



Ambalaj Atığı Toplama-Ayırma Tesisi Etkinliklerinin Hibrid bir Model Önerisi ile İncelenmesi¹

Investigation of Packaging Waste Collection-Separation Facility Efficiencies with
a Hybrid Model Proposal

Dr. Öğr. Üyesi Talip ARSU² - Doç. Dr. Nurullah UMARUSMAN³

Başvuru Tarihi: 27.07.2019

Kabul Tarihi: 22.06.2020

Makale Türü: Araştırma Makalesi

Öz

Ambalaj atığının çevre üzerindeki olumsuz etkisi ve bakir kaynakların kullanımından kaynaklı ekonomik kayıplar, geri dönüşüm sürecini zorunlu hale getirmiştir. Geri dönüşüm sürecindeki en önemli aşama olan ambalaj atığının toplanması ve kategorilerine göre ayrıştırılması işlemlerinin başarısı, bu işlemlerin etkin bir şekilde yönetilmesine bağlıdır. Türkiye’de ambalaj atıklarının toplanması ve kategorilerine göre ayrıştırılması işlemini Toplama-Ayırma Tesisleri (TAT) üstlenmektedir. Bu çalışmada, Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) yöntemlerinden Çok Amaçlı Doğrusal Programlama (ÇADP) ile modellenen Çok Kriterli Veri Zarflama Analizi (ÇKVZA) Global Kriter Yöntem kullanılarak çözülmüştür. Önerilen yeni yöntem Global-Çok Kriterli Veri Zarflama Analizi (G-ÇKVZA) olarak isimlendirilmiştir. Çalışma sonucunda İç Anadolu Bölgesinde faaliyetlerini sürdüren 67 tesisten 6’sı etkin tesisler olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Toplama-Ayırma Tesisleri (TAT), Çok Kriterli Veri Zarflama Analizi (ÇKVZA), Global Kriter Yöntem, Global-Çok Kriterli Veri Zarflama Analizi (G-ÇKVZA)

Abstract

The negative impact of packaging waste on the environment and the economic losses caused by the use of virgin resources have made the recycling process mandatory. The success of the process of collecting and sorting the packaging waste, which is the most important step in the recycling process, depends on the effective management of these processes. Collection-Separation Facilities (CSF) undertaken the process of collecting and separating according to category of packaging wastes. In this study, Multi Criteria Data Envelopment Analysis (MCDEA), which was modeled with Multi-Objective Linear Programming(MOLP) from Multi-Objective Decision Making (MODM) methods, was solved by using Global Criterion Method. The proposed new method is named as Global-Multi Criteria Data Envelopment Analysis (G-MCDEA). As a result of the study, 6 of the 67 facilities operating in the Central Anatolia Region were found to be efficient facilities.

Keywords: Collection-Separation Facility (CSF), Multi Criteria Data Envelopment Analysis (MCDEA), Global Criterion Method, Global- Multi Criteria Data Envelopment Analysis (G-MCDEA)

¹ Bu çalışma 31.12.2018 tarihinde Aksaray Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Doktora Programında doktora tezi olarak savunulmuştur.

² Aksaray Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksek Okulu, taliparsu@aksaray.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2580-166X

³ Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, nurullah.umarusman@aksaray.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6535-5329

Giriş

Muhafaza, kolay taşınabilirlik, tutundurma gibi birçok fonksiyonu yerine getiren ambalajlar, hem işletmeleri fazladan bir maliyetin altına sokmakta, hem de bu ambalajların atıkları çevreye geri dönüşü olmayan zararlar vermektedir. Bu zararların farkında olan birçok ülke farklı toplama sistemleri geliştirilmiş olmasına rağmen Türkiye’de toplama işlemini belediyeler veya Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) tarafından yetkilendirilen Toplama-Ayrırma Tesisleri (TAT) üstlenmektedir. Bu tesisler, kaynağında ayrı toplama sistemi ile atık toplama işlemi yapmaktadır. Kaynağında ayrı toplanan bu atıklar tesislere getirildikten sonra ise türlerine göre kağıt, plastik, cam, metal vb. ayrılarak tekrar işlenmek üzere Geri Dönüşüm Tesislerine (GDT) yollanmaktadır. Çalışma prensibi bu temeller üzerine kurulu olan tesislerin başarısı, toplama ve ayırma süreçlerinin etkin bir şekilde yönetilmesine bağlıdır. Bu noktadan hareketle, çalışmanın birinci amacı TAT’ların faaliyette bulunduğu bölgenin, bu bölgedeki demografik yapının, tesisin gelir-gider dengesinin ve tesis süreçlerinin nicel verileri kullanılarak tesislerin etkinliğini incelemek olarak belirlenmiştir.

Tersine lojistik benzeri kavramlar çok eskilerden beri kullanılıyor olsa da ilk olarak 70’li yıllarda “Tersine dağıtım” ve “tersine akış” kavramları bir akademik makalede (Zikmund ve Stanton, 1971) kullanılmıştır. Yetmişli yılların ortalarında ise Gultinan ve Nwokoye (1975), Ginter ve Starling (1978) tersine lojistikten çalışmalarında “tersine kanallar” veya “tersine akış” olarak bahsetmiştir. Tersine lojistik terimi ilk olarak 1981 yılında Lambert ve Stock tarafından kullanılmıştır. Lambert ve Stock tersine lojistiği “tek yönlü bir yolda yanlış yöne gitmek yani ürünlerin büyük çoğunluğunun ters yönde akışı” olarak tanımlamışlardır (Rogers ve Tibben-Lembke, 2001, s.129). Tersine lojistik, ürün geri kazanım yöntemlerine göre farklı biçimlerde sınıflandırılabilir. Geri kazanım yöntemleri içerisinde yeniden kullanım/yeniden satış, tamir, yenileştirme, yeniden üretim, parça alma ve geri dönüşüm sayılabilir (Kim vd., 2006).

Geri dönüşümün amacı, çeşitli ayırma süreçleri tarafından, kullanılan ürünler ve parçalardan, orijinal yada diğer ürünlerin üretiminde tekrar kullanmak için yeniden kullanılabilir malzemeler elde etmektir (Wadhwa vd., 2009, s.462). Geri dönüşümde malzeme geri kazanımı durumunda, ürünler genellikle öğütülür ve özellikleri ile kalite düzeylerine göre gruplandırılıp yeni ürün üretiminde kullanılabilir hale getirilir (Wiel vd., 2012, s.101).

Türkiye’de de geri dönüşümün ilk adımı olan toplama ve ayırma faaliyetini gerçekleştiren TAT’lar tarafından toplanan ambalaj atıkları, kâğıt/karton/mukavva, plastik/pet, cam, metal, alüminyum, kompozit, tekstil ve tahta olarak sıralanabilir. Bu materyallerden en yaygın olarak geri dönüşüme tabii tutulanlar ise kâğıt/karton/mukavva, plastik/pet, cam ve metallerdir. Bu yüzden bu çalışmada ambalaj atıkları kağıt, plastik, cam ve metal ambalaj atıkları olarak sınıflandırılmıştır.

Literatür incelendiğinde TAT’ların etkinliğini konu alan bir çalışmaya rastlanamamıştır. Ancak evsel atık geri dönüşümü, belediye katı atık yönetimi hizmetleri gibi konularda etkinlik incelemelerinin yapıldığı görülmüştür. Bosch vd. (2000), çöp toplama hizmetlerinin teknik verimliliğini, Worthington ve Dollery (2001), evsel atık yönetimi fonksiyonunun teknik ve ölçek etkinliğini, Lozano vd. (2004), geri dönüştürülmüş cam miktarı açısından belediyelerin etkinliğini, Chiou vd. (2005), katı atık yönetimi, geri dönüşüm ve işleme hizmetlerinin performansını, García-Sánchez (2008), sokak temizleme ve atık yönetimi hizmetlerinin

verimliliğini, Marques ve Simões (2009), katı atık yönetiminin performansını, Chen (2010), evsel katı atık üretim, toplama ve ayırma performansını, Khadivi ve Ghomi (2012), katı atık tesislerine uygun alanın seçilmesi, Rogge ve De Jaeger (2012), katı atık toplama ve işleme etkinliğini, Chang vd. (2013), katı atık geri dönüşüm sistemlerinin etkinliğini, Ichinose vd. (2013), katı atık lojistiğinin etkinliğini, De Jaeger ve Rogge (2014), evsel ambalaj atıklarının toplanmasının maliyet etkinliğini ve Exposito ve Velasco (2018), geri dönüşüm pazarının geliştirilmesinde bölgelerin etkinliğini, VZA kullanarak incelemiştir.

Etkinlik incelemesi yapılırken klasik Veri Zarflama Analizi (VZA) tabanlı parametrik olmayan bir yöntem olan Çok Kriterli Veri Zarflama Analizinden (ÇKVZA) yararlanılmıştır. Fakat ÇKVZA modeli yapısı gereği karar vericilere üç farklı etkinlik değeri arasından karar verme sorumluluğu yüklemektedir. Bu çalışmada subjektif yargularla karar vermenin getireceği olumsuzlukların önüne geçmek amacıyla Global- Çok Kriterli Veri Zarflama Analizi (G-ÇKVZA) modeli önerilmiştir. Çalışmanın ikinci amacı ise yapılan uygulama ile önerilen hibrid modelin çözüm prosedürü ve çözüm algoritmalarını açıklamak olarak belirlenmiştir.

G-ÇKVZA'nın temeli olan ÇKVZA modeli Li ve Reeves (1999) tarafından geliştirildikten sonra yıllar içerisinde birçok çalışmada uygulanmıştır. Zhao vd. (2006) bir baraj tasarımının çevresel etki değerlendirmesi için, San Cristóbal (2011) yenilenebilir enerji teknolojisini incelemek için, Alizadeh vd. (2011) bulanık ortamdaki konumlandırma ve atama problemlerinin çözümü için, Yadav vd. (2012) kömür yakıtlı termik santrallerin bölgesel etkinliğini ölçmek için, Rubem ve Brandao (2015) ulusal takımların performans etkinliklerini incelemek için ve Verma vd. (2016) yeni sanayi bölgesinde dağıtım ağı yerleşim planlaması yapmak için ÇKVZA kullanmıştır. Ayrıca Bal vd. (2010), Hedef Programlamayı kullanarak ağırlık dağılımının homojenliğini ölçmek için ÇKVZA'ya dayanan iki yeni model önermiş ve Ghasemi vd. (2014) klasik VZA'nın düşük ayırım gücü ve ağırlık dağılımının zayıflığına atıf yaparak ÇKVZA tabanlı yeni bir model geliştirmiştir. Fakat Literatürde ÇKVZA'nın üç farklı amacını tek bir amaca dönüştürürken Global Kriter Yöntem kullanan herhangi bir çalışmaya rastlanamamıştır.

Önerilen Global Kriter Yöntem tabanlı G- ÇKVZA ile üç farklı amaç fonksiyonu tek bir amaç fonksiyonuna dönüştürülüp her bir Karar Verme Birimi (KVB) için çözüm gerçekleştirilmiştir. Ayrıca her bir KVB'nin üç amacı için ideal çözümden uzaklıklarının normalleştirilmiş derecesi hesaplanıp, global etkinliğin hangi amaca daha yakın gerçekleştiği belirlenmiştir.

Türkiye'deki TAT'ların etkinliğini incelemek amacıyla kurgulanan çalışmada öncelikle önerilen G-ÇKVZA yöntemi tanıtılarak uygulama adımları gösterilmiştir. Daha sonra önerilen modelin uygulandığı örneklem ve veriler tanıtılmıştır. Son olarak ulaşılan bilgiler ışığında sektöre, kamu kuruluşlarına ve gelecekte yapılabilecek akademik çalışmalara önerilerde bulunulmuştur.

Yöntem

Araştırmanın Amacı

Araştırmanın iki amacı vardır. Birincisi, TAT'ların faaliyette bulunduğu bölgenin, bu bölgedeki demografik yapının, tesisin gelir-gider dengesinin ve tesis süreçlerinin nicel verileri kullanılarak tesislerin etkinliğini belirlemektir. Geri dönüşüm işleminin başarısında anahtar rol üstlenen

toplama/ayırma sürecinin daha etkin yönetilmesi gerekliliği düşünülerek yapılan bu çalışma sonucunda, elde edilen bulgular kullanılarak belediyelere, tesislere ve ÇŞB'ye öneriler yapılmıştır.

Alanyazında VZA'nın farklı türleri (Hedef Programlama VZA, VZA-Analitik Hiyerarşi Prosesi vb.) ile etkinlik araştırmaları yapılmaktadır. Bu çalışmada Global Kriter Yöntem ve ÇKVZA hibrit bir model haline getirilerek G-ÇKVZA olarak isimlendirilmiştir. Araştırmanın ikinci amacı ise yapılan uygulama ile önerilen hibrit modelin çözüm prosedürü ve çözüm algoritmalarını açıklamaktır.

Araştırma Verilerinin Analizinde Kullanılan Yöntemler

Araştırma verilerinin analizinde Global Kriter Yöntem ve ÇKVZA tabanlı önerilen G- ÇKVZA modeli kullanılmıştır.

Global Kriter Yöntem

Tercih bilgilerine ihtiyaç duymayan sınıflandırmanın temel metodu olan Global Kriter Yöntemin amacı, kriterlerin mümkün olan ideal noktalardan sapmalarını minimize etmektir (Hwang ve Masud, 1979, s.21). Bu yöntem bütün amaç fonksiyonlarını tek bir amaç fonksiyonuna dönüştüren minimizasyon yöntemi olarak tanımlanır (Arora, 2012, s.673). Global kriter yöntemi, karar uzayındaki uygun bölgede yer alan bazı ideal referans noktaları arasındaki mesafeyi en aza indirir (French, 2018, s.207). Global kriter yöntemin en önemli avantajı, karar vericinin tercih bilgilerine ihtiyaç duyulmamasından dolayı, kararların subjektif yargılar yerine çözümden elde edilen kantitatif veriler ile alınmasını sağlamaktır (Shih ve Chang, 1995, s.455). Global Kriter Yöntem matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilir (Hwang ve Masud, 1979, s.21).

$$\min \sum_{k=1}^l \left[\frac{Z_k^* - Z_k(x)}{Z_k^*} \right]^p \quad (1)$$

$Z_k(x)$: k -ıncı maksimizasyon yönlü amaç fonksiyonu,

Z_k^* : k -ıncı amaç fonksiyonu için pozitif ideal çözüm.

Hwang ve Masud (1979) global formülasyonu maksimizasyon yönlü amaçlar için önermiştir. Diğer taraftan ÇADP problemleri sadece maksimizasyon yönlü amaçlardan oluşmamaktadır. Umarusman ve Türkmen (2013) tarafından önerilen bütün amaç fonksiyonları minimizasyon yönlü olan problemler için Global amaç fonksiyonunu aşağıdaki gibi düzenlemiştir.

$$\text{Min} \sum_{s=1}^r \left[\frac{W_s(x) - W_s^*}{W_s^*} \right]^p \quad (2)$$

$W_s(x)$: k -ıncı minimizasyon yönlü amaç fonksiyonu

W_s^* : k -ıncı amaç fonksiyonu için pozitif ideal çözüm

Bu çalışmada Umarusman ve Türkmen (2013) tarafından önerilen ağırlıksız global model kullanılmıştır. Model aşağıda verilmiştir;

$$\text{Min } G = \left(\sum_{k=1}^l \left[\frac{Z_k^* - Z_k(x)}{Z_k^*} \right]^p + \sum_{s=1}^r \left[\frac{W_s(x) - W_s^*}{W_s^*} \right]^p \right) \quad (3)$$

Kısıtlar

$$A_i(x) \leq b_i$$

$$x \geq 0$$

Global kriter yöntemi herhangi bir çözüm kümesi belirlenemediğinde nihai bir çözüm elde etmek için kullanılan basit bir yöntemdir. Yöntemde, global amaç değeri uygulanabilir amaç bölgesine daha yakın olan bir noktada gerçekleşmektedir (Miettinen, 1998, s.71).

Çok Kriterli Veri Zarflama Analizi

VZA Charnes vd. (1978) tarafından Doğrusal Programlama problemi olarak sunulmuştur. Bu model alanyazında "Charnes Cooper Rhodes (CCR) model" olarak isimlendirilmiştir. Charnes vd. (1978) tarafından önerilen her bir KVB'nin etkinliğini değerlendirmek için tanımlanan doğrusal programlama modeli aşağıda verilmiştir.

$$\text{Maks } h_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0} \quad (4)$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

Bu modelde j : KVB sayısı, r : Çıktı sayısı, i : Girdi sayısı, y_{rj} : j -inci KVB için r -inci çıktı değeri, x_{ij} : j -inci KVB için i -inci girdi değeri, u_r : r -inci çıktıya verilen ağırlık, v_i : i -inci girdiye verilen ağırlık ve h_0 : Değerlendirilen KVB'nin nispi etkinliğini temsil etmektedir. (4)'de yalnızca $h_0=1$ ise KVB etkindir sonucuna varılır.

Klasik VZA için etkinlik bir ölçüm birimi olmakla birlikte Li ve Reeves (1999)'ün ÇKVZA modeli etkisizlikler üzerine kurulmuştur. $[0, 1]$ aralığı ile sınırlanan d_0 , "etkisizlik" ölçüsü olarak kabul edilebilir ve $h_0=1-d_0$ olarak tanımlanır. Yani, d_0 değeri ne kadar küçük olursa, KVB₀ daha az etkisizdir (ve dolayısıyla daha etkin) denilebilir. Li ve Reeves (1999)'ün yöntemi d_0 'i en aza indirmek, maksimum sapmayı en aza indirmek veya sapmaların toplamını en aza indirmek gibi bağımsız amaç fonksiyonlarından oluşur. Söz konusu model aşağıdaki gibidir;

$$\text{Min } d_0 \text{ (veya maks } h_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0})$$

Min M

$$\text{Min } \sum_{j=1}^n d_j$$

Kısıtlar

(5)

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_i x_{ij0} &= 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j &= 0 \\ M - d_j &\geq 0 \quad j = 1, \dots, n \\ u_r, v_i, d_j &\geq 0 \end{aligned}$$

ÇKVZA modeli öncelikle klasik VZA modelinin ayırım gücünün geliştirilmesi için bir araç olarak önerilmiştir. Çözüm işlemlerinde, ÇKVZA üç amacın her birini çözmek için etkileşimli bir yaklaşım olarak önerilmiştir. İlk amaç ÇKVZA çözümlerinin kümesi içinde klasik VZA çözümünü barındırmaktadır. Diğer iki amaç olan Minmax ve Minsum amaçları sırasıyla daha kısıtlayıcı veya gevşek etkinlik çözümleri sunmaktadır. Bu model ile daha makul girdi ve çıktı ağırlıkları elde etmek için daha geniş bir çözümün mümkün olduğu kanıtlanmaktadır (Ghasemi vd., 2014, s.641).

Global- Çok Kriterli Veri Zarflama Analizi (G-ÇKVZA)

Bu çalışmada TAT'ların girdi veya çıktı olarak ifade edilen bilgileri, Li ve Reeves (1999) tarafından önerilen ÇKVZA modelinde kullanılmış ve bu modeldeki amaç fonksiyonlarının pozitif ideal çözümleri belirlenmiştir. Daha sonra Li ve Reeves (1999) tarafından önerilen ÇKVZA modelinin üç amacının tek bir amaca dönüştürülebilmesi için pozitif ideal çözümler kullanılarak problem yeniden düzenlenmiş ve Global Kriter Yöntem ile çözülmüştür. Önerilen bu yöntem "Global- Çok Kriterli Veri Zarflama Analizi (G-ÇKVZA)" olarak isimlendirilmiştir.

Li ve Reeves (1999)'in modelinde üç farklı amaç fonksiyonu mevcuttur. Önerilen G-ÇKVZA modelinde $Min d_0$ amacı yerine $1 - d_0$ sonucunu ifade eden $Max h_0$ amacı kullanılmıştır. Çünkü $Min d_0$ amacı kullanıldığında, $Min d_0$ 'ın pozitif ideal çözümünün "0" değerine sahip olması mümkün olabilmektedir. Bu durum (2) denkleminde belirlenecek olan paydanın 0'a eşit olmasına sebep olabilir. Miettinen (1998) global amaç fonksiyonu oluşturulurken pozitif ideal çözümü 0 olan amaçların global amaçta yer alamayacağını savunmuştur. Bu sebeple önerilen algorithmada $Max h_0$, $Min M$ ve $Min \sum d_j$ ' ye göre düzenleme yapılmıştır. Bu çalışmada, (3) kullanılarak önerilen G-ÇKVZA modelinin amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$\text{Min} \left[\frac{h_{0j}^* - h_{0j}}{h_{0j}^*} + \frac{M_j - M_j^*}{M_j^*} + \frac{\sum_{j=1}^n d_j - d_j^*}{d_j^*} \right]^p \quad (6)$$

Veya (6) sadeleştirilerek

$$\text{Min} \left[\left(\frac{M_j}{M_j^*} + \frac{\sum_{j=1}^n d_j}{d_j^*} - \frac{h_{0j}}{h_{0j}^*} \right) - 1 \right]^p \quad (7)$$

Elde edilir. Bu amaç fonksiyonunda; $h_{0j} = j$ -inci KVB'nin etkinlik değeri, $h_{0j}^* = h_{0j}'$ nin pozitif ideal çözüm değeri, $M_j = j$ -inci KVB için yapılan çözümdeki en büyük sapma, $M_j^* = M_j'$ nin pozitif ideal çözüm değeri, $\sum_{j=1}^n d_j = j$ -inci KVB için yapılan çözümdeki toplam sapma, $d_j^* = \sum_{j=1}^n d_j$ 'nin pozitif ideal çözüm değerini ifade etmektedir. Sadeleştirmeden sonra hibrit model aşağıda verilmiştir.

$$\text{Min} \left[\left(\frac{M_j}{M_j^*} + \frac{\sum_{j=1}^n d_j}{d_j^*} - \frac{h_{0j}}{h_{0j}^*} \right) - 1 \right]^p$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j = 0$$

$$M - d_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i, d_j \geq 0$$
(8)

Önerilen hibrit modelin kısıtları (5)'in kısıtlarıyla aynıdır. (6)'un amaç fonksiyonu değerinin minimum seviyede gerçekleşmesi için $\left(\frac{M_j}{M_j^*} + \frac{\sum_{j=1}^n d_j}{d_j^*} - \frac{h_{0j}}{h_{0j}^*} \right)$ minimum olmalıdır. Bu sebeple (8) aşağıda yeniden düzenlenmiştir.

$$\text{Min} \left[\left(\frac{M_j}{M_j^*} + \frac{\sum_{j=1}^n d_j}{d_j^*} - \frac{h_{0j}}{h_{0j}^*} \right) \right]^p$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j = 0$$

$$M - d_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i, d_j \geq 0$$
(9)

Önerilen G-ÇKVZA yöntemin modelini oluşturmak ve çözüm prosedürünü gerçekleştirmek için izlenmesi gereken adımlar aşağıda verilmiştir;

Adım 1: ÇKVZA modeli için girdi-çıkı değişkenlerinin belirlenmesi ve modelin oluşturulması,

Adım 2: (5) kullanılarak her bir amacın pozitif ideal çözüm ve etkinlik değerlerinin belirlenmesi,

Adım 3: 2. Adımda belirlenen pozitif ideal çözümler kullanılarak (6)'ya göre problemin düzenlenmesi ve çözümün yapılması ($1 \leq p < \infty$), İdeal çözümden uzaklığın normalleştirilmiş derecelerinin hesaplanması

Adım 4: G- ÇKVZA modeli sonucu bulunan etkinlik değeri ile ÇKVZA modeli sonucu bulunan etkinlik değerlerinin karşılaştırılması.

Çözüm prosedürünün üçüncü adımından, yapılan uygulamanın özgün sonuçlar ortaya çıkarmasını sağlayan “ideal çözümden uzaklığın normalleştirilmiş dereceleri” ilk kez hesaplanmıştır. İdeal çözümden uzaklığın normalleştirilmiş dereceleri hesaplanırken G-ÇKVZA modeli çözümünden elde edilen sapma değişkeni değerleri (M_j ve d_j) ve çıktı

değişkeni değerleri (u_r) kullanılarak üstün olmayan çözümler hesaplanmıştır. Birinci amaç ($Maks h_0$) için üstün olmayan çözümler hesaplanırken, G-ÇKVZA modeli çözümünden elde edilen çıktı değişkeni değerleri (u_r), ÇKVZA modelindeki $Max h_0$ amacıyla yerine yazılmıştır. $Maks h_0$ amacı için ideal çözümden uzaklığın normalleştirilmiş derecesi (1) eşitliği veya (6) eşitliğinin ilk oranı kullanılarak hesaplanmıştır. İkinci amaç ($Min M$) için üstün olmayan çözümler hesaplanırken, G-ÇKVZA modeli çözümünden elde edilen sapmaların maksimumu (M), ÇKVZA modelindeki $Min M$ amacıyla yerine yazılmıştır. Son olarak üçüncü amaç ($Min \sum d$) için üstün olmayan çözümler hesaplanırken, G-ÇKVZA modeli çözümünden elde edilen sapmaların toplamı ($\sum d$), ÇKVZA modelindeki $Min \sum d$ amacıyla yerine yazılmıştır. $Min M$ ve $Min \sum d$ amaçları için ideal çözümden uzaklığın normalleştirilmiş derecesi (2) eşitliği veya (6) eşitliğinin ikinci ve üçüncü oranları kullanılarak hesaplanmıştır.

İdeal çözümden uzaklığın normalleştirilmiş derecesi 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Her bir amaç fonksiyonu için uzaklığın normalleştirilmiş derecesi 0'a yaklaştıkça kendi pozitif ideal çözümüne yaklaşmaktadır. Uzaklığın normalleştirilmiş derecesi 1'e yaklaştıkça da kendi pozitif ideal çözümünden uzaklaşmaktadır.

Veri Toplama Araçları

Araştırma verilerinin analiz aşamasından önce ilk olarak KVB sayıları belirlenmiştir. Daha sonra KVB sayıları dikkate alınarak modelde kullanılan girdi-çıkıtı değişkeni sayıları belirlenmiştir. Son olarak, araştırmada kullanılan girdi-çıkıtı değişkenlerini belirlemek için akademisyenlerden (çevre mühendisi akademisyenler ve VZA ile ilgili çalışmaları olan akademisyenler) bilgi almak adına uygulanan uzman görüş formu sonuçları kullanılmıştır.

KVB sayısını belirlemek isabetli etkinlik sonuçlarına ulaşabilmek için büyük bir önem arz etmektedir. Farklı yazarlar bu konuda farklı yöntemler kullanmaktadır. Cooper vd. (2002) girdi ve çıktı sayısı toplamının, KVB sayısından az olması gerektiğini, Vassiloglou ve Giokas (1990) ve Golany ve Roll (1989) KVB sayısının, girdi ve çıktı sayıları toplamının en az iki katı olması gerektiğini savunmuştur. KVB sayısının artması girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkinin daha net tanımlanmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte karar verici gereksiz yere KVB sayısını arttırmamaya dikkat etmelidir. KVB sayısının seçiminde göz önüne alınması gereken en önemli husus, KVB'lerin homojenliği olmalıdır (Ramanathan, 2003, s.173).

VZA metodolojisinin önemli aşamalardan birisi de girdi ve çıktı değişkenlerinin seçilmesidir (Christopoulos vd., 2016, s.424). Fakat gerçek dünya problemlerinde girdi ve çıktı değişkenlerinin nasıl seçilmesi gerektiği konusu alanyazında nispeten daha az ilgi görmüştür (Wagner ve Shimshak, 2007, s.57). Girdi ve çıktı değişkenlerinin seçim kriterleri tamamen öznelidir. Bu değişkenlerin seçim prosedürünü belirlemede belirli bir kural yoktur (Ramanathan, 2003, s.173). Genellikle VZA' daki girdi-çıkıtı değişkenlerinin seçimi uzman görüşleri, geçmiş deneyimler ve ekonomik teoriler tarafından yönlendirilmektedir (Kontodimopoulos vd., 2006, s.171). Bu çalışmada girdi-çıkıtı değişkenlerinin seçimi amacıyla alanyazında atık yönetimi konusunda VZA metodolojisini kullanan çalışmaların girdi ve çıktı değişkenleri incelenmiştir. Söz konusu çalışmalar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Atık Yönetimi Konusunda Yapılmış VZA Çalışmaları

Araştırmacı	Girdi	Çıktı
Bosch vd. (2000)	Kamyon sayısı, işçi sayısı, çalışan sayısı	Toplanan atık miktarı
Worthington ve Dollery (2001)	Yerel atık yönetim hizmet alanı büyüklüğü, mesken oranı, nüfus yoğunluğu, nüfus dağılımı, elden çıkarma maliyeti, atık toplama harcamaları	Toplanan toplam çöp miktarı, Toplanan toplam geri dönüştürülebilir atık miktarı, geri dönüşüm oranı
Lozano vd. (2004)	Konteynır sayısı, nüfus, bar ve restoran sayısı	Geri dönüştürülen cam miktarı
Chiou vd. (2005)	İşgücü, makine- teçhizat, bütçe, GDT sayısı,	Toplam katı atık miktarı, toplanan geri dönüştürülebilir atık miktarı
García-Sánchez (2008)	İş gücü, araç sayısı, konteynır sayısı	Toplanan atık miktarı, toplama noktası sayısı, toplama noktası yoğunluğu, temizlenen alan
Marques ve Simões (2009)	İşletme giderleri, yatırım giderleri, nüfus yoğunluğu, kişi başına GSYİH, atık toplamak için kat edilen mesafe	Artılan katı atık miktarı, geri dönüştürülebilir atık miktarı
Chen (2010)	Üretilen katı atık miktarı, atık toplamak için kullanılan işgücü, makine- teçhizat ve bütçe	Nüfus, sosyal haklar, hane halkı kullanılabilir gelir, toplanan geri dönüştürülebilir kaynak, toplanan yemek atıkları, hizmet alanının büyüklüğü
Huang vd. (2011)	Birim başına katı atık toplama maliyeti, birim toplama zamanı başına toplanan katı atık miktarı, toplama aracı başına toplanan katı atık miktarı, toplayıcı başına düşen nüfus, katedilen km başına toplanan katı atık miktarı	Anahtar performans göstergeleri
Khadivi ve Ghomi (2012)	Yapı maliyeti, yönetim maliyeti, taşıma maliyeti, arazi maliyeti	İstihdam olanağı, geri dönüşüm yeniden kullanım gelirleri, tesis kapasitesi
Rogge ve De Jaeger (2012)	Atık maliyetleri	Atık türlerine göre miktarları
Ichinose vd. (2013)	Kamyon sayısı, çalışan sayısı	Evsel atık miktarı, endüstriyel atık miktarı
Chang vd. (2013)	Öğrenme etkisi, işgücü, makine- teçhizat, Bütçe	Temizlenen çöp miktarı, geri dönüştürülen atık miktarı

Literatürden belirlenen değişkenler ile tesis ziyaretlerinde belirlenen ve çalışmada kullanılacak değişkenler göz önünde bulundurularak çalışmanın veri seti oluşturulmuştur. 33 değişkenden oluşan veri setinden hangi değişkenlerin girdi, hangi değişkenlerin çıktı olabileceğini belirlemek için VZA ile ilgilenen akademisyenler ile çevre mühendisi akademisyenlere bir uzman görüş formu vasıtasıyla görüşleri sorulmuştur. 57 akademisyenden alınan görüşler doğrultusunda frekans analizi kullanılarak 26 değişken girdi, 7 değişken ise çıktı olarak belirlenmiştir.

Daha sonra girdi ve çıktı sayılarının KVB'lerin ürettikleri çıktıları doğru özetlediğine emin olarak azaltmak için literatürde sıklıkla kullanılan pearson korelasyon katsayıları incelenmiştir. Çünkü girdi ve çıktıların sayısı ne kadar büyük olursa, yöntemin ayırım gücü o kadar zayıflamaktadır (Thanassoulis, 2001, s.92). Bu yüzden Friedman ve Sinuany-Stern (1998), girdiler veya çıktılar kendileri arasında çok kuvvetli bir korelasyona sahipse bu değişkenlerden birinin analizden çıkarılması gerektiğini savunmuştur. Ayrıca Lewin vd. (1982) girdiler ve çıktılar birbirleri ile negatif korelasyonda olursa girdilerdeki artış çıktıyı negatif yönde etkileyeceğinden bu değişkenlerden birinin model dışı bırakılabileceğini savunmuştur.

Alanyazındaki çalışmalar incelendiğinde girdi-çıkıtı sayısını azaltmada kullanılan korelasyon katsayıları için genel kabul görmüş eşik değerlere rastlanmamıştır. Bu çalışmada girdi ve çıktılar arasındaki ilişki incelenirken 0.8'in üzerinde korelasyona sahip değişkenler yüksek ilişkili (Lewin vd., 1982; Nataraja ve Johnson, 2011; Jenkins ve Anderson, 2003; Adler ve Yazhensky, 2010), 0.2'den düşük korelasyona sahip değişkenler de düşük ilişkili değişkenler (Nataraja ve Johnson, 2011) olarak değerlendirilmiştir. Korelasyon katsayıları sonucu analiz dışında bırakılan girdi ve çıktı değişkenleri dikkate alınarak, kullanılan 19 girdi ve 6 çıktı değişkeni ile bunların hangi birim cinsinden ifade edildiği Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Modelde Kullanılan Girdi ve Çıktıların Birimleri

Değişken	Birim	Değ.
Tesis Kapasitesi	Ton/yıl(*1000)	v ₁
Tesisin Büyüklüğü	m ² (*1000)	v ₂
Ambalaj Atığı Alınan Kurum Sayısı	Adet	v ₃
Ambalaj Atığı Alınan Fabrika ve Özel İşletme Sayısı	Adet	v ₄
Ambalaj Atığı Alınan AVM Sayısı	Adet	v ₅
Ambalaj Atığı Alınan Market Sayısı	Adet	v ₆
Tesisin Toplu Yaşam Alanlarına Dağıttığı Konteyner/Kumbara/Kafes Sayısı	Adet	v ₇
Tesisin Dağıttığı Çöp Torbası Miktarı	Kg/yıl(*1000)	v ₈
Tesisin Yapı Maliyeti	TL/yıl (*1000)	v ₉
Tesisin Arazi Maliyeti	TL/yıl (*1000)	v ₁₀
Tesisin Yönetim ve Malzeme Maliyeti	TL/yıl (*1000)	v ₁₁
Tesisin Makine ve Teçhizat Maliyeti	TL/yıl (*1000)	v ₁₂
Tesisin Ambalaj Atığı Toplama Maliyeti	TL/yıl (*1000)	v ₁₃
Tesisin Ambalaj Atığı Ayırma Maliyeti	TL/yıl (*1000)	v ₁₄
Tesis Başına Düşen Nüfus	Kişi (*1000)	v ₁₅
Tesisin Bulunduğu İlin Yaşam Kalitesi İndeksi	%	v ₁₆
Tesisin Bulunduğu İldeki Önlisans, Lisans ve Lisans Üstü Mezunu Nüfusun 25+ Yaş Nüfusa Oranı	%	v ₁₇
Tesisin Bulunduğu İldeki Kişi Başı Ortalama Atık Miktarı	kg/gün	v ₁₈
Tesisin Topladığı Atık Miktarı	Ton/yıl (*100)	v ₁₉
Toplanan ve Tesiste Ayrıştırılan Kağıt Miktarı	Ton/yıl (*100)	u ₁
Toplanan ve Tesiste Ayrıştırılan Plastik Miktarı	Ton/yıl (*100)	u ₂
Toplanan ve Tesiste Ayrıştırılan Cam Miktarı	Ton/yıl (*100)	u ₃
Toplanan ve Tesiste Ayrıştırılan Metal Miktarı	Ton/yıl (*100)	u ₄
Tesiste Ayrıştırılan ve GDT'lere Satılan Ambalaj Atığından Sağlanan Gelir	TL/yıl (*1000)	u ₅
Ayrıştırılan materyalin satıldığı GDT Sayısı	Adet	u ₆

Tablo 2’de yer alan 19 girdi ve 6 çıktı ile İç Anadolu bölgesinde faaliyetlerine devam eden 87 tesisten 67’si ile etkinlik incelemesi yapılmıştır. Araştırma verileri 2016 yılında toplanmıştır. Verilerin bir tam takvim yılındaki verileri temsil etmesi için tesislerin 2015 yılı bilgileri kullanılmıştır. Tesis sayıları da 2015 yılındaki tesis sayılarıdır. “Tesisin Bulunduğu İlin Yaşam Kalitesi İndeksi” ve “Tesisin Bulunduğu İldeki Önlisans, Lisans ve Lisans Üstü Mezunu Nüfusun 25+ Yaş Nüfusa Oranı” verileri TÜİK’den elde edilmiştir. Diğer veriler tesislerden elde edilmiştir. Maliyet ve gelir bilgisi içeren veriler ise yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

Bulgular ve Tartışma

ÇKVZA Modelinin Oluşturulması

Önerilen G-ÇKVZA modeli çözümünü gerçekleştirmek için öncelikle ÇKVZA modeli çözülmüştür. (5)’de verilen ÇKVZA modelinin üç amaç fonksiyonu bulunmaktadır. Girdiler v_j ($j = 1, 2, \dots, n$), çıktılar ise u_i ($i = 1, 2, \dots, m$) olarak tanımlanmıştır. Tesislere ait girdi ve çıktıların tanımlayıcı istatistik bilgileri Tablo 3’te gösterilmiştir;

Tablo 3. Modelde kullanılan Girdi Değişkenlerinin Tanımlayıcı İstatistik Bilgileri

Girdi/Çıktı	Min	Maks	Ort.	SS
v ₁	0.67	225	22.6666	31.44334
v ₂	0.40	18	3.9516	3.71967
v ₃	0	721	79.8955	149.62378
v ₄	0	24863	510.3433	3058.96485
v ₅	0	12	1.3030	2.49288
v ₆	0	350	25.8030	65.63517
v ₇	0	600	66.1045	117.88453
v ₈	0	120	9.8788	23.58220
v ₉	8.50	28.94	15.5425	4.24008
v ₁₀	0.14	137.60	18.4218	26.38189
v ₁₁	48.50	1539.26	249.2357	277.62113
v ₁₂	17.82	32.67	28.9021	6.51068
v ₁₃	97.62	2760.23	497.5585	474.67298
v ₁₄	17.45	1221.41	157.2991	188.23464
v ₁₅	7.30	1380.07	174.9160	187.74094
v ₁₆	0.51	0.63	0.5925	0.03882
v ₁₇	13.25	42.85	30.4076	11.73560
v ₁₈	0.86	1.40	1.0290	0.12217
v ₁₉	2.93	360	77.2200	73.19615
u ₁	0	160	39.6278	43.99350
u ₂	0	120	21.2213	26.63946
u ₃	0	153.90	7.6097	22.47717
u ₄	0	96.64	5.6533	13.10848
u ₅	157.05	15782.40	3277.5179	3243.44369
u ₆	1	46	7.1642	8.00681

Tablo 3'deki girdi ve çıktılar ile (5)'e göre KVB_1 için oluşturulan ÇKVZA modelinin bir kesiti Ek-1'de verilmiştir. Model LINDO w32 yazılımı ile çözülmüştür. F , karar uzayındaki uygun çözüm alanı olarak belirlendiğinden, Ek-1'deki modelin kısıtları $x \in F$ olarak tanımlanmıştır.

ÇKVZA Modeli Pozitif İdeal Çözüm ve Etkinliklerin Belirlenmesi

$Maks h_0$ amaç fonksiyonunun çözümüne göre KVB_{12} , KVB_{13} , KVB_{17} , KVB_{18} , KVB_{25} , KVB_{29} , KVB_{31} , KVB_{39} ve KVB_{54} haricindeki diğer 58 tesis, $Min M$ amaç fonksiyonunun çözümüne göre sadece KVB_8 ve KVB_{19} , $Min \sum d_j$ amaç fonksiyonunun çözümüne göre KVB_8 , KVB_{11} , KVB_{15} , KVB_{19} , KVB_{32} , KVB_{33} , KVB_{37} , KVB_{41} ve KVB_{62} etkin olarak bulunmuştur. Her üç amaç fonksiyonunun belirlediği etkin KVB'lere göre ortak olan KVB_8 ve KVB_{19} etkin tesisler olarak ön plana çıkmıştır. Örnek olması açısından ilk 10 KVB için etkinlik ve pozitif ideal çözümler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. ÇKVZA modeli Pozitif İdeal Çözüm ve Etkinlik Değerleri

KVB	h_0		M		$\sum d_j$	
	Pozitif İdeal Çözüm	Etkinlik	Pozitif İdeal Çözüm	Etkinlik	Pozitif İdeal Çözüm	Etkinlik
KVB1	1	1	0.517241	0.61092618	11.531490	0.533471
KVB2	1	1	0.867099	0.13254	22.364350	0.019998
KVB3	1	1	0.501947	0.49961952	7.749636	0.130249
KVB4	1	1	1.016935	0.1590741	39.779990	0.168823
KVB5	1	1	0.720544	0.30510024	27.360710	0.948803
KVB6	1	1	0.656718	0.3429495	7.977501	0.018654
KVB7	1	1	0.3825	0.6153876	7.846670	0.970643
KVB8	1	1	0.418213	1	7.740029	1
KVB9	1	1	0.390247	0.621119	4.717732	0.586017
KVB10	1	1	0.364366	0.636476	4.597029	0.329942

Tüm KVB'lerin ÇKVZA modelinin etkinlik sonuçları G-ÇKVZA modeli etkinlik sonuçları ile birlikte Ek-2'deki tabloda verilmiştir.

G- ÇKVZA Modelinin Kurulması ve Çözümü

G- ÇKVZA amaç fonksiyonu oluşturulurken ÇKVZA modeli amaçlarının, pozitif ideal çözüm değerleri kullanılmaktadır. Öncelikle (6) denklemi kullanılarak amaç fonksiyonları bir araya getirilir. KVB_1 için oluşturulan G- ÇKVZA amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir. ;

$$\text{Min} \frac{1 - h_1}{1} + \frac{M - 0.517241}{0.517241} + \frac{\sum d_j - 11.53149}{11.53149} \quad (10)$$

Daha sonra (7) notasyonu kullanılarak sadeleştirilen model, kısıtlar da eklendikten sonra önerilen (8)'e göre G-ÇKVZA modeli haline getirilmiştir. KVB_1 için oluşturulan G-ÇKVZA modeli aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Min} & (1.933334751M + 0.086719d_1 + 0.086719d_2 + 0.086719d_3 + 0.086719d_4 + \\ & 0.086719d_5 + 0.086719d_6 + 0.086719d_7 + 0.086719d_8 + 0.086719d_9 + 0.086719d_{10} + \\ & 0.086719d_{11} + 0.086719d_{12} + 0.086719d_{13} + 0.086719d_{14} + 0.086719d_{15} + 0.086719d_{16} + \\ & 0.086719d_{17} + 0.086719d_{18} + 0.086719d_{19} + 0.086719d_{20} + 0.086719d_{21} + 0.086719d_{22} + \\ & 0.086719d_{23} + 0.086719d_{24} + 0.086719d_{25} + 0.086719d_{26} + 0.086719d_{27} + 0.086719d_{28} + \\ & 0.086719d_{29} + 0.086719d_{30} + 0.086719d_{31} + 0.086719d_{32} + 0.086719d_{33} + 0.086719d_{34} + \\ & 0.086719d_{35} + 0.086719d_{36} + 0.086719d_{37} + 0.086719d_{38} + 0.086719d_{39} + 0.086719d_{40} + \\ & 0.086719d_{41} + 0.086719d_{42} + 0.086719d_{43} + 0.086719d_{44} + 0.086719d_{45} + 0.086719d_{46} + \\ & 0.086719d_{47} + 0.086719d_{48} + 0.086719d_{49} + 0.086719d_{50} + 0.086719d_{51} + 0.086719d_{52} + \\ & 0.086719d_{53} + 0.086719d_{54} + 0.086719d_{55} + 0.086719d_{56} + 0.086719d_{57} + 0.086719d_{58} + \\ & 0.086719d_{59} + 0.086719d_{60} + 0.086719d_{61} + 0.086719d_{62} + 0.086719d_{63} + 0.086719d_{64} + \\ & 0.086719d_{65} + 0.086719d_{66} + 0.086719d_{67} - 19.2u_1 - 5.72u_2 - 65.28u_3 - 5.76u_4 - \\ & 1863.94u_5 - 4u_6) - 1 \end{aligned}$$

Kısıtlar

(11)

$x \in F$

(11) birinci KVB için oluşturulmuştur. Benzer düşünceden hareketle diğer 66 KVB için de modeller kurulmuş ve çözülmüştür. G- ÇKVZA model için kullanılan kısıtlar ise $x \in F$ olarak tanımlanan ÇKVZA modelinin kısıtları ile aynı kısıtlardır. Bütün KVB'ler için G-ÇKVZA modeli çözülmüş ve sonuçlar Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. G-ÇKVZA Modeli Çözüm ve Etkinlik Değerleri

KVB	Çözüm	Etkinlik	KVB	Çözüm	Etkinlik	KVB	Çözüm	Etkinlik
KVB1	2.451288	0.695841	KVB24	2.507501	0.651812	KVB47	2.041400	0.077533
KVB2	2.418567	0.157464	KVB25	2.253584	0.670060	KVB48	1.899006	0.152976
KVB3	2.669643	0.587825	KVB26	1.952304	0.091146	KVB49	1.943946	0.069257
KVB4	2.016910	0.132316	KVB27	1.967214	0.090828	KVB50	2.233139	0.174237
KVB5	1.846294	0.307260	KVB28	1.649585	0.398858	KVB51	1.564570	0.494094
KVB6	2.416503	0.102112	KVB29	1.802342	0.219421	KVB52	1.806894	0.330737
KVB7	2.431392	0.634597	KVB30	1.871271	0.390908	KVB53	1.888819	0.169710
KVB8	1.932142	1	KVB31	1.731825	0.663643	KVB54	1.954006	0.102821
KVB9	2.232112	0.530352	KVB32	2.192201	0.655221	KVB55	2.123342	0.190633
KVB10	2.046087	0.460526	KVB33	2.394770	1	KVB56	1.833111	0.324458
KVB11	2.243089	0.835760	KVB34	2.511979	0.618173	KVB57	1.755958	0.320154
KVB12	3.148512	0.007837	KVB35	1.886299	0.179476	KVB58	2.300532	0.101701
KVB13	2.353075	0.802062	KVB36	1.951526	0.117270	KVB59	1.859507	0.299506
KVB14	2.167920	1	KVB37	2.122465	1	KVB60	2.376049	0.223997
KVB15	2.242327	0.718229	KVB38	2.441512	0.620771	KVB61	1.962872	0.090691
KVB16	1.664849	0.398608	KVB39	2.628973	0.746424	KVB62	2.328174	0.849060
KVB17	1.786520	0.380715	KVB40	2.407560	0.522654	KVB63	2.480949	0.405534
KVB18	1.856424	0.676608	KVB41	2.088464	1	KVB64	1.910371	0.246583
KVB19	2.063642	1	KVB42	2.071028	0.136738	KVB65	2.781488	0.409469
KVB20	1.939134	0.233785	KVB43	2.799129	0.522700	KVB66	2.799400	0.259339
KVB21	2.181816	0.558034	KVB44	1.771516	0.305280	KVB67	3.546372	0.112153
KVB22	1.731125	0.463861	KVB45	2.523610	0.327982			
KVB23	2.438972	0.103394	KVB46	2.164245	0.019454			

G- ÇKVZA modeli çözümünden elde edilen etkinlik değerleri hesaplandıktan sonra, bu çalışmada önerilen “ideal çözümden uzaklığın normalleştirilmiş dereceleri” hesaplanmıştır. G-ÇKVZA modelinden belirlenen çözümlerin sapma değişkeni değerleri her bir KVB'nin ÇKVZA amaçlarında ($Max h_0$, $Min M$ ve $Min \sum d$) yerine yazılarak üstün olmayan çözümler bulunmuştur. Daha sonra, üstün olmayan çözümler ve pozitif ideal çözümler kullanarak ideal çözümden uzaklığın normalleştirilmiş dereceleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamada kullanılan, KVB_1 'in G- ÇKVZA modeli çözümünden elde edilen, sapma değişkeni değerleri Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. KVB_1 için Üstün Olmayan Çözümler

M= 0.696634	$d_{17}= 0.384311$	$d_{34}= 0.296032$	$d_{51}= 0.280653$
$d_1= 0.303513$	$d_{18}= 0.000000$	$d_{35}= 0.407465$	$d_{52}= 0.174800$
$d_2= 0.222726$	$d_{19}= 0.000000$	$d_{36}= 0.221725$	$d_{53}= 0.203866$
$d_3= 0.342102$	$d_{20}= 0.452206$	$d_{37}= 0.000000$	$d_{54}= 0.231765$
$d_4= 0.212728$	$d_{21}= 0.427081$	$d_{38}= 0.186249$	$d_{55}= 0.696634$
$d_5= 0.437433$	$d_{22}= 0.333366$	$d_{39}= 0.322086$	$d_{56}= 0.229031$
$d_6= 0.444528$	$d_{23}= 0.461368$	$d_{40}= 0.489321$	$d_{57}= 0.153356$
$d_7= 0.450454$	$d_{24}= 0.345607$	$d_{41}= 0.000000$	$d_{58}= 0.489822$
$d_8= 0.000000$	$d_{25}= 0.432391$	$d_{42}= 0.449522$	$d_{59}= 0.195382$
$d_9= 0.449559$	$d_{26}= 0.446899$	$d_{43}= 0.522577$	$d_{60}= 0.696634$
$d_{10}= 0.696634$	$d_{27}= 0.472007$	$d_{44}= 0.169164$	$d_{61}= 0.229308$
$d_{11}= 0.153526$	$d_{28}= 0.355928$	$d_{45}= 0.560216$	$d_{62}= 0.260835$
$d_{12}= 0.354541$	$d_{29}= 0.463395$	$d_{46}= 0.515496$	$d_{63}= 0.480388$
$d_{13}= 0.056919$	$d_{30}= 0.452374$	$d_{47}= 0.215381$	$d_{64}= 0.232916$
$d_{14}= 0.000000$	$d_{31}= 0.154230$	$d_{48}= 0.212932$	$d_{65}= 0.421906$
$d_{15}= 0.099819$	$d_{32}= 0.418559$	$d_{49}= 0.215024$	$d_{66}= 0.136801$
$d_{16}= 0.339052$	$d_{33}= 0.000000$	$d_{50}= 0.208598$	$d_{67}= 0.453399$
Max $h_1= 0.695841$		Min M= 0.696634	Min $\sum d= 20.72254$

İdeal çözümden uzaklığın normalleştirilmiş dereceleri hesaplanırken maksimizasyon yönlü tek amaç olan $Max h_0$ amacı için (1), minimizasyon yönlü $Min M$ ve $Min \sum d$ amaçları için de (2) formülleri kullanılmıştır. (1) ve (2) denklemlerinin çözümünün nasıl gerçekleştirildiğini göstermek amacıyla KVB_1 , KVB_2 , KVB_8 ve KVB_{19} 'un her bir amaç fonksiyonu için ideal çözüme uzaklığın normalleştirilmiş derecesi hesaplanmış ve Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Örnek KVB'ler için İdeal Çözümünden Uzaklığın Normalleştirilmiş Derecesi

KVB	Amaç Fonksiyonu	ÇKVZA Pozitif Çözüm	İdeal Etkinlik	G-ÇKVZA Etkinlik	G-ÇKVZA Üstün Olmayan Çözüm	İdeal Çözümünden Uzaklığın Normalleştirilmiş Derecesi
KVB ₁	Maks h_1		1	1	0.695841	0.304158
	Min M	0.517241		0.610962	0.696634	0.346826
	Min $\sum d$	11.531490		0.533471	20.72254	0.797039
KVB ₂	Maks h_2		1	1	0.157464	0.842536
	Min M	0.867099		0.132540	0.961623	0.109011
	Min $\sum d$	22.364350		0.019998	32.80885	0.467015
KVB ₈	Maks h_8		1	1	1	0
	Min M	0.418213		1	0.573908	0.372286
	Min $\sum d$	7.740029		1	12.07332	0.559855
KVB ₁₉	Maks h_{19}		1	1	1	0
	Min M	0.549436		1	0.926983	0.687153
	Min $\sum d$	6.618764		1	9.110656	0.376489

KVB_1 için yapılan hesaplamalarda $Maks h_1$ amacının normalleştirilmiş derecesi 0.304158 bulunmuştur. Yani uzaklığın normalleştirilmiş dereceleri arasında 0'a en yakın değer $Max h_1$ amacı için bulunmuştur. Bunun anlamı G-ÇKVZA modeli etkinlik değerinin, $Max h_1$ amacının çözümünden elde edilen etkinliğe en yakın noktada gerçekleştiğidir. KVB_2 için bulunan normalleştirilmiş dereceler içerisinde de 0 değeri bulunmadığından çözüm 0'a en yakın olan $Min M$ amacına en yakın noktada gerçekleşmiştir. KVB_8 ve KVB_{19} için bulunan normalleştirilmiş dereceler ise 0 olarak bulunmuştur. Yani iki amaç fonksiyonu için de çözüm $Maks h_8$ ve $Maks h_{19}$ amaçlarının üzerinde çıkmıştır. KVB_1 , KVB_2 , KVB_8 ve KVB_{19} için yapılan hesaplamalar tüm KVB'ler için yapılmış ve sonuçlar Ek-2'deki tabloda verilmiştir.

Ek-2'deki tabloda her bir KVB için hesaplanan ideal çözümünden uzaklığın normalleştirilmiş dereceleri incelendiğinde, KVB_8 , KVB_{14} , KVB_{19} , KVB_{33} , KVB_{37} ve KVB_{41} için $Max h_0 = 0$ olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç ise G-ÇKVZA etkinlik değerlerinin $Max h_0$ amacında gerçekleştiğini göstermektedir. Yani bu 6 KVB'nin G-ÇKVZA modelde etkin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Diğer amaçlar için ($Min M$ ve $Min \sum d$) "0" değerine ulaşamadığından çözümler 0'a en yakın olan uzaklıklarda gerçekleşmiştir.

G- ÇKVZA Modeli Sonucu Bulunan Etkinlik Değeri ile ÇKVZA Modeli Sonucu Bulunan Etkinlik Değerlerinin Karşılaştırılması

ÇKVZA'ya göre her bir amaç fonksiyonunun aynı anda etkin olmasına gerek yoktur. Burada karar verici amaçlardan herhangi birine göre KVB'lerin etkinliğine karar verebilmektedir. Eğer ÇKVZA'da her bir amaç etkin ise tüm modelin etkin olduğu kanaatine varılır. Fakat örneğin, KVB_1 için $Max h_1 = 1$ (etkin) iken diğer amaçlar etkin sonuç vermemiştir. Bu durum da karar vericiyi tercih yapmaya zorlamaktadır. Önerilen G-ÇKVZA modeline göre ÇKVZA'nın etkinliğinin belirlenmesinde tek bir etkinlik (Global Etkinlik) elde edilmiştir. G-ÇKVZA'ya göre etkin bir ÇKVZA modelinin varlığından bahsedebilmek için tüm amaçların etkin olması gerekir. Sonuçlar Tablo 8'de özetlenmiştir.

Tablo 8. ÇKVZA ve G-ÇKVZA'ya Göre Etkin KVB'lerin Karşılaştırılması

KVB	İdeal Çözümünden Uzaklığın Normalleştirilmiş Dereceleri			ÇKVZA Etkinlikler			G- ÇKVZA Etkinlik
	Maks h_0	Min M	Min $\sum d$	Maks h_0	Min M	Min $\sum d$	
KVB 8	0	0.372286	0.559855	1	1	1	1
KVB 11	0.164240	0.196157	0.885061	1	0.6611152	1	0.835760
KVB 14	0	0.348047	0.819873	1	0.76228536	0.621910	1
KVB 15	0.281771	0.208292	0.752626	1	0.75472337	1	0.718229
KVB 19	0	0.687154	0.376489	1	1	1	1
KVB 32	0.344779	0.142912	0.703306	1	0.62669	1	0.655221
KVB 33	0	0.494273	0.900498	1	0.71322007	1	1
KVB 37	0	0.491465	0.631000	1	0.74105964	1	1
KVB 41	0	0.348224	0.740241	1	0.553588	1	1
KVB 62	0.150940	0.583521	0.594478	1	0.801564	1	0.849060

Tablo 8 incelendiğinde, ideal çözümden uzaklığın normalleştirilmiş dereceleri 0 olan KVB'lere göre, G- ÇKVZA etkinlik değerleri KVB_8 , KVB_{14} , KVB_{19} , KVB_{33} , KVB_{37} ve KVB_{41} $Max h_0$ amacı üzerinde gerçekleşmiştir. Bu KVB'lerden KVB_8 ve KVB_{19} tüm amaçlara göre, KVB_{33} , KVB_{37} ve KVB_{41} 'de $Max h_0$ ve $Min \sum d$ amacına göre etkin tesisler olmasına rağmen, çözümlerin hepsi $Max h_0$ amacı üzerinde gerçekleşmiştir. Yine Tablo 8'deki sonuçlar incelendiğinde, KVB_{11} , KVB_{15} , KVB_{32} ve KVB_{62} tesisleri $Max h_0$ ve $Min \sum d$ amaçlarına göre etkin tesisler olarak ortaya çıkmışken, G-ÇKVZA modeline göre etkin değildir. Bu sonuca göre, G-ÇKVZA modelinin Klasik VZA ($Max h_0$)'ya göre ayırım gücü daha yüksek sonuçlar verdiği yorumu yapılabileceği gibi, $Min \sum d$ amacına göre etkin olan tesislerin G-ÇKVZA'ya göre etkin olmaması bir dezavantaj olarak yorumlanabilir.

Sonuç ve Öneriler

Geri dönüşüm sürecinin başarılı olabilmesi kaynağında ayrı toplanan ambalaj atıklarının tekrar işlem görmeden önce toplanıp türlerine göre ayrıştırılması ile mümkündür. Geri dönüşüm sürecinin bu ilk ve en önemli aşamasını Türkiye'de ÇŞB tarafından yetkilendirilen TAT'lar yürütmektedir. TAT'ların etkin bir şekilde faaliyetlerine devam etmesi geri dönüşüm sürecinin başarısını doğrudan etkilemektedir.

G-ÇKVZA modeli ile yapılan etkinlik analizine İç Anadolu Bölgesinde faaliyetlerine devam eden TAT'lar örnek olarak seçilmiştir. Uygulama için verilerin toplandığı 2015 yılında İç Anadolu Bölgesinde 87 TAT faaliyetlerini sürdürmektedir. Gerçekleştirilen tesis ziyaretleri ve yapılan görüşmeler sonucunda 87 TAT'ın 67'si çalışmaya katılmaya gönüllü olmuştur.

İç Anadolu bölgesinde faaliyet gösteren 67 TAT'ın verileri ile G-ÇKVZA modeli kullanılarak gerçekleştirilen etkinlik analizi sonucunda 6 TAT etkin tesis olarak bulunmuştur. Etkin tesislerin 4'ü Ankara'da, 2'si ise Eskişehir'de faaliyetlerini sürdürmektedir. Yani 6 küçük şehrin (nüfusu 750 000'den az olan Aksaray, Karaman, Kırıkkale, Nevşehir, Niğde, Sivas), 4 büyük şehrin (nüfusu 750 000'den fazla olan Ankara, Eskişehir, Konya, Kayseri) tesislerinin yer aldığı örnekte, tüm etkin tesisler büyükşehirlerden çıkmıştır. Bunun sebebi, büyükşehirlerde faaliyet gösteren tesislerin belediyeler ile anlaşma yapma fırsatlarının (birden fazla belediye olduğundan) daha fazla olması, bunun sonucunda da daha büyük miktarlarda ambalaj atığına erişebilmesi olarak değerlendirilmektedir.

Chen (2010), farklı girdiler ve çıktılar kullanarak belediyelerin toplama ve ayırma performanslarını klasik VZA ile incelemiştir. Çalışmasının sonucunda kentsel bölgelerin atık ayırma etkinliğinin, kırsal bölgelerin ayırma etkinliğinden yüksek olduğunu, toplama

etkinliklerinin ise kırsal bölgelere göre düşük bulunmuştur. Bu çalışmada ise benzer girdi ve çıktılar kullanılarak (bütçe, toplanan atık miktarı vb.) yapılan etkinlik araştırmasında büyükşehirlerin performansının küçük şehirlerin performansından daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Yani toplama ve ayırma etkinlikleri ayrı ayrı incelenmemiş olsa bile benzer girdi ve çıktılar ile analiz yapıldığından Chen (2010)'in yaptığı analizle ayırma performansı açısından aynı yönde, toplama performansı açısından tersine bulgulara ulaşılmıştır.

ÇKVZA modeli sonucunda ise $Max h_0$ amacı için 58, $Min M$ amacı için 2 ve $Min \sum d$ amacı için 9 TAT etkin tesisler ortaya çıkmıştır. Marbini ve Toloo (2017), tarafından yapılan çalışmada ÇKVZA modeli için $Min M$ amacının $Min \sum d$ amacına göre daha kötümser sonuçlar verdiği bulgularına ulaşılmıştır. Bu uygulama sonuçlarına göre de ÇKVZA modelinde $Min M$ amacı $Min \sum d$ amacına göre daha kötümser sonuçlar verdiği için, ulaşılan bulgular Marbini ve Toloo (2017) tarafından yapılan çalışma ile aynı yöndedir. Önerilen G-ÇKVZA modeli ise $Max h_0$ ve $Min \sum d$ amaçlarına göre daha kötümser, $Min M$ amacına göre ise daha iyimser etkinlik sonuçları vermiştir.

San Cristóbal (2011), yaptığı çalışmada ÇKVZA modeli için bir KVB $Min M$ ve $Min \sum d$ amaçlarının herhangi birinde veya her ikisinde etkin sonuçlar verdiyse, $Max h_0$ amacının da kesinlikle etkin sonuçlar vereceğini savunmuştur. Aynı durumun G-ÇKVZA modeli için de geçerli olduğu yapılan uygulamada kanıtlanmıştır. Yani herhangi bir KVB G-ÇKVZA modelinde etkin sonuç verdiyse, $Max h_0$ amacı (klasik VZA) için de kesinlikle etkin sonuç verecektir. Yapılan uygulama sonucunda elde edilen bulgular San Cristóbal (2011)'in bulguları ile benzer sonuçlar vermiştir.

G-ÇKVZA ve ÇKVZA modellerinin çözümü sonucunda 2 tesis tüm modeller için etkin tesisler olarak bulunmuştur. KVB 8 ve KVB 19 olarak adlandırılan tesislerin her ikisinde Ankara'da yer almakta ve Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı (ÇEVKO) tarafından orta ölçekli tesis olarak nitelendirilmektedir. Bu iki tesisin ortak özellikleri tesis kapasitesi, dağıtılan konteynır sayısı gibi girdiler ile ayrıştırılan kağıt ve plastik miktarları, elde edilen gelir gibi çıktıların araştırılmaya katılan tesislerin ortalamalarından daha yüksek değere sahip olmasıdır. Etkin olmayan tesislerin etkin tesisler haline gelebilmesi için kontrol edilebilir girdilerini sabit tutup veya azaltarak, kontrol edilebilir çıktıları arttırması gerekmektedir. Çünkü tesisler bazı girdi ve çıktıları kendi inisiyatifleri ile arttırıp azaltma şansına sahipken bazı girdi ve çıktıları kontrol edebilme kabiliyetine sahip değildir. Örneğin tesisler topladığı atık miktarı veya dağıttığı konteynır sayısını arttırma kabiliyetine sahipken, tesisin bulunduğu ildeki ortalama atık miktarı veya tesisin bulunduğu ilin yaşam indeksi değişkenlerini değiştirme kabiliyetine sahip değildir. Bu kısıtlar göz önünde bulundurularak, kontrol edilebilir çıktılar arttırılarak tesislerin etkinliği yükseltilebilir.

Önerilen G-ÇKVZA modeli ile elde edilen sonuçlara göre etkin olmayan tesislerin, çıktıları arttırarak etkin tesisler haline gelebilmesi için herhangi bir belediye ile ambalaj atığı toplama işi konusunda anlaşması gerekebilir. Bu etkin olmayan tesislerin, etkin tesisler haline gelebilmesi için en büyük sorumluluklar ÇŞB'ye düşmektedir. Nüfusa göre TAT lisansı verilmesi, belediyelerin birden fazla TAT ile çalışması, kağıt toplayıcılarının belediyeler bünyesinde istihdam edilmesi gibi önlemler hem bazı TAT'ların komisyoncu gibi çalışan tesisler olmasının

önüne geçebilecek, hem de artan kalite ve nicelik ile TAT'lar faaliyetlerini daha etkin bir şekilde sürdürebileceklerdir.

ÇKVZA ve Global Kriter Yöntem ile modellenip G-ÇKVZA olarak isimlendirilen model TAT etkinliklerinin değerlendirilmesi problemini başarılı bir şekilde çözümlenmiştir. Önerilen G-ÇKVZA modelinin kabul edilebilir sonuçlar vermesi girdi ve çıktı seçiminin titizlikle yapılmasıyla mümkündür. Farklı VZA modellerinin kullanılması, ekonomik ve çevresel şartlara göre modele yeni girdi veya çıktıların ilave edilmesi/çıkarılması TAT'ların etkinlik değerlerinin değişmesine yol açacaktır.

Kaynakça

- Adler, N., Yazhemskey, E. (2010). Improving discrimination in data envelopment analysis: PCA-DEA or variable reduction. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 273-284. (<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.03.050>)
- Alizadeh, M. H., Rasouli, S. M., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2011). The use of multi-criteria data envelopment analysis (MCDEA) for location-allocation problems in a fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5687-5695. (<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.10.065>)
- Arora, J. S. (2012). *Introduction to optimum design*. California : Elsevier Academic.
- Bal, H., Örkücü, H. H., Çelebioğlu, S. (2010). Improving the discrimination power and weights dispersion in the data envelopment analysis. *Computers & Operations Research*, 37(1), 99-107. (<https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.03.028>)
- Bosch, N., Pedraja, F., Suárez-Pandiello, J. (2000). Measuring the efficiency of Spanish municipal refuse collection services. *Local Government Studies*, 26(3), 71-90. (<https://doi.org/10.1080/03003930008434000>)
- Chang, D. S., Liu, W., Yeh, L. T. (2013). Incorporating the learning effect into data envelopment analysis to measure MSW recycling performance. *European Journal of Operational Research*, 229(2), 496-504. (<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.01.026>)
- Charnes, A., Cooper, W. W. Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(1978), 429-444. ([https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8))
- Chen, C. C. (2010). A performance evaluation of MSW management practice in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1353-1361. (<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.05.003>)
- Chiou, H. K., Chu, Y. F., Tzeng, G. H. (2005). Comparing AHP/GRA with DEA to evaluate the performance of municipal waste recycling in Taiwan. *International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*, Honolulu, Havai, USA, 1-9. (URL: http://isahp.org/2005Proceedings/Papers/ChiouHK_Ch_u_Tzeng_ComparingAHP-GRA_to_DEA_MunicipalWaste.pdf)

- Christopoulos, A. G., Dokas, I. G., Katsimardou, S., Vlachogiannatos, K. (2016). Investigation of the relative efficiency for the Greek listed firms of the construction sector based on two DEA approaches for the period 2006–2012. *Operational Research*, 16(3), 423-444. (<https://doi.org/10.1007/s12351-015-0207-8>)
- Cooper, W. W., Seiford, L. M. Tone, K. (2002). *Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- De Jaeger, S., Rogge, N. (2014). Cost-efficiency in packaging waste management: The case of Belgium. *Resources, Conservation and Recycling*, 85(2014), 106-115. (<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.08.006>)
- Expósito, A., Velasco, F. (2018). Municipal solid-waste recycling market and the European 2020 Horizon Strategy: A regional efficiency analysis in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 172(2018), 938-948. (<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.221>)
- French, M. (2018). *Fundamentals of Optimization: Methods, Minimum Principles, and Applications for Making Things Better*. Switzerland: Springer.
- Friedman, L., Sinuany-Stern, Z. (1998). Combining ranking scales and selecting variables in the DEA context: The case of industrial branches. *Computers & Operations Research*, 25(9), 781-791. ([https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(97\)00102-0](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(97)00102-0))
- Garcia-Sánchez, I. M. (2008). The performance of Spanish solid waste collection. *Waste Management & Research*, 26(4), 327-336. (<https://doi.org/10.1177/0734242X07081486>)
- Ghasemi, M. R., Ignatius, J., Emrouznejad, A. (2014). A bi-objective weighted model for improving the discrimination power in MCDEA. *European Journal of Operational Research*, 233(3), 640-650. (<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.08.041>)
- Ginter, P. M., Starling, J. M. (1978). Reverse distribution channels for recycling. *California Management Review*, 20(3), 72-82. (<https://doi.org/10.2307/41165284>)
- Golany, B., Roll, Y. (1989). An application procedure for DEA. *Omega*, 17(3), 237-250. ([https://doi.org/10.1016/0305-0483\(89\)90029-7](https://doi.org/10.1016/0305-0483(89)90029-7))
- Guiltinan, J. P., Nwokoye, N. G. (1975). Developing distribution channels and systems in the emerging recycling industries. *International Journal of Physical Distribution*, 6(1), 28-38. (<https://doi.org/10.1108/eb014359>)
- Huang, Y. T., Pan, T. C., Kao, J. J. (2011). Performance assessment for municipal solid waste collection in Taiwan. *Journal of environmental management*, 92(4), 1277-1283. (<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.12.002>)
- Hwang, C. L. Masud, A. S. M. (1979). *Multiple objective decision making - methods and applications: a state-of-the-art survey*. New York: Springer-Verlag.
- Ichinose, D., Yamamoto, M., Yoshida, Y. (2013). Productive efficiency of public and private solid waste logistics and its implications for waste management policy. *IATSS Research*, 36(2), 98-105. (<https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2013.01.002>)

- Jenkins, L., Anderson, M. (2003). A multivariate statistical approach to reducing the number of variables in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 147(1), 51-61. ([https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00243-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00243-6))
- Khadivi, M. R., Ghomi, S. F. (2012). Solid waste facilities location using of analytical network process and data envelopment analysis approaches. *Waste management*, 32(6), 1258-1265. (<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.02.002>)
- Kim, K., Song, I., Kim, J., Jeong, B. (2006). Supply planning model for remanufacturing system in reverse logistics environment. *Computers & Industrial Engineering*, 51(2), 279-287. (<https://doi.org/10.1016/j.cie.2006.02.008>)
- Kontodimopoulos, N., Bellali, T., Labiris, G., Niakas, D. (2006). Investigating sources of inefficiency in residential mental health facilities. *Journal of Medical Systems*, 30(3), 169-176. (<https://doi.org/10.1007/s10916-005-7981-4>)
- Lewin, A. Y., Morey, R. C., Cook, T. J. (1982). Evaluating the administrative efficiency of courts. *Omega*, 10(4), 401-411. ([https://doi.org/10.1016/0305-0483\(82\)90019-6](https://doi.org/10.1016/0305-0483(82)90019-6))
- Li, X. B., Reeves, G. R. (1999). A multiple criteria approach to data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 115(3), 507-517. ([https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00130-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00130-1))
- Lozano, S., Villa, G., Adenso-Diaz, B. (2004). Centralised target setting for regional recycling operations using DEA. *Omega*, 32(2), 101-110. (<https://doi.org/10.1016/j.omega.2003.09.012>)
- Marbini, A. H., Toloo, M. (2017). An extended multiple criteria data envelopment analysis model. *Expert Systems with Applications*, 73, 201-219. (<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.12.030>)
- Marques, R. C., Simões, P. (2009). Incentive regulation and performance measurement of the Portuguese solid waste management services. *Waste Management & Research*, 27(2), 188-196. (<https://doi.org/10.1177/0734242X08095025>)
- Miettinen, K. (1998). *Nonlinear multiobjective optimization*. New York: Springer Science+Business.
- Nataraja, N. R., Johnson, A. L. (2011). Guidelines for using variable selection techniques in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 215(3), 662-669. (<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.06.045>)
- Ramanathan, R. (2003). *An Introduction to Data Envelopment Analysis: A Tool for Performance Measurement*. California: Sage.
- Rogers, D. S., Tibben-Lembke, R. (2001). An examination of reverse logistics practices. *Journal of business logistics*, 22(2), 129-148. (<https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00007.x>)
- Rogge, N., De Jaeger, S. (2012). Evaluating the efficiency of municipalities in collecting and processing municipal solid waste: A shared input DEA-model. *Waste management*, 32(10), 1968-1978. (<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.05.021>)
- Rubem, A. P. S., Brandão, L. C. (2015). Multiple criteria data envelopment analysis—an application to UEFA EURO 2012. *Procedia Computer Science*, 55(2015), 186-195. (<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.031>)

- San Cristóbal, J. R. (2011). A multi criteria data envelopment analysis model to evaluate the efficiency of the Renewable Energy Technologies. *Renewable Energy*, 36(10), 2742-2746. (<https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.008>)
- Shih, C. J., Chang, C. J. (1995). Pareto optimization of alternative global criterion method for fuzzy structural design. *Computers & structures*, 54(3), 455-460. ([https://doi.org/10.1016/0045-7949\(94\)00341-Y](https://doi.org/10.1016/0045-7949(94)00341-Y))
- Thanassoulis, E. (2001). *Introduction to the theory and application of data envelopment analysis: A foundation text with integrated software*. New York: Springer Science+Business Media.
- Umarusman, N., Türkmen, A. (2013). Building optimum production settings using De Novo programming with global criterion method. *International Journal of Computer Applications*, 82(18), 12-15. (URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.402.761&rep=rep1&type=pdf>)
- Vassiloglou, M., Giokas, D. (1990). A study of the relative efficiency of bank branches: an application of data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 41(7), 591-597. (<https://doi.org/10.1057/jors.1990.83>)
- Verma, M. K., Mukherjee, V., Yadav, V. K. (2016). Greenfield distribution network expansion strategy with hierarchical GA and MCDEA under uncertainty. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 79(2016), 245-252. (<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.01.004>)
- Wadhwa, S., Madaan, J., Chan, F. T. S. (2009). Flexible decision modeling of reverse logistics system: A value adding MCDM approach for alternative selection. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25(2), 460-469. (<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2008.01.006>)
- Wagner, J. M., Shimshak, D. G. (2007). Stepwise selection of variables in data envelopment analysis: Procedures and managerial perspectives. *European journal of operational research*, 180(1), 57-67. (<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.048>)
- Wiel, A. V. D., Bossink, B., Masurel, E. (2012). Reverse logistics for waste reduction in cradle-to-cradle-oriented firms: waste management strategies in the Dutch metal industry. *International Journal of Technology Management*, 60(1-2), 96-113. (<https://doi.org/10.1504/IJTM.2012.049108>)
- Worthington, A. C., Dollery, B. E. (2001). Measuring efficiency in local government: an analysis of New South Wales municipalities' domestic waste management function. *Policy Studies Journal*, 29(2), 232-249. (<https://doi.org/10.1111/j.1541-0072.2001.tb02088.x>)
- Yadav, V. K., Jha, D. K., Chauhan, Y. K. (2012). A Multi Criteria DEA approach to performance evaluation of Indian thermal power plants. *Power System Technology (POWERCON), 2012 IEEE International Conference on*, Auckland, New Zealand, 1-5. (<https://doi.org/10.1109/PowerCon.2012.6401451>)
- Zhao, M. Y., Cheng, C. T., Chau, K. W., Li, G. (2006). Multiple criteria data envelopment analysis for full ranking units associated to environment impact assessment. *International Journal of Environment and Pollution*, 28(3-4), 448-464. (<https://doi.org/10.1504/IJEP.2006.011222>)
- Zikmund, W. G., Stanton, W. J. (1971). Recycling solid wastes: a channels-of-distribution problem. *The Journal of Marketing*, 35(3), 34-39. (<https://doi.org/10.1177/002224297103500306>)

Ek-1. ÇKVZA Modelinin Bir Kesiti

$$\text{Maks } Z_1(x): \text{Max } 19.2u_1 + 5.76u_2 + 65.28u_3 + 5.76u_4 + 1863.936u_5 + 4u_6$$

$$\text{Min } W_1(x): \text{Min } M$$

$$\text{Min } W_2(x): \text{Min } \sum d_j$$

Kısıtlar

$$55.408v_1 + 9.985v_2 + 30v_4 + 47v_7 + 22.091675v_9 + 3.994v_{10} + 141.86772v_{11} \\ + 32.67v_{12} + 394.2075v_{13} + 122.14104v_{14} + 219.8313253v_{15} + 0.5135v_{16} \\ + 13.7232v_{17} + 1.01v_{18} + 96v_{19} = 1$$

$$19.2u_1 + 5.76u_2 + 65.28u_3 + 5.76u_4 + 1863.936u_5 + 4u_6 - 55.408v_1 - 9.985v_2 \\ - 30v_4 - 47v_7 - 22.091675v_9 - 3.994v_{10} - 141.86772v_{11} - 32.67v_{12} - 394.2075v_{13} \\ - 122.14104v_{14} - 219.8313253v_{15} - 0.5135v_{16} - 13.7232v_{17} - 1.01v_{18} - 96v_{19} \\ + d_1 = 0$$

$$10u_1 + 10u_2 + 1031u_5 + 3u_6 - 2.88v_1 - 10v_2 - 10v_4 - 4v_7 - 16.5455v_9 - 4v_{10} \\ - 67.93272v_{11} - 17.82v_{12} - 97.6207v_{13} - 17.44872v_{14} - 11.42640443v_{15} - \\ 0.5135v_{16} - 13.7232v_{17} - 1.01v_{18} - 20v_{19} + d_2 = 0$$

⋮

⋮

$$23.2u_1 + 17.4u_2 + 5.8u_3 + 2.8u_4 + 2525.32u_5 + 8u_6 - 6v_1 - 3.963v_2 - 341v_3 \\ - 20v_4 - 80v_6 - 205v_7 - 6.912v_8 - 11.383865v_9 - 3.1704v_{10} - 246.92484v_{11} \\ - 17.82v_{12} - 304.0362v_{13} - 10469232v_{14} - 346.114v_{15} - 0.5298v_{16} - 15.6595v_{17} \\ - 1.12v_{18} - 58v_{19} + d_{66} = 0$$

$$27.75u_1 + 0.35u_2 + 0.08u_2 + 0.12u_2 + 876.961u_5 + 6u_6 - 10v_1 - 5v_2 - 123v_3 \\ - 50v_4 - 2v_5 - 57v_6 - 40v_7 - 0.4v_8 - 17.8295v_9 - 7.5v_{10} - 108.13272v_{11} \\ - 32.67v_{12} - 506.727v_{13} - 104.69232v_{14} - 618.617v_{15} - 0.5591v_{16} - 14.2755v_{17} \\ - 1.12v_{18} - 29.2v_{19} + d_{67} = 0$$

$$M - d_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i, d_j \geq 0$$

Ek-2. Tüm KVB'lerin İdeal Çözümünden Uzaklığın Normalleştirilmiş Dereceleri

KVB	İdeal Çözümünden Uzaklığın Normalleştirilmiş Dereceleri			ÇKVZA Etkinlikler			G- ÇKVZA Etkinlik
	Maks h_0	Min M	Min $\sum d$	Maks h_0	Min M	Min $\sum d$	
	KVB 1	0.304159	0.346827	0.797039	1	0.61092618	
KVB 2	0.842536	0.109012	0.467016	1	0.13254	0.019998	0.157464
KVB 3	0.412175	0.994177	0.262748	1	0.49961952	0.130249	0.587825
KVB 4	0.867684	0.010926	0.138347	1	0.1590741	0.168823	0.132316
KVB 5	0.692740	0.039342	0.113760	1	0.30510024	0.948803	0.307260
KVB 6	0.897888	0.368086	0.149970	1	0.3429495	0.018654	0.102112
KVB 7	0.365403	0.249561	0.815517	1	0.6153876	0.970643	0.634597
KVB 8	0	0.372286	0.559855	1	1	1	1
KVB 9	0.469648	0.686288	0.078051	1	0.621119	0.586017	0.530352
KVB 10	0.539474	0.476164	0.032059	1	0.636476	0.329942	0.460526
KVB 11	0.164240	0.196157	0.885061	1	0.6661152	1	0.835760
KVB 12	0.992163	1.152058	0.000653	0.998301	0.537853	0.003320	0.007837
KVB 13	0.197938	0.397032	0.757123	0.9983718	0.7947624	0.905103	0.802062
KVB 14	0	0.348047	0.819873	1	0.76228536	0.621910	1
KVB 15	0.281771	0.208292	0.752626	1	0.75472337	1	0.718229
KVB 16	0.601392	0.061565	0.002619	1	0.3694667	0.445886	0.398608
KVB 17	0.602178	0.063418	0.121786	0.957	0.38923744	0.381508	0.380715
KVB 18	0.323392	0.388994	0.151444	0.9986616	0.7942776	0.758282	0.676608
KVB 19	0	0.687154	0.376489	1	1	1	1
KVB 20	0.766215	0.053804	0.119353	1	0.2440177	0.227731	0.233785
KVB 21	0.441966	0.176131	0.563547	1	0.5428876	0.971695	0.558034
KVB 22	0.536139	0.081576	0.114262	1	0.3934435	0.983864	0.463861
KVB 23	0.896606	0.034906	0.507386	1	0.13358694	0.083732	0.103394
KVB 24	0.348188	0.315270	0.843998	1	0.542884	0.507108	0.651812
KVB 25	0.329940	0.167429	0.756942	0.998836	0.678423	0.988426	0.670060
KVB 26	0.908854	0.027946	0.015562	1	0.08632853	0.063841	0.091146
KVB 27	0.909172	0.023810	0.034228	1	0.1121265	0.071258	0.090828
KVB 28	0.601142	0.053214	0.004931	1	0.39656916	0.454158	0.398858
KVB 29	0.761258	0.052315	0.010931	0.9190716	0.22067563	0.179147	0.219421
KVB 30	0.609092	0.045233	0.216602	1	0.4079759	0.961986	0.390908
KVB 31	0.336357	0.091016	0.303953	0.99749178	0.4091098	0.983020	0.663643
KVB 32	0.344779	0.142912	0.703306	1	0.62669	1	0.655221
KVB 33	0	0.494273	0.900498	1	0.71322007	1	1
KVB 34	0.381827	0.067309	1.198226	1	0.5936606	0.494752	0.618173
KVB 35	0.820524	0.028971	0.036808	1	0.16264112	0.181323	0.179476
KVB 36	0.882730	0.049381	0.019412	1	0.11633562	0.118045	0.117270
KVB 37	0	0.491465	0.631000	1	0.74105964	1	1
KVB 38	0.379229	0.738590	0.322575	1	0.8519435	0.638216	0.620771
KVB 39	0.253576	0.725517	0.652396	0.998545	0.52564259	0.919166	0.746424
KVB 40	0.477346	0.610872	0.319451	1	0.703754	0.152840	0.522654
KVB 41	0	0.348224	0.740241	1	0.553588	1	1
KVB 42	0.863262	0.033960	0.173799	1	0.16520758	0.153626	0.136738
KVB 43	0.477300	0.769046	0.552505	1	0.52486998	0.533551	0.522700
KVB 44	0.694720	0.038692	0.038297	1	0.186748	0.305330	0.305280
KVB 45	0.672018	0.596343	0.254088	1	0.3823354	0.301737	0.327982
KVB 46	0.980546	0.157486	0.026084	1	0.1529355	0.010448	0.019454
KVB 47	0.922467	0.006578	0.112357	1	0.077555	0.112167	0.077533
KVB 48	0.847024	0.019073	0.032912	1	0.10754652	0.155682	0.152976
KVB 49	0.930743	0.001701	0.011502	1	0.06995832	0.063554	0.069257
KVB 50	0.825763	0.017828	0.389549	1	0.172047	0.020557	0.174237
KVB 51	0.505906	0.049615	0.010126	1	0.375232	0.378818	0.494094
KVB 52	0.669263	0.029759	0.107444	1	0.34931226	0.340091	0.330737
KVB 53	0.830290	0.022652	0.035873	1	0.16374744	0.176986	0.169710
KVB 54	0.895597	0.013937	0.044623	0.984847	0.1168045	0.107015	0.102821
KVB 55	0.809367	0.311289	0.003696	1	0.3834976	0.188534	0.190633
KVB 56	0.675542	0.002089	0.155985	1	0.3305194	0.371787	0.324458
KVB 57	0.679846	0.033582	0.042497	1	0.28214977	0.321329	0.320154
KVB 58	0.898299	0.036951	0.365282	1	0.13376948	0.094710	0.101701
KVB 59	0.700494	0.043499	0.115251	1	0.31340276	0.923477	0.299506
KVB 60	0.776003	0.400121	0.200191	1	0.4457909	0.081404	0.223997
KVB 61	0.909309	0.024166	0.029393	1	0.11205843	0.087889	0.090691
KVB 62	0.150940	0.583521	0.594478	1	0.801564	1	0.849060
KVB 63	0.594466	0.571758	0.312692	1	0.58663269	0.550872	0.405534
KVB 64	0.753417	0.023897	0.133064	1	0.264149	0.121602	0.246583