stok sınıflandırma [12], tedarikçilerin gruplandırılması [13], karmaşık üretim sistemlerinin arıza teşhisi amacıyla izlenmesi [14]

Pazarlama: Müşteri memnuniyeti ölçümü, farklı müşteri sınıflarının özelliklerinin analizi, mağaza yeri seçeneklerinin değerlendirilmesi [15], piyasa nüfuz stratejilerinin geliştirilmesi vb. [16]

Çevre ve enerji yönetimi, ekoloji: Farklı enerji politikalarının çevresel etkilerinin analizi ve ölçülmesi, enerji politikalarının ülke düzeyinde etkinliğinin araştırılması [17, 18]

Finansal yönetim ve ekonomi: İşletme başarısızlığı tahmini, firmalar ve tüketiciler için kredi riski değerlendirmesi, hisse senedi değerlendirme ve sınıflandırma, ülke risk değerlendirmesi, tahvil derecelendirme vb. [19, 20]

Sınıflandırma ve sıralama problemlerinden gerçek uygulamalarda geniş bir yelpazede faydalanılması, araştırmacıları sınıflandırma ve sıralama modelleri için metodolojiler geliştirmeye teşvik etmiştir. Bu tür modelleri geliştirirken gerçek dünya problemlerinin çok boyutlu doğasını dikkate alan bir çerçeve oluşturmak gerekmektedir.

Sınıflandırma ve sıralama problemleri için geliştirilen yöntemler istatistiksel, parametrik olmayan ve çok kriterli yöntemler olmak üzere üç grupta incelenebilir [21]. İstatistiksel yöntemler; diskriminant analiz, logit ve probit analizleridir. Parametrik olmayan yöntemler; makine

öğrenmesi, sinir ağları, bulanık küme teorisi şeklinde sayılabilir. Çok kriterli yöntemler ise UTADIS gibi tercih ayrıştırma yöntemleri ve ELECTRE – TRI gibi doğrudan karar verme yöntemleridir.

Sınıflandırma ve sıralama modelleri üzerine yapılan son araştırmalar, yöneylem araştırması ve yapay zeka tekniklerine dayanmaktadır. Sinir ağları [12], makine öğrenmesi [9], kaba kümeler [13], bulanık kümeler [16] ve çok kriterli karar verme [14] gibi metodolojiler araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır.

3. TERS ÇOK KRİTERLİ SIRALAMA PROBLEMİ (INVERSE MULTI-CRITERIA SORTING PROBLEM)

Ters çok kriterli sıralama probleminde, nesnelerin kriter bazında durumlarını değiştirebilecek olası eylemler arasından seçim yapılmaya çalışılır. Bu seçim işleminde amaç istenen sıralama durumunu sağlayabilmek için hangi eylemlerin uygun olduğunu tespit etmektir. Bu yönüyle TÇKSP, veri zarflama analizinin geliştirilmiş versiyonu olarak tanımlanabilir [7].

Veri zarflama analizinde amaç karar birimlerinin görece etkinliklerini hesaplayarak etkin olmayan birimlerin hangi şartlar altında etkin olabileceklerini belirlemektir [22]. Etkin ve etkin olmayan olmak üzere iki sınıf içeren veri zarflama modellerine karşın, Ters Çok Kriterli Sıralama modellerinde daha fazla sayıda sınıf bulunabilmektedir. x_k nesne performansını etkileyebilecek k eyleminin uygulanması kararını göstermek üzere TÇKSP'nin nesnelere istenen sınıflara taşımayı en düşük maliyetle sağlayacak matematiksel modeli aşağıdaki gibidir [7]:

$$enk \sum_{k=1}^K c_k x_k \quad (1)$$

kısıtlar

$$o'_{ij} = o_{ij} + \sum_{k=1}^K \delta_{ijk} x_k, \quad \forall i, j \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J w_j o'_{ij} \geq b^{p_i}, \quad \forall i \quad (3)$$

$$x_k \in \{0,1\}, \quad \forall k \quad (4)$$

Eş. 1 ile verilen amaç fonksiyonu, nesnelerin durumlarını değiştirmesi için seçilecek eylemlerin toplam maliyetinin en küçük olmasını hedeflemektedir. Seçilen eylemlerin nesnelerin kriter bazındaki performanslarını etkilemesi durumu Eş. 2'de gösterilmiştir. Burada ifade edilen δ_{ijk} k eyleminin i nesnesine j kriteri açısından etkisini ifade etmektedir. Nesnelerin kriter bazında performanslarının ağırlıklı toplamları ile toplam performans değeri

hesaplanmakta ve bu değer nesnenin olması istenen sınıfa ait performans alt sınır değerinden daha büyük olması gerekmektedir. Eş. 3 ile gösterilen bu durum sınıflandırma işleminin gerçekleştiğini ifade eder. Modele ait karar değişkeni olan eylemlerin seçilip seçilmemesi kararı 0-1 tamsayı ikili değişken olup Eş. 4 ile kısıtlanmıştır.

Kullanılan sınıflama yaklaşımlarına bağlı olarak ters çok kriterli sıralama problemi farklı kısıtlayıcılar kullanılarak modellenebileceği gibi olası eylemlerin seçiminde tercih edilecek amaç fonksiyonu veya fonksiyonlarına ve eylem kısıtlayıcılarına bağlı olarak da farklı modeller geliştirilebilir. Bu çalışmada iki amaçlı TÇKSP ele alınmış ve hedef programlama ile çözümü gerçekleştirilmiştir.

Ters çok kriterli sıralama problemi literatüre ilk kez 2015 yılında sunulan bir konferans bildirisi [23] ile tanıtılmış, konuyla ilgili tek makale [7] 2018 yılında yayımlanmıştır. Bu çalışma ile önerilen problemin iki amaçlı durumu ilk kez ele alınmaktadır.

4. ÖNERİLEN HEDEF PROGRAMLAMA MODELİ (PROPOSED GOAL PROGRAMMING MODEL)

Bu çalışmada TÇKSP ile düşük maliyetli ve istenen sınıflara atanan nesnelerin sayısı mümkün olduğunca yüksek tutacak eylemlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu durum iki amaçlı bir doğrusal programlama modeli olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$enk \sum_{k=1}^K c_k x_k \quad (5)$$

$$enb \sum_{h=1}^{q_{istenen}} \sum_{i=1}^m y_{hi} \quad (6)$$

kısıtlar

$$o'_{ij} = o_{ij} + \sum_{k=1}^K \delta_{ijk} x_k, \quad \forall i, j \quad (7)$$

$$\sum_{h=1}^l y_{hi} = 1, \quad \forall i \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n o'_{ij} w_j \geq b^{h-1} - M(1 - y_{hi}), \quad \forall i, \quad \forall h = 2, \dots, t \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n o'_{ij} w_j \leq b^h + M(1 - y_{hi}), \quad \forall i, \quad \forall h = 1, \dots, t-1 \quad (10)$$

$$x_k \in \{0,1\}, \quad \forall k \quad (11)$$

$$y_{hi} \in \{0,1\}, \forall h,i \quad (12)$$

Eş. 5 ile seçilen eylemlerin toplam maliyetinin en az düzeyde olması, Eş. 6 ile atama istenen sınıflardaki toplam nesne sayısının en büyük sayıda olması amaçlanmaktadır.

Eş. 7 nesnelerin yeni durumunun seçilen eylemlerin yaratacağı değişikliklerle hesaplandığını göstermektedir. Nesnelerin yalnızca bir sınıfa ait olma durumu Eş. 8 ile sunulmuştur. Nesnelerin atanacakları sınıflara ait ağırlıklı toplam sınırları içinde yer almaları halinde ilgili sınıflara atanabilecekleri Eş. 9 ve Eş. 10 ile ifade edilmektedir. Eş. 11 ve Eş. 12 eylemlerin seçilme durumlarını ve nesnelerin sınıflara atanma durumlarını gösteren değişkenlere ilişkin işaret kısıtlarıdır.

Yukarıda matematiksel ifadesi verilen problem için uzlaşık bir çözüm elde etmek amacıyla hedef programlama yaklaşımından faydalanılmıştır. Aşağıda hedef programlama yaklaşımı tanıtılarak önerilen hedef programlama modeli verilmiştir.

4.1. Hedef Programlama Yaklaşımı (Goal Programming Approach)

Çok amaçlı karar verme problemlerini çözmeye yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan hedef programlama ilk kez 1955 yılında önerilmiştir [24]. 1970'lere kadar kısıtlı sayıda uygulamaları görülen tekniğin günümüzde farklı alanlarda oldukça fazla sayıda uygulamalarına erişmek mümkündür. Tedarikçi seçiminde [25], proje değerlendirmesinde [26], personel atama probleminde [27] ve tesis düzenlemesinde [28] hedef programlama uygulamalarının örnekleri mevcuttur. Hedef programlamanın gelişimi ve uygulamaları için yapılmış bir inceleme çalışmasından da tekniğin gelişimi ve farklı uygulamaları hakkında bilgi edinmek mümkündür [29]. Hedef programlama modelinin temel formülasyonu aşağıda verildiği gibidir [30]:

$$enk \sum_{i=1}^n |f_i(X) - g_i| \quad (13)$$

kısıtlar

$$X \in F \quad (14)$$

Hedef programlama modeli mümkün çözüm kümesi içinde hedef fonksiyonlarının hedef değerlerinden toplam sapmalarının en küçük olmasını amaçlar. Eş. 13 toplam sapmanın hesabını gösterirken, Eş. 14 X 'in uygun çözüm bölgesinde olduğunu ifade etmektedir.

4.2. Önerilen Model (Proposed Model)

Çalışmanın bu kısmında iki amaçlı TÇKSP için önerilen hedef programlama modeli verilmiştir. Modelin matematiksel formülasyonu aşağıda verildiği gibidir:

$$enk d_1^+ + d_2^- \quad (15)$$

kısıtlar

$$\sum_{k=1}^K c_k x_k + d_1^- - d_1^+ = B \quad (16)$$

$$\sum_{h=1}^{q_{istenen}} \sum_{i=1}^m y_{hi} + d_2^- - d_2^+ = C \quad (17)$$

$$o'_{ij} = o_{ij} + \sum_{k=1}^K \delta_{ijk} x_k, \forall i,j \quad (18)$$

$$\sum_{h=1}^t y_{hi} = 1, \forall i \quad (19)$$

$$\sum_{j=1}^n o'_{ij} w_j \geq b^{h-1} - M(1 - y_{hi}), \forall i, \forall h = 2, \dots, t \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^n o'_{ij} w_j \leq b^h + M(1 - y_{hi}), \quad (21)$$

$$\forall i, \forall h = 1, \dots, t - 1$$

$$x_k \in \{0,1\}, \forall k \quad (22)$$

$$y_{hi} \in \{0,1\}, \forall h,i \quad (23)$$

$$d_1^-, d_1^+, d_2^-, d_2^+ \geq 0 \quad (24)$$

Eş. 15 ile verilen amaç fonksiyonu, eylemler için ayrılmış bütçe hedef değerinden pozitif sapma ile sınıflandırmada istenen sınıflara düşen nesne sayısı hedef değerinden negatif yönlü sapmanın toplamını en küçüklemeyi amaçlamaktadır. Bütçe hedef kısıtı Eş. 16, sınıflandırma hedef kısıtı Eş. 17 ile verilmiştir. Nesnelerin kriter bazında performansları için yeni durum seçilen eylemlere göre değişmektedir. Bu durum Eş. 18 ile gösterilmiştir. Her bir nesnenin yalnızca bir sınıfa atanabileceği Eş. 19 ile ifade edilirken, Eş. 20 ve Eş. 21 nesnelerin kriter bazında performanslarının ağırlıklı toplamı ile sınıflara atanacaklarını göstermektedir. Eş. 22-Eş. 24 ile modeldeki karar değişkenlerinin işaret kısıtları tanımlanmıştır.

5. BİNA ENERJİ VERİMİNİ İYİLEŞTİRMEYE YÖNELİK BİR UYGULAMA (AN APPLICATION OF BUILDING ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT)

Önerilen modelin uygulaması binalarda enerji verimini iyileştirmeye yönelik bir problem üzerinde sunulmuştur.

Ülkemizde binaların enerji verimi ile ilgili yasal düzenlemeler 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu'na bağlı olarak çıkartılan “*Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği*”ne [31] bağlı olarak yürütülmektedir. Bu yönetmelik binaların enerji tüketimine bağlı olarak en iyi A, en kötü G sınıfına atanacak şekilde enerji sınıfının belirlenmesini sağlamaktadır. Yeni yapılacak binaların iskân enerji verimi sınıfında olması gerekirken, mevcut binalar için böyle bir şart söz konusu değildir [32]. Diğer taraftan İngiltere’de uygulanan enerji verimi uygulaması ile ev alım satım süreçlerinde, binanın mevcut durumunun yanında binada enerji verimini artırıcı uygulamaların neler olabileceğini gösteren bir “*Ev Bilgi Paketi*” hazırlanmaktadır [33]. Ülkemizdeki yalnızca enerji performansı hesaplamaya dayalı modelin TÇKSP modeli ile birleştirilerek mülk sahiplerine binaları ile ilgili olası verim iyileştirme eylemleri konusunda da bilgi verecek bir hal alması mümkün olabilir.

Uygulamada 8 binadan oluşan bir site için 7 kriter temelinde performansları değerlendirerek sınıflandırma yapan ve mevcut durumu iyileştirebilecek 5 farklı tadilat eyleminden seçim yapmaya yönelik bir çalışma sunulacaktır. Binaların enerji verimini etkileyen kriterler ve önem dereceleri Kabak vd. [34] tarafından önerilen; konum ve iklim verisi (K1), geometrik biçim (K2), bina çevresi (K3), mekanik sistemler (K4), aydınlatma sistemi (K5), sıcak su sistemi (K6), yenilenebilir enerji ve kojenerasyon (K7) olarak ele alınmıştır. Enerji verimini iyileştirmek için yapılabilecek tadilat eylemleri; enerji verimi en iyi çatı tipi ile mevcut çatıyı değiştirmek (E1), binanın HVAC sistemini en verimli sistem ile değiştirmek (E2), aydınlatma sistemini en verimli aydınlatma sistemi ile değiştirmek (E3), merkezi bir sıcak su sistemi kurmak (E4) ve enerji talebini desteklemek için çatılara güneş panelleri kurmak (E5) şeklinde belirlenmiştir. Binaların uygulama başlangıcında performans değerleri ve kriter ağırlıkları Tablo 1 ile verildiği gibidir:

Tablo 1. Binaların mevcut puanları (Initial scores of buildings)

Bina	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
B1	14	12	11	13	9	16	19
B2	23	15	20	18	19	15	23
B3	16	19	9	15	8	18	14
B4	28	26	8	12	7	13	22
B5	13	1	1	2	2	2	6
B6	22	13	10	15	10	15	20
B7	11	19	16	17	5	20	12
B8	15	16	11	3	7	9	12
Kriter Ağırlığı	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2

Tabloda verilen performans değerleri arttıkça binanın enerji veriminin azaldığı varsayılmıştır. Her bir kriter için 0 en iyi performansı ifade ederken, 30 en kötü performansı ifade etmektedir. EPD, enerji performans değerini ifade etmekte olup binaların enerji sınıfları, binaların kriter bazında enerji performans değerlerinin ağırlıklı toplamı ile hesaplanmakta ve Tablo 2’de verilen sınıf aralıkları ile belirlenmektedir.

Tablo 2. Enerji verim sınıf aralıkları (Energy efficiency class intervals)

Sınıf	Sınır Değerler
A	$EPD \leq 6$
B	$6 < EPD \leq 9$
C	$9 < EPD \leq 13$
D	$13 < EPD \leq 18$
E	$18 < EPD \leq 22$
F	$22 < EPD \leq 27$
G	$27 < EPD \leq 30$

Tablo 2’de verilen aralıklar yardımıyla belirlenmiş binaların mevcut durumda enerji verim sınıfları Tablo 3’de sunulmuştur:

Tadilat eylemlerinin binada enerji verimini artıracak varsayımı ile eylemlerin bina performansına etkileri negatif değerler ile ifade edilmiştir. Bazı eylemler birden fazla kritere aynı anda etki ederken binanın konumu ve iklimi ile ilgili veride değişiklik yapmak mümkün olmayacağından K1 bazında performans iyileştirmesi yapabilecek bir tadilat eylemi tanımlanmamıştır. Eylemleri uygulamanın binalar üzerindeki etkileri Tablo 4’de verilmiştir.

Site yönetiminin tadilat eylemleri için ayırdığı bütçenin 75.000 TL olduğu varsayılmış ve en az 6 binanın kabul edilebilir sınıf olan C ve üstü sınıflara düşecek şekilde iyileştirilmesinin sağlanması ile belirlenen bütçenin üstüne mümkün olduğunca çıkılmaması hedeflenmiştir.

Önerilen hedef programlama modeli yukarıda açıklanan veriler ile çalıştırılarak hangi tadilat eylemlerinin uygulanacağı belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için GAMS paket programı ve CPLEX çözücüsünden yararlanılmış ve model Intel i5-6500T işlemcili ve 8 GB RAM’e sahip bir bilgisayarda koşturulmuştur. Koşturum sonucunda 1 saniyeden daha kısa bir çözüm zamanında elde edilen optimum çözüm bütçeden pozitif yönlü sapma ile sınıflandırma hedefinden negatif yönlü sapma değeri toplamını 0 olarak belirlemiştir.

Bu duruma göre seçilecek tadilat eylemleri E1 (çatının yenilenmesi) ve E5 (çatılara güneş panelleri kurulması) olarak belirlenmiştir. Bu durumda 55.000 TL tadilat maliyeti ortaya çıkacak ve 6 bina kabul edilebilir enerji sınıflarında

Tablo 3. Binaların mevcut enerji verim sınıfları (Initial energy efficiency classes of buildings)

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
EPD	13,96	20,22	14,15	18,38	5,60	16,65	13,22	10,71
Enerji Sınıfı	D	E	D	E	A	D	D	C

yer alacaktır. Binaların tadilat eylemi sonucunda oluşacak kriter bazında enerji performans değerleri Tablo 5 ile aşağıda verilmiştir:

Tablo 4. Eylemlerin bina enerji performansına etkisi (Effect of actions on building energy performance)

Eylem	E1		E2		E3		E4		E5	
	K2	K3	K4	K6	K5	K6	K7			
B1	-8	-10	-11	-11	-5	-10	-12			
B2	-7	-16	-15	-13	-16	-7	-14			
B3	-15	-8	-13	-14	-4	-18	-8			
B4	-11	-7	-9	-8	-7	-12	-14			
B5	0	0	-1	-1	-1	-2	-3			
B6	-10	-9	-12	-12	-6	-9	-13			
B7	-16	-12	-13	-13	-1	-12	-6			
B8	-12	-9	-2	-5	-4	-8	-7			
Eylem Maliyeti (bin TL)	30	70	10	20	25					

Tablo 5. Yeni durumda binaların kriter bazında enerji performansları (New energy performances of buildings based on criteria)

Bina	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
B1	14	4	1	13	9	16	7
B2	23	8	4	18	19	15	9
B3	16	4	1	15	8	18	6
B4	28	15	1	12	7	13	8
B5	13	1	1	2	2	2	3
B6	22	3	1	15	10	15	7
B7	11	3	4	17	5	20	6
B8	15	4	2	3	7	9	5

Seçilen eylemler binaları geometrik biçim (K2), bina çevresi (K3) ve yenilenebilir enerji ve kojenerasyon (K7) kriterleri bakımından daha verimli hale getirmiştir. Bu durumda binaların enerji sınıfları ve EPD değerleri Tablo 6 ile aşağıda verilmiştir:

Tablo 6. Yeni durumda binaların EPD değerleri ve enerji sınıfları (New EPD values and energy classes of buildings)

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
EPD	10,00	15,33	10,70	14,11	5,00	12,45	9,70	7,57
Enerji Sınıfı	C	D	C	D	A	C	C	B
İlk Durum	D	E	D	E	A	D	D	C

Tablo 6'da görüldüğü üzere seçilen tadilat eylemleri başlangıçta A sınıfında olan B5 hariç tüm binalarda enerji sınıfı iyileştirmesi sağlamıştır. B2 ve B4 binalarının da kabul edilebilir sınıflara geçebilmesi için binaların son durumları üzerinden hangi yönlerde iyileştirmeler yapılabileceğine dair çıkarımlar yapılabilir.

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Ters çok kriterli sıralama problemi, sıralı sınıfların söz konusu olduğu sınıflandırma problemlerinde,

sınıflandırmayı iyileştirebilecek eylemleri belirlemekle ilgilenir. Bu yönüyle ters çok kriterli sıralama probleminin eğitimde başarıyı artırmak için, sağlıkta kaliteyi yükseltmek için, üretimde hataları azaltmak için iyileştirici eylemleri belirlemede kullanılması mümkündür.

Bu çalışmada bir siteye ait binalarda enerji verimini artırabilmek için tadilat eylemi seçimi bir ters çok kriterli sıralama problemi olarak modellenmiştir. Problemden sıralama iyileştirme çok amaçlı bir optimizasyon problemi olarak düşünülmüş ve hedef programlama ile hedef değerlere yakın çözüm aranmıştır. 8 binadan oluşan bir sitede enerji verimini artırmak için 7 kriter dikkate alınarak yapılan uygulama çalışmasında 5 olası eylemden ikisi seçilerek bütçe ve sınıflandırma hedeflerine uygun bir çözüm bulunmuştur. Enerji verimi ve çevrecilik konusuna son yıllarda artan ilgi, problemin uygulama alanında ilgi çekebileceğini düşündürmektedir.

Bu çalışmada önerilen model, farklı sınıflandırma yaklaşımlarından faydalanılarak veya farklı amaçlar belirlenerek geliştirilebilir. Modelin farklı alanlarda uygulamaları gerçekleştirilebilir veya bulanık mantık kullanılarak problem parametrelerindeki belirsizlik ifade eden durumlara uygun çözüm yaklaşımları ile çözüm aranabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Aires, R.F.d.F, Ferreira, L., Araujo, A.G.d., Borenstein, D., Student selection in a Brazilian university: Using a multi-criteria method, Journal of the Operational Research Society, 69 (4), 528-540, 2018.
2. Arikan, F., Citak, S., Multiple Criteria Inventory Classification in an Electronics Firm, International Journal of Information Technology & Decision Making, 16 (2), 315-331, 2017.
3. Parreiras, R.O., Kokshenev, I., Carvalho, M.O.M., Willer, A.C.M., Dellezopolles Jr., C.F., Nacif Jr., D.B., Santana, J.A., A flexible multicriteria decision-making methodology to support the strategic management of Science, Technology and Innovation research funding programs, European Journal of Operational Research, 272, 725-739, 2019.
4. Hasan, M., Buyuktahtakın, I.E., Elamin, E., A multi-criteria ranking algorithm (MCRA) for determining breast cancer therapy, OMEGA, 82, 83-101, 2019.
5. Chen, Y. D., Kilgour, M., Hipel, K. W., Multiple criteria classification with an application in water resources planning, Computers and Operations Research, 33 (11), 3301-3323, 2006.
6. Zopounidis, C., Doumpos, M. Multi criteria classification and sorting methods: a literature review, European Journal of Operational Research, 138 (2), 229-246, 2002.
7. Mousseau, V., Ozpeynirci, O., Ozpeynirci, S. Inverse multiple criteria sorting problem, Annals of Operations Research, 267, 379-412, 2018.
8. Karsu, O., Approaches for inequity-averse sorting. Computers and Operations Research, 66, 67-80, 2016.

9. Safdar, S., Zafar, S., Zafar, N., Khan, N. F., Machine learning based decision support systems (DSS) for heart disease diagnosis: a review, *Artificial Intelligence Review* 50, 597-623, 2018.
10. López-Soto, D., Yacout, S., Angel-Bello, F. Root cause analysis of familiarity biases in classification of inventory items based on logical patterns recognition. *Computers & Industrial Engineering*, 93, 121-130, 2016.
11. Katz, D. B., Makhmutova, D. I., Opokina, N. A. The Logistic Regression as an Instrument of the Personnel Policy in an Organization. *Helix*, 8 (1), 2231- 2235, 2018.
12. Hadi-Vencheh A., Mohammadghasemi A., Hosseinzadeh Lotfi F., Khalil Zadeh M., Group multiple criteria ABC inventory classification using TOPSIS approach extended by Gaussian interval type-2 fuzzy sets and optimization programs, *Scientia Iranica*, 26, 2988 – 3006, 2019.
13. R. Pelissari, R., Oliveira, M., Amor, S.B., Abackerli A. A new FlowSort-based method to deal with information imperfections in sorting decision-making problems, *European Journal of Operational Research*, 276, 235 – 246, 2019.
14. Illias, H. A., Chai, X. R., Abu Bakar A. H. Hybrid modified evolutionary particle swarm optimisation-time varying acceleration coefficient-artificial neural network for power transformer fault diagnosis. *Measurement*, 90, 94-102, 2016.
15. Pereira, J., de Oliveira, E. C., Gomes, L. F., Araújo, R. M. Sorting retail locations in a large urban city by using ELECTRE TRI-C and trapezoidal fuzzy numbers, *Soft Computing*, 23, 4193 – 4206, 2019.
16. Gholami, A., Sheikh, R., Mizani, N., Sana, S. S. ABC analysis of the customers using axiomatic design and incomplete rough set. *RAIRO -- Operations Research*, 52, 1219-1232, 2018, 2018.
17. Atici, K. B., Ulucan, A. A Multiple Criteria Energy Decision Support System. *Technological and Economic Development of Economy*, 17 (2), 219-245, 2011.
18. Zhao, H., Jiang, P., Yu, Q., Zhang, Y., Ma, W. A comprehensive enterprise classification approach based on three indicators of emissions, efficiency and location. *Journal of Cleaner Production*, 175, 489-500, 2018.
19. Chen, H. L., Yang, B., Wang, G., Liu, J., Xu, X., Wang, S. J., Liu, D. Y., A novel bankruptcy prediction model based on an adaptive fuzzy k-nearest neighbor method, *Knowledge Based Systems*, 24, 1348-1359, 2011.
20. Guo, M., Liao, X., Liu, J. A progressive sorting approach for multiple criteria decision aiding in the presence of non-monotonic preferences, *Expert Systems With Applications*, 123, 1-17, 2019.
21. Çelik, B., Karasakal, E., İyigün, C. A probabilistic multiple criteria sorting approach based on distance functions, *Expert Systems with Applications*, 42, 3610–3618, 2015.
22. Berk E., Cercioglu H., The productive efficiency of the Turkish health care sector based on provincial panel data, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (2), 929 – 944, 2019.
23. Mousseau, V., Ozpeynirci, O., Ozpeynirci, S. Inverse multiple criteria sorting problem, 23rd International Conference On Multiple Criteria Decision Making, Hamburg-Almanya, 2-7 Ağustos, 2015.
24. Charnes A., Cooper W. W., Ferguson R. Optimal Estimation of Executive Compensation by Linear Programming, *Management Science*, 1, 138- 151, 1955.
25. Dağdeviren M., Eren T., Analytical hierarchy process and use of 0-1 goal programming methods in selecting supplier firm, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 16 (1), 41-52, 2001.
26. Karaman B., Cercioglu H., 0-1 Goal Programming Aided AHP – VIKOR Integrated Method: An Application of Hospital Investment Project Selection, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (4), 567-576, 2015.
27. Aksakal E., Dagdeviren M., Talent Management Based Personnel Assignment Model And Solution Proposal, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (2), 249-262, 2015.
28. Durmaz E.D., Sahin R., NSGA-II and goal programming approach for the multi-objective single row facility layout problem, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (3), 941-955, 2017.
29. Colapinto, C., Jayaraman, R., Marsiglio, S. Multi-criteria decision analysis with goal programming inengineering, management and social sciences: a state-of-the art review, *Annals of Operations Research*, 251, 7-40, 2017.
30. Garcia-Martinez, G., Guijarro, F., Poyatos, J.A. Measuring the social responsibility of European companies: a goal programming approach, *International Transactions in Operational Research*, 26, 1074-1095, 2019.
31. Resmi Gazete Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Tarih: 05.12.2008, Sayı: 27075, 2008.
32. Yigit, K., Acarkan, B. Assessment of energy performance certificate systems: a case study for residential buildings in Turkey, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24, 4839–4848, 2016.
33. Hui, S.C., Lee, R. Development of energy labels for residential buildings in Hong Kong. *Proceedings of the 10th Asia Pacific Conference on the Built Environment: Green Energy for Environment*, Kaohsiung, Taiwan, 2009.
34. Kabak, M., Köse, E., Kırılmaz, O., Burmaoğlu, S. A fuzzy multi-criteria decision making approach to assess building energy performance, *Energy and Buildings*, 72, 382–389, 2014.