Turkish Studies
Information Technologies & Applied Sciences
Volume 13/13, Spring 2018, p. 1-21
DOI Number: http://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.13378
ISSN: 1308-2140, ANKARA-TURKEY

Research Article / Araştırma Makalesi

Article Info/Makale Bilgisi
Received/Geliş: Nisan 2018 **Accepted/Kabul:** Haziran 2018
Referees/Hakemler: Prof. Dr. Turan PAKSOY - Dr. Öğr. Üyesi Abdullah YILDIZBAŞI

This article was checked by iThenticate.

YEŞİL TEDARİKÇİ SEÇİMİNDE BULANIK ÇOK AMAÇLI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YAKLAŞIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

*Ahmet ÇALIK**

ÖZET

Doğru ürünü, doğru zamanda, doğru kalitede, doğru yerde üreterek en uygun maliyetle müşterilere ulaştırmayı amaçlayan tedarik zinciri yönetiminde ele alınması gereken başlıca konulardan birisi tedarikçi seçimidir. İşletmelerin hedeflerine ulaşmasında tedarikçilerin maliyet, kalite, zamanında teslimat ve esneklik gibi performansları doğrudan üretimi etkilemesi nedeniyle uygun tedarikçiyi seçen ve uygun sipariş dağıtımını belirleyen işletmeler, diğerlerine göre rekabet açısından daha avantajlı bir konuma gelmektedir. Yasal düzenlemeler ve çevrenin korunması konusunda insanlar arasında artan bilinç, işletmeleri Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi (YTZY) uygulamalarına önem vermeye zorlamış ve bu durum tedarikçi seçiminde Yeşil Tedarikçi Seçimi (YTS) kavramını ortaya çıkarmıştır. YTS nitel ve nicel çelişkili faktörleri içeren bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemidir. YTS için birçok bireysel ve bütünleşik yaklaşım önerilmiş ve önerilmeye devam etmektedir. Birden fazla çelişkili amaçların yer aldığı çok-amaçlı doğrusal programlama problemlerini tek-amaçlı doğrusal programlama problemine dönüştürebilmek için çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir. Bu çalışmada, öncelikle YTS için yeni bir Çok-Amaçlı Doğrusal Programlama (ÇADP) modeli oluşturulmuştur. Geliştirilen ÇADP'ni tek-amaçlı doğrusal programlama problemine dönüştürebilmek için literatürde sıklıkla kullanılan Bulanık Çok-Amaçlı Doğrusal Programlama (BÇADP) yaklaşımları ele alınmıştır. En iyi tedarikçiyi seçebilmek ve sipariş dağıtımını yapabilmek için çözüm yaklaşımlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca karar verici görüşlerinin model üzerindeki etkisini ölçebilmek amacıyla Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ele alınan kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için kullanılmıştır. Önerilen modelin ve

* Dr. Öğr. Üyesi, KTO Karatay Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, El-mek: ahmetcalik51@gmail.com

BÇADP yaklaşımlarının uygulanabilirliği ve karşılaştırılması bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Analitik Hiyerarşi Prosesi, Bulanık Çok-Amaçlı Doğrusal Programlama, Yeşil Tedarikçi Seçimi.

COMPARISON OF FUZZY MULTI-OBJECTIVE LINEAR PROGRAMMING APPROACHES IN GREEN SUPPLIER SELECTION

ABSTRACT

One of the main issues to be addressed in supply chain management is the supplier selection which aims to deliver the right product at the right time, in the right quality, in the right place, and at the most appropriate cost. Enterprises that select the right suppliers and determine the appropriate order distribution are more competitive in terms of competitiveness than others because the performance of suppliers, such as cost, quality, on-time delivery, and flexibility, affects direct production in achieving their goals. Legal regulations and increasing awareness among people about the protection of the environment has forced companies to attach importance to Green Supply Chain Management (GSCM) practices which have led to the concept of Green Supplier Selection (GSS) in supplier selection. GSS is a Multi-Criteria Decision Making (MCDM) problem involving qualitative and quantitative conflicting factors. Many individual and integrated approaches for GSS have been proposed and continue to be proposed. Several approaches have been proposed to convert multi-objective linear programming problems, which involve multiple conflicting objectives, to a single-objective linear programming problem. In this study, a new Multi-Objective Linear Programming (MOLP) model was for GSS. Fuzzy Multi-Objective Linear Programming (FMOLP) approaches, which are frequently used in the literature, are discussed in order to convert the developed MOLP to the single-objective linear programming problem. A comparison of solution approaches has been made in order to choose the best supplier and to make order allocation. In addition, the Analytical Hierarchy Process (AHP) method was used to determine the weights of the determined criteria in order to measure the influence of decision-makers' opinions on the model. The feasibility and comparability of the proposed model and the FMOLP approaches are illustrated with an example.

STRUCTURED ABSTRACT

Supply chain management covers all activities related to the transformation of goods and services from the resources of the materials to the end users. Choosing an appropriate supplier is one of the most critical aspects of supply chain management and it is hard to find a right supplier. Working with a large number of suppliers can lead to an increase in procurement costs while minimizing risks associated with procurement. Savings from supplier selection are particularly important

especially for businesses that earn a large portion of their revenues from parts and materials sales.

The main objective of the Green Supply Chain Management (GSCM) process is to reduce environmental pollution and hazardous materials from suppliers during purchasing, manufacturing, marketing and recycling of the products. Increasing environmental problems and dangerous substances are bringing about the management of hazardous wastes with the help of GSCM. Hazardous wastes, especially provided by suppliers can cause serious environmental impacts in the supply chain.

Because of the supply chain's environmental performance is significantly affected by the performance of suppliers, Green Supplier Selection (GSS) is a critical activity for the supply chain management. Working with the appropriate suppliers does not only affect the economic dimensions but also directly affects the environmental dimensions. For this reason, enterprises have to show the necessary importance in order to reduce adverse environmental effects and increase economic performance. Although there are studies that take into account such factors as price and carbon performance for GSS, GSS studies that take into account factors such as energy consumption, defective parts, and waste generation are rarely found.

The main purpose of this study is to show the importance of the factors mentioned in the problem of GSS and make a comparison with Fuzzy Multi-Objective Linear Programming (FMOLP) approaches. As a result, two steps have been used in this study to determine the appropriate green suppliers and determine the order allocation between them. In the first phase of this study, a new MOLP model was developed that addresses various green factors. Then, FMOLP approaches have been used to solve the developed model and to convert the model into a single-objective linear programming model. The FMOLP approaches have received great interest from many researchers in the problem of supplier selection. For this reason, three approaches have been used to solve and compare the developed MOLP model: Zimmermann (1978), Tiwari, Dharmar, and Rao (1987) and Lin (2004). In the second stage, scenario analyzes were made according to different weight values for comparison of FMOLP approaches. Since the changing judges of decision makers may have an effect on the FMOLP model, the effect of the Analytical Hierarchy Process (AHP) method is used for the numerical example. The results obtained from the AHP method and the results obtained from the scenario analysis were compared for the FMOLP approaches.

The developed MOLP model was transformed into single-objective linear programming problem and solved firstly in the GAMS-CPLEX 24.0.1 package program for the Zimmermann (1978) approach and the minimum satisfaction level was found to be $\lambda = 0.902$ and according to the obtained results. The first, second, third and fourth objectives are equal to the minimum satisfaction level of 0.902 according to these results.

Then, the MOLP model developed for GSS was solved by Tiwari, Dharmar, and Rao (1978) and Lin (2004) and assuming that each goal has equal weight. According to the results obtained by Zimmermann (1978) approach has the same membership function values for objective functions but different results are obtained in other approaches. Since

this may be due to the weight assigned to the objective functions, sensitivity analysis has examined the change in optimal solution and membership functions.

The AHP method was used to determine the weights of the criteria in order to measure the impact of decision-making on the model. The AHP method, which can be easily applied by decision makers since the day it was developed, is a frequently used method in supplier selection. According to Govindan, Rajendran, Sarkis, ve Murugesan (2015) the most widely used MCDM approach is the AHP. In addition, the AHP method has several advantages because it is based on pairwise comparisons in distributing weights in decision – making problems with a hierarchical structure. For this reason, the AHP method was used to obtain the objectives (criteria) weights in this study.

The weights of the criteria were found $0.385, 0.174, 0.301$ and 0.141 according to the results obtained using the pairwise comparison matrix for AHP. The ranking of the criteria for the GSS is obtained as $Carbon\ Emission > Waste\ Generation > Energy\ Consumption > Defective\ Parts$. Using these values in the FMOLP model, the following results were obtained for the FMOLP approaches:

There is no difference between the criteria for Zimmermann's weightless approach and as a result of weighting the criteria equally, the membership function values of the objective functions are found to be 0.902. Once the results given in Table 11 are examined, it is seen that the weighted additive model approach of Tiwari, Dharmar, and Rao (1987) gives contradictory results to the opinions of decision makers. Once decision makers gave the first criterion weight of 0.385 as the most important criterion, the second membership function value (1) was higher than the first membership function value (0.959). However, in Lin (2004) approach, this inconsistency is eliminated. The objective function with the highest weight still has the highest satisfaction level. As a result of the comparison of FMOLP approaches, Lin (2004) suggests that the approach can achieve an optimal solution in which the order of the values obtained from the decision makers' opinions is the same. So, the solutions obtained are more consistent than the other solutions because they are linked to the preferences of the decision makers.

The GSS problem is one of the most important issues in GSCM that directly affects the performance of the producers. From this point of view, the development of a new GSS model and the comparison of the approaches used to decide the appropriate supplier are of great importance. In general, the problem of GSS is uncertain. The fuzzy set theory helps to get the opinions and experiences of decision makers and turn them into meaningful results. Although many FMOLP approaches have been proposed for solving the problem of GSS, no study has been found to compare these methods.

The FMOLP approach is a method to reveal the importance of objectives and express decision makers' preferences using a single objective function. In these approaches, each objective is aimed at obtaining a linear weighted objective function by multiplying by the membership function and the corresponding weight. In this study, a new MOLP model has been developed with criteria such as energy consumption, defective parts, and waste generation. Then, we compared

the FMOLP approaches to investigate the influence of decision makers' preferences on the model. Finally, a comparative analysis has been carried out with the AHP method of the FMOLP approaches in order to better reflect the developed model. The results show that the Lin (2004) approach offers more reasonable and acceptable solutions than the Tiwari, Dharmar, and Rao (1987) and Zimmermann (1978) approaches.

Keywords: Analytic Hierarchy Process, Fuzzy Multi-Objective Linear Programming, Green Supplier Selection.

1. Giriş

Günümüzde kâr marjlarının oluşturduğu baskılı ve zorlu rekabet ortamı, işletmeleri yükselen tüketici beklentilerini karşılamak, kaliteli ürünleri en kısa teslim süresi ile en doğru miktarda tüketicilere ulaştırabilmek için üretim süreçlerini optimize etmeye zorlamaktadır. İşletmelerin rekabetçi kalması ve tedarik zincirlerinin toplam performanslarını artırabilmesi için tedarik zincirlerinde yer alan her bir aktör ile birlikte çalışması gerekmektedir. Artık tedarik zincirlerinde yer alan her bir aktörün bireysel performanslarını artırmaları yerine işbirliği sayesinde tedarik zincirindeki toplam performansı artırabilmenin yolları araştırılmaya başlanmıştır. Bu nedenle, işletmelerin tedarik zincirlerindeki bütün operasyonları etkileyen en temel faaliyetlerden biri olan satın alma, rekabet ortamının hızla arttığı günümüzde ele alınması gereken başlıca konulardan birisidir. Tedarik zinciri ve satın alma maliyetleri üzerinde kritik öneme sahip olan tedarikçi seçiminin işletmelerin performanslarını etkilediği su götürmez bir gerçektir (Sanayei, Mousavi, & Yazdankhah, 2010).

Tedarikçi seçimi, tedarik zinciri yönetimi ve işletmelerin satın alma kararlarının önemli bir aracıdır. Özellikle, birden fazla tedarikçi ile çalışan ve gelirlerinin büyük bir bölümünü parça ve malzeme temini üzerine kuran işletmeler için, tedarikçi seçiminden sağlanan tasarruflar özellikle önem arz etmektedir. Ayrıca işletmelerin lojistik operasyonlarında, tedarikçilerin konumları, taşıma ve dağıtım planlaması açısından tedarik zinciri yönetiminde büyük bir etkiye sahiptir. İşletmelerin çok sayıda tedarikçi ile çalışması satın alma ile ilgili riskleri en aza indirirken satın alma maliyetlerinde artışa yol açabilmektedir. Bu nedenle, tedarikçi seçiminin başlıca amacı, satın alma risklerini doğru kurgulayabilmek, işletmeler ve tedarikçiler arasında uzun vadeli ilişkiler kurabilmektir (Kumar, Vrat, & Shankar, 2006).

Tedarik zinciri yönetimine yeşil kavramının eklenmesiyle oluşturulan YTZY sürecinin temel amacı, ürünlerin satın alınması, imalatı, pazarlanması ve ürün yenilenmesi sırasında tedarikçilerden kaynaklanan çevre kirliliğini ve ortaya çıkan tehlikeli malzemeleri azaltmaktır. Çevresel sorunlar ve tehlikeli maddelerin gittikçe fazlalaşması, tehlikeli atıkların YTZY yardımı ile yönetilmesi konusunu da beraberinde getirmektedir. Özellikle, tedarikçiler tarafından sağlanan tehlikeli atıklar, tedarik zincirinde ciddi çevresel etkilere neden olabilmektedir. Tedarikçilerin çevresel performansının değerlendirmesi, YTS'nin ilk adımıdır. ISO 14000 standardı ve tehlikeli atıkların kontrolü gibi yönetmelik ve düzenlemeler düşük çevre performansına sahip olan tedarikçilerin kontrolü ve geliştirilmesi için hazırlanmış düzenlemelerden birkaçıdır. Bu gibi hükümet düzenlemeleri ve artan çevresel farkındalıktan güç alan işletmelerin, çevre koruma odaklılık nedeniyle çevresel sorunlarını göz ardı edemeyecekleri açıktır. Günümüzde tedarikçi seçimi popülerliğini korumakla birlikte geleneksel kriterlerin yerlerine enerji tüketimi, atık üretimi, iş sağlığı ve güvenliği gibi faktörler tedarikçi seçimine eklenmeye başlanmıştır (Liao, Fu, & Wu, 2016; Awasthi & Kannan, 2016).

Tedarik zincirinin çevresel performansı tedarikçilerin performansları tarafından önemli ölçüde etkilendiğinden YTS tedarik zinciri yönetimi için kritik bir faaliyettir. İşletmelerin uygun tedarikçi ile çalışması sadece ekonomik boyutları etkilemekle kalmaz aynı zamanda çevresel

boyutları da doğrudan etkiler. Bu nedenle, işletmeler olumsuz çevresel etkileri en aza indirgemek ve ekonomik performansı en üst düzeye çıkarmak için YTS'ne gerekli önemi göstermek zorundadırlar (Chen, Chou, Luu, & Yu, 2016).

Tedarik zinciri yönetiminde üretici ile tedarikçiler arasındaki koordinasyon tedarik zinciri ağındaki tüm aktörleri ilgilendirdiği için uygun tedarikçi seçimi zor ve önemli bir karardır. Günümüzde ÇKKV yöntemleri ile karar verme problemleri için birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Örneğin, Küçük Yılmaz, Kafalı ve Bal (2017) Anadolu Üniversitesi tarafından işletilen Hasan Polatkan Havalimanında uçuş ağı modelinin seçimi ve uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi sürecini ele almışlardır. Fayda, maliyet, fırsat ve risk gibi faktörleri dikkate alarak, Analitik Network Prosesi (ANP) yöntemi ile çözümü araştırmışlar ve elde edilen sonuçlara göre, en uygun alternatif uçuş hattını Eskişehir-İstanbul-Köln olarak bulmuşlardır. Özşahin (2015) CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) teknikleriyle Hatay için macera turizmi potansiyelinin coğrafi açıdan incelenmesini amaçlamıştır. Benzer şekilde Özşahin (2013) Cevizli Dere Havzası'nın yeraltı sularının içme ve sulama açısından kalitesinin ve dağılışının değerlendirilmesi için CBS yöntemlerini kullanmıştır. Ediz, Yıldızbaşı, ve Baytemur (2017) OHSAS 18001 ve ISO 45001 standartlarını inceleyerek performans ölçümünde kullanılabilecek 80 adet gösterge belirlemişler ve AHP yönteminden yararlanılarak daha az göstergeyle performans ölçümünün yapılabilirliğini araştırılmışlardır. Yıldızbaşı, Çalık, ve Paksoy (2017) yeşil şehirlerin değerlendirilmesi için biyoçeşitlilik ve ekosistem, altyapı ve ulaştırma, ormancılık, tarım, enerji alternatifleri ve binaların kullanımı gibi seçilmiş kriterler açısından bulanık AHP ve TOPSIS yöntemine dayalı hibrit bir yaklaşım önermişlerdir.

Birçok durumda karar vericiler karar kriterleri ve kısıtlar hakkında tam ve eksiksiz bilgiye sahip değildir. Bu tür durumlarda bulanık kümeler belirsizliği ele alabilmek için en iyi araçlardan birisidir. Birçok alanda olduğu gibi YTS'nde de bulanık küme teorisi yaygın bir biçimde kullanılmış ve YTS için çok sayıda yaklaşım geliştirilmiştir. Tuzkaya, Ozgen, Ozgen, ve Tuzkaya (2009), tedarikçilerin çevresel performansların değerlendirilmesi için bulanık ANP ve PROMETHEE yöntemlerine dayanan bir metodoloji sunmuşlardır. Bai ve Sarkis (2010), YTS için kaba set teorisine dayanan analitik bir değerlendirme önermişlerdir. Wen ve Chi (2010) YTS'i için yeşil, geleneksel ve ortaklık konularını dikkate alan entegre bir model oluşturmuşlardır. Oluşturulan modelde karbon ayak izi dikkate alınmış, AHP ve veri zarflama analizi yöntemleri tedarikçi seçimi için kullanılmıştır. Tseng (2011) çoklu YTZY kriterleri içeren modeli, dilsel tercihler ve eksik bilgi olduğu zaman uygun seçeneği seçmek için bulanık küme teorisi ile gri derecesinden yararlanmıştır. Önerilen model 16 kriter ve 4 alternatifin yer aldığı bir şirket üzerinde uygulanmış ve alternatiflerin sıralamaları elde edilmiştir. Shaw, Shankar, Yadav ve Thakur (2012) bulanık AHP ve BÇADP'yı kullanarak, karbon salınımı sorununu ele alan entegre bir yaklaşım önermişlerdir. Bulanık AHP çoklu faktörlerin ağırlıklarını analiz etmek için uygulanmış, faktörlerin bulunan ağırlıkları BÇADP'da kullanılarak tedarikçi seçimi ve sipariş dağıtımı yapılmıştır. Igarashi, de Boer, ve Fet. (2013) 1991-2011 yılları arasında hakemli dergilerde yayınlanan 60 makaleyi gözden geçirmişlerdir. YTS'nde mevcut çalışmalarda neler ele alınmış, YTS'nde hangi alanlar göz ardı edilmiş ve YTS'nde gelecekteki yayılımlar neler olabilir sorularına cevap aranmıştır. Kannan, Khodaverdi, Olfat, Jafarian, ve Diabat (2013) YTS problemlerini çözmek için bulanık AHP, bulanık TOPSIS ve çok-amaçlı doğrusal programlama yaklaşımlarını içeren melez bir model önermişlerdir. Max-min formülasyonu ile önerilen çok-amaçlı doğrusal programlama modelini tek-amaçlı doğrusal modeline dönüştürmüşlerdir. Nielsen, Banaeian, Golińska, Mobli, ve Omid (2014), YTS'nde ele alınabilecek kriterleri belirlemek ve öncelik vermek için yardımcı olabilecek bir çerçeve geliştirmişlerdir. Hashemi, Karimi ve Tavana (2015), YTS yaklaşımını ANP ve geliştirilmiş gri ilişkisel analiz ile ele almışlardır. Bhardwaj (2016) tedarik zinciri yönetiminde sürdürülebilirlik stratejisini geliştirmek için çevre politikalarının rolünü açıklamıştır. Bu amaçla Hindistan'da bulunan imalat ve hizmet firmasında yer alan 326 firmanın yanıtları incelenmiş ve değişkenler için geliştirilen hipotezler

regresyon analizi ile test edilmiştir. Yu ve Hou (2016) YTS için değiştirilmiş çarpımsal AHP yöntemini Qingdao'da iyi bilinen bir otomobil üretim şirketi üzerinde uygulamışlardır. 4 ana kriter, 14 alt kriter ve 5 alternatiften oluşan YTS için önerilen modele klasik AHP yöntemi uygulanmış ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Jindong, Xinwang ve Pedrycz (2017) TODIM yönteminin klasik davranış kararını kullanarak YTS için aralık tip-2 bulanık ortamda grup karar vermeye odaklanmışlardır. Yazdani, Chatterjee, Zavadskas, ve Hashemkhani Zolfani (2017) hem geleneksel kriterler hem de YTS kriterlerini aynı anda ele almak ve en iyi tedarikçiyi seçmek için entegre bir yaklaşım geliştirmişlerdir. DEMATEL, QFD modeli, COPRAS ve MOORA yöntemlerinden oluşan entegre bir yaklaşım, tanınmış bir İran süt şirketi için on alternatif yeşil tedarikçiyi değerlendirmek ve sıralamak için kullanılmıştır. Hamdan ve Cheaitou (2017) çok dönemli YTS ve sipariş dağıtım problemini çözmek için bir karar destek sistemi oluşturmuşlardır.

Amid, Ghodsypour, ve O'Brien, (2006) tedarikçi seçim problemlerinde çoklu kaynak ve kapasite kısıtları altında çeşitli kriterlere farklı ağırlıklar atamak için bulanık ağırlıklı toplamsal model yaklaşımını geliştirilmişlerdir. Bu model ile tedarikçi seçimindeki çeşitli kriterlere farklı ağırlık atanarak karar bilgilerinin modellemede kullanılabileceği gösterilmiştir. Amid, Ghodsypour, ve O'Brien (2009) kapasite ve talep kısıtları ile maliyetin, ret edilen maddelerin ve geç teslimatın minimize edilmesini içeren üç farklı amaç altında tedarikçi seçimini inceleyen karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Amid, Ghodsypour, ve O'Brien (2011) kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için AHP yönteminin kullanıldığı bulanık ağırlıklı toplamsal model yaklaşımı geliştirmişlerdir. Yücel ve Güneri (2011) her kriter için bulanık pozitif ideal değerlendirme ile bulanık negatif ideal değerlendirme arasındaki uzaklıkları kullanarak ağırlıkların elde edildiği yeni bir bulanık ağırlıklı toplamsal model yaklaşımı geliştirmişlerdir. Govindan ve Sivakumar (2016) kağıt endüstrisinde karbon emisyonunun azaltılmasını bir örnek olay olarak ele alan YTS ve sipariş dağıtımı için entegre bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Öncelikle, kriter ağırlıklarını belirlemek için bulanık TOPSIS yöntemini uygulamışlar daha sonra geliştirilen BÇADP modeli bulanık ağırlıklı toplamsal model yardımıyla tek-amaçlı doğrusal programlama modeline dönüştürülmüştür. Çalık, Paksoy, Yıldızbaşı ve Pehlivan. (2017) ağırlıklı Zimmermann yöntemi adı verilen yeni bir etkileşimli programlama yaklaşımını önermişler ve müttefik kapalı döngü tedarik zinciri ağı için yaklaşımın geçerliliğini sınamışlardır.

YTS için fiyat ve karbon performansı gibi faktörleri dikkate alan çalışmalar olmasına rağmen, enerji tüketimi, kusurlu parça ve atık üretimi gibi faktörleri göz önünde bulunduran YTS çalışmalar nadiren bulunmaktadır. YTS probleminde bahsedilen faktörlerin önemini gösterebilmek ve BÇADP yaklaşımları arasında bir karşılaştırma yapabilmek bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışmada, uygun yeşil tedarikçileri belirlemek ve aralarındaki sipariş dağıtımını belirlemek için iki aşama kullanılmıştır. Bu çalışmanın ilk aşamasında, çeşitli yeşil faktörleri ele alan yeni bir ÇADP modeli oluşturulmuştur. İkinci aşamada ise, BÇADP yaklaşımlarının karşılaştırması için farklı ağırlık değerlerine göre senaryo analizleri yapılmıştır. Bununla birlikte, karar vericilerin değişen yargılarının ÇADP modeli üzerinde etkisi olabileceğini göstermek için ÇKKV yöntemlerinden AHP yönteminin etkisi sayısal örnek için kullanılmıştır. AHP yönteminden elde edilen sonuçlar ile senaryo analizleri sonucunda elde edilen sonuçların karşılaştırması BÇADP yaklaşımları için yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde geliştirilen ÇADP modeline ilişkin varsayımlar, parametreler, karar değişkenleri ve model formülasyonu verilmiştir. Üçüncü bölümde, ÇADP modelinin çözümünde kullanılan BÇADP yaklaşımları ve amaç fonksiyonlarının ağırlığının hesaplanması açıklanmıştır. Dördüncü bölümde ise, YTS sayısal bir örnek üzerinde BÇADP yaklaşımlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise, YTS için sonuçlar ve öneriler ortaya konmuştur.

2. Çok-Amaçlı Doğrusal Programlama Modeli

YTS için geliştirilen ÇADP modelinin indeksleri, karar değişkeni ve parametreleri aşağıda sunulmuştur.

Varsayımlar

- Tedarikçiler tek bir ürün üretmektedir.
- Satın alma sırasında miktara göre indirim yapılmamaktadır.
- Müşteri talepleri tedarikçiler tarafından tümüyle karşılanmaktadır.

Tedarik zamanı, CO_2 salınımı, ortalama enerji tüketimi ve üretim sırasında açığa çıkan ortalama kirliliğin sabit olduğu kabul edilmiştir.

İndeksler

$\boldsymbol{i}$ Tedarikçiler kümesi, $i = 1,2,\dots,I$

$\boldsymbol{j}$ Amaçlar kümesi, $j = 1,2,\dots,J$

$\boldsymbol{k}$ Kısıtlar kümesi, $k = 1,2,\dots,K$

Karar değişkeni

$\boldsymbol{x_i}$ i. tedarikçiden sipariş edilen miktar (satın alınan birimlerin sayısı)

Parametreler

KE_i i. tedarikçi tarafından ürün üretimi sırasında açığa çıkan CO_2 salınımı

ET_i i. tedarikçi tarafından ürün üretimi sırasında ortaya çıkan ortalama enerji tüketimi

$A\ddot{U}_i$ i. tedarikçi tarafından ürün üretimi sırasında ortaya çıkan ortalama atık üretimi

KP_i i. tedarikçi için kusurlu parçaların yüzdesi

T sipariş edilen talep miktarı

Kap_i i. tedarikçinin kapasitesi

Kap^{CO_2} maksimum CO_2 salınımı

MKP maksimum kusurlu parça oranı

Model

$$Min\ (Karbon\ emisyonu)\ Z_1 = \sum_{i=1}^{I} KE_i \cdot x_i \quad (1)$$

$$Min\ (Enerji\ Tüketimi)\ Z_2 = \sum_{i=1}^{I} ET_i \cdot x_i \quad (2)$$

$$Min\ (Atık\ Üretimi)\ Z_3 = \sum_{i=1}^{I} A\ddot{U}_i \cdot x_i \quad (3)$$

$$Min\ (Kusurlu\ Parça)\ Z_4 = \sum_{i=1}^{I} KP \cdot x_i \quad (4)$$

$$x_i \leq Kap_i \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{I} x_i \geq T \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{I} KE_i \cdot x_i \leq Kap^{CO_2} \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{I} KP \cdot x_i \leq MKP \quad (8)$$

$$x_i \geq 0 \quad i = 1,2,\dots,I \quad (9)$$

Eşitlik (1) CO_2 salınımını, Eşitlik (2) ortalama enerji tüketimini, Eşitlik (3) ortalama atık üretimini ve Eşitlik (4) tedarikçilerden alınan kusurlu parçaların yüzdesinin minimum yapılmasını amaçlamaktadır. Eşitlik (5) tedarikçilerden gönderilen miktarın ilgili tedarikçinin kapasitesine eşit veya kapasitesinden daha küçük olacağını göstermektedir. Eşitlik (6) taleplerin sağlanması gerektiğini ifade etmektedir. Eşitlik (7) ürün üretimi sırasında oluşan CO_2 salınımının üst sınırını, Eşitlik (8) tedarikçiden kabul edilebilir kusurlu parça oranının üst sınırını ve Eşitlik (9) karar değişkenine ait işaret kısıtını göstermektedir.

3. Çok-Amaçlı Doğrusal Programlama Modelinin Çözümü

Geliştirilen ÇADP modelini çözmek ve modeli tek-amaçlı doğrusal programlama modeline dönüştürmek için BÇADP yaklaşımları kullanılmıştır. BÇADP yaklaşımları, tedarikçi seçimi problemlerinde birçok araştırmacı tarafından büyük ilgi görmüştür. Bu nedenle, ÇADP modelini çözmek ve aralarında karşılaştırma yapmak için üç yaklaşım kullanılmıştır: Zimmermann (1978), Tiwari, Dharmar, ve Rao (1987) ve Lin (2004). Bu yaklaşımların model formülasyonları aşağıda verilmiştir.

3.1.1. Zimmermann (1978) Yaklaşımı

Zimmermann (1978) bulanık küme teorisi ile geleneksel doğrusal programlamayla birleştirdikten sonra, birçok yazar yeni bulanık programlama yaklaşımları geliştirmişlerdir. Zimmermann (1978) tarafından önerilen max-min yaklaşımı aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
&\text{maks}\, \lambda \\
&\lambda \leq \mu_{Z_j}(x) \qquad j = 1, \cdots, J \\
&\lambda \in [0,1] \qquad x \in X.
\end{aligned} \tag{10}$$

burada j bulanık amaçları, $\mu_{Z_j}(x)$ j. amacın tatmin seviyesini (üyelik fonksiyonu değerini) ve λ minimum tatmin seviyesini göstermektedir.

3.1.2. Tiwari, Dharmar, ve Rao (1987) Yaklaşımı

Ağırlıklı toplamsal model Tiwari, Dharmar, ve Rao (1987) tarafından önerilmiş ve aşağıda verilmiştir (Amid, Ghodsypour, ve O'Brien, 2006; Shaw, Shankar, Yadav, ve Thakur, 2012):

$$\begin{aligned}
&\text{Maks} \sum_{j=1}^{J} w_j \cdot \lambda_j + \sum_{k=1}^{K} \beta_k \cdot \gamma_k \\
&\lambda_j \leq \mu_{Z_j}(x) \qquad j = 1,2, \dots, J \\
&\gamma_k \leq \mu_{g_k}(x) \qquad k = 1,2, \dots, K \\
&g_p(x) \leq b_p \qquad p = 1,2, \dots, M \\
&\lambda_j, \gamma_k \in [0,1] \quad j = 1,2, \dots, J \text{ ve } k = 1,2, \dots, K \\
&\sum_{j=1}^{J} w_j + \sum_{k=1}^{K} \beta_k = 1 w_j, \beta_k \geq 0 \\
&x_i \geq 0 \qquad i = 1,2, \dots, n
\end{aligned} \tag{11}$$

3.1.3. Lin (2004) Ağırlıklı Max-Min Yaklaşımı

Lin (2004), amaç fonksiyonlarının tatmin seviyelerinin amaçların ağırlık veya önem derecesine yakın olacağı şeklinde ağırlıklı bir max-min modelini önermiştir. Bu model aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir:

$$\begin{aligned}
&\text{maks}\,\lambda \\
&w_j\lambda \le \mu_{Z_j}(x) \quad j = 1,\cdots,J \\
&g_p(x) \le b_p \qquad p = 1,2,\dots,M \\
&\lambda \in [0,1] \\
&\textstyle\sum_{j=1}^{J} w_j = 1 \qquad w_j \ge 0 \\
&x_i \ge 0 \qquad\qquad i = 1,2,\dots,n
\end{aligned} \tag{12}$$

3.2. Amaç Fonksiyonlarının Ağırlığının Hesaplanması

Tiwari, Dharmar, ve Rao (1987) ve Lin (2004)'ün BÇADP yaklaşımlarında ağırlıkların hesaplanabilmesi için birçok ÇKKV yöntemi kullanılabilmektedir. Bu çalışmada, BÇADP yaklaşımlarının karşılaştırılmasının yanında elde edilecek ağırlıklarının modelin çözümünü nasıl etkileyeceği de ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Öncelikle eşit ağırlıklar ile çözüme başlanmış, daha sonra senaryo analizleri ile çözümlerin değişimi test edilmiştir. Ayrıca, geliştirildiği günden beri birbirleriyle çelişkili kriterlerin değerlendirilmesini ele alan AHP yönteminin de çözüme etkisi araştırılmıştır. AHP sayesinde karar verme problemleri amaçtan kriterlere kadar hiyerarşik bir yapı içinde gösterebilmektedir. Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra kriterlerin ağırlığı hesaplanabilmektedir. Saaty (1980)'nin 1-9 ölçeği kullanılarak kriterlerin ikili karşılaştırması elde edilebilmekte ve daha sonra karşılaştırma matrisleri tutarlı ise kriterlerin ağılıkları hesaplanabilmektedir.

4. Sayısal Örnek

Bu bölümde, öncelikle, geliştirilen BÇADP modeli Zimmermann (1978), Tiwari, Dharmar, ve Rao (1987) ve Lin (2004) yaklaşımları ile amaç fonksiyonlarına eşit ağırlıklar atayarak analiz edilmiştir. Daha sonra Tiwari, Dharmar, ve Rao (1987) ve Lin (2004) yaklaşımları için senaryo analizi yapılmıştır. Son olarak, önerilen BÇADP problemi üzerinde karar vericilerin görüşlerinin etkisi AHP yöntemi ile araştırılmıştır.

4.1. Geliştirilen ÇADP Modelinin Farklı Yaklaşımlar ile Çözümü

Piyasaya yeni bir ürün sunmak isteyen bir işletmenin gerekli parçayı tedarik etmek için dört tedarikçi ile çalışması gerektiğini varsayalım. Tedarikçilere ait veriler, kapasite kısıtları ve gerekli parametreler aşağıda verilmiştir. Üreticinin talebinin 500 ton, geç telim için üst sınır %35 (talebin en fazla %35'inin geç gelmesine izin verilmiştir), maksimum CO_2 salınımının 9000 (kg) olduğu varsayımı altında dört tedarikçi değerlendirmeye alınmıştır. Model ile ilgili diğer veriler Tablo 1'de belirtildiği gibidir.

Tablo 1. Tedarikçilere ait veriler

Tedarikçi	CO_2 salınımı (kg)	Enerji Tüketimi (TEP-TOE/ton)	Atık Üretimi (ton/yıl)	Kusurlu Parça (Yüzde)	Karbon Kapasitesi (kg)	Üretim Kapasitesi (kg)
1	2.432	1.8	2.0	0.08	968.385	150
2	1.863	2.0	2.5	0.20	475.561	260
3	2.023	1.6	2.25	0.14	560.189	300
4	1.989	1.75	1.8	0.25	750.864	400

Sayısal örneğin geliştirilen ÇADP modeli aşağıdaki gibi elde edilmektedir:

$$Min\ Z_1 = 2.432 \cdot x_1 + 1.863 \cdot x_2 + 2.023 \cdot x_3 + 1.989 \cdot x_4$$

$$Min\ Z_2 = 1.8 \cdot x_1 + 2.0 \cdot x_2 + 1.6 \cdot x_3 + 1.75 \cdot x_4$$

$$Min\ Z_3 = 2.0 \cdot x_1 + 2.5 \cdot x_2 + 2.25 \cdot x_3 + 1.8 \cdot x_4$$

$$Min\ Z_4 = 0.08 \cdot x_1 + 0.20 \cdot x_2 + 0.14 \cdot x_3 + 0.25 \cdot x_4$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \geq 500$$

$$x_1 \leq 150$$

$$x_2 \leq 260$$

$$x_3 \leq 300$$

$$x_4 \leq 400$$

$$2.432 \cdot x_1 + 1.863 \cdot x_2 + 2.023 \cdot x_3 + 1.989 \cdot x_4 \leq 9000$$

$$0.08 \cdot x_1 + 0.20 \cdot x_2 + 0.14 \cdot x_3 + 0.25 \cdot x_4 \leq 175$$

$$x_i \geq 0 \quad i = 1,2,\dots,4 \tag{13}$$

BÇADP yaklaşımları için öncelikle her bir amaç tek başına çözülerek amaçlara ilişkin ödünleşme tablosu elde edilir. Her bir amaç fonksiyonu, (5) - (9) kısıtları altında 2.67 GHz işlemcili ve 3 GB RAM'e sahip bilgisayarda GAMS-CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmüş ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Tablo 2. Her bir amaç için ödünleşme tablosu

Amaç fonksiyonu	$\mu = 1$	$\mu = 0$
Z_1	961.74	2005.044
Z_2	830	1753
Z_3	920	2121.80
Z_4	64	175

Elde edilen bu verilere göre her bir amaca ait üyelik fonksiyonları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

$$\mu_1(Z_1(x)) = \begin{cases} 1, & Z_1(x) \leq 961.74 \\ \frac{2005.044 - Z_1(x)}{2005.044 - 961.74}, & 961.74 \leq Z_1(x) \leq 2005.044 \\ 0, & Z_1(x) \geq 2005.044 \end{cases} \quad (14)$$

$$\mu_2(Z_2(x)) = \begin{cases} 1, & Z_2(x) \leq 830 \\ \frac{1753 - Z_2(x)}{1753 - 830}, & 830 \leq Z_2(x) \leq 1753 \\ 0, & Z_2(x) \geq 1753 \end{cases} \quad (15)$$

$$\mu_3(Z_3(x)) = \begin{cases} 1, & Z_3(x) \leq 920 \\ \frac{2121.80 - Z_3(x)}{2121.80 - 920}, & 920 \leq Z_3(x) \leq 2121.80 \\ 0, & Z_3(x) \geq 2121.80 \end{cases} \quad (16)$$

$$\mu_4(Z_4(x)) = \begin{cases} 1, & Z_4(x) \leq 64 \\ \frac{175 - Z_4(x)}{175 - 64}, & 64 \leq Z_4(x) \leq 175 \\ 0, & Z_4(x) \geq 175 \end{cases} \quad (17)$$

Yukarıda elde edilen üyelik fonksiyonları ve λ minimum tatmin seviyesi değişkeninin modele eklenmesi ile BÇADP modeli Zimmermann (1978) yaklaşımı ile aşağıdaki gibi tek-amaçlı doğrusal programlama modeline dönüştürülür.

$Max\ \lambda$

$$\lambda \leq \mu_1(Z_1(x)) = \frac{2005.044 - Z_1(x)}{2005.044 - 961.74}$$

$$\lambda \leq \mu_2(Z_2(x)) = \frac{1753 - Z_2(x)}{1753 - 830}$$

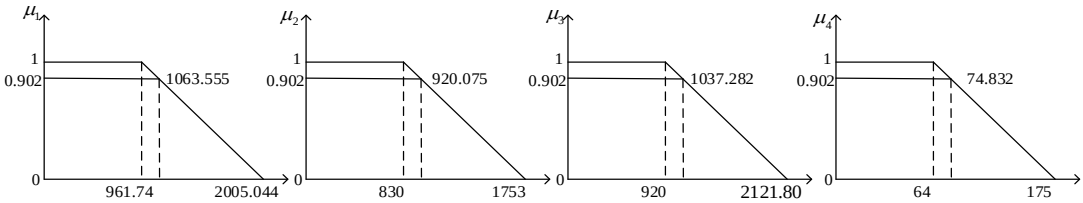
$$\lambda \leq \mu_3(Z_3(x)) = \frac{2121.80 - Z_3(x)}{2121.80 - 920}$$

$$\lambda \leq \mu_4(Z_4(x)) = \frac{175 - Z_4(x)}{175 - 64}$$

Kısıtlar (5) - (9)

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (18)$$

Yukarıda verilen tek-amaçlı doğrusal programlama problemi GAMS-CPLEX 24.0.1 paket programında çözülmüş ve elde edilen optimal sonuçlarına göre minimum tatmin seviyesi $\lambda = 0.902$ ve olarak bulunmuştur. Şekil 1 optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerlerini göstermektedir. Bu sonuçlara göre birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü amaçlar minimum tatmin seviyesi olan 0.902'e eşit çıkmaktadır.



Şekil 1. Optimal amaç ve üyelik fonksiyonu değerleri

YTS için geliştirilen BÇADP modeli Tiwari, Dharmar, ve Rao (1978) ve Lin (2004) tarafından önerilen yaklaşımlar ve her bir amacın eşit ağırlığa sahip olduğu varsayımı altında çözülerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Zimmmerman (1978) yaklaşımında amaç fonksiyonlarına ait üyelik fonksiyonu değerleri aynı çıkarken diğer yaklaşımlarda farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu durum amaç fonksiyonlarına atanan ağırlıklardan kaynaklanabileceği için senaryo analizi ile optimal çözüm ve üyelik fonksiyonlarındaki değişim incelenmiştir.

Tablo 3. BÇADP yaklaşımlarından elde edilen sonuçlar

	Zimmermann (1978)	Tiwari, Dharmar, ve Rao (1987)	Lin (2004)
x_1	137.144	150	150
x_2	–	300	–
x_3	244.119	–	–
x_4	118.737	50	350
μ_1	0.902	0.895	0.905
μ_2	0.902	0.992	0.943
μ_3	0.902	0.879	0.992
μ_4	0.902	0.977	0.680
Z_1	1063.555	1071.15	1060.950
Z_2	845.239	837.5	882.500
Z_3	1037.282	1065	930
Z_4	74.832	66.5	99.50

4.2. BÇADP Yaklaşımları için Senaryo Analizi

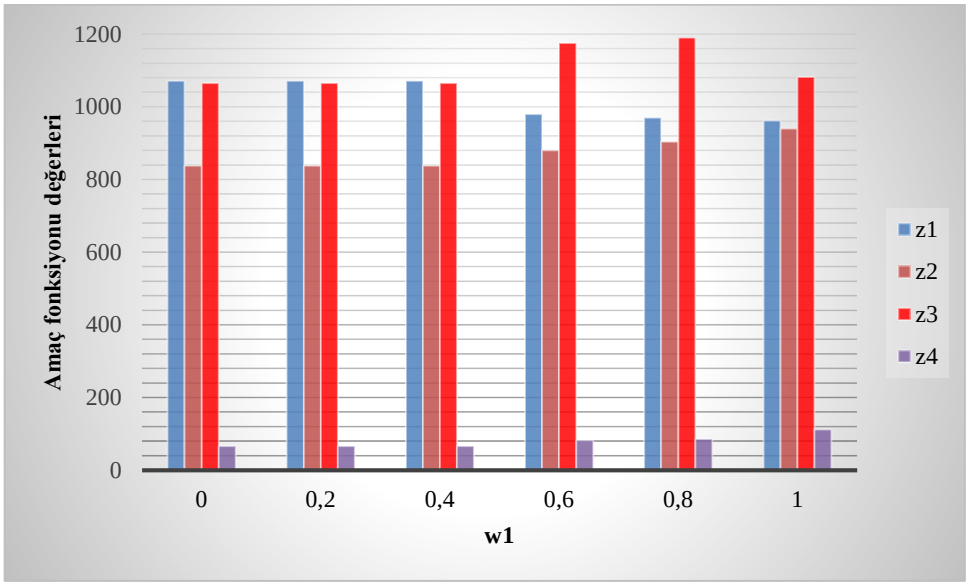
Amaçlara atanan ağırlıklar değiştirildiğinde optimal çözümün ve üyelik fonksiyonu değerlerinin nasıl değiştiğini görmek için senaryo analizi uygulanmıştır. Başka bir ifade ile amaç fonksiyonlarının ağırlığındaki değişimin model ve üyelik fonksiyonları üzerindeki etkisini görebilmek için senaryo analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizde, bir amacın belirli ağırlık değerine göre, diğer amaçların ağırlıkları orantılı olarak elde edilmiştir. Örneğin, birinci amacın ağırlığı 0.20 kabul edilerek diğer amaçların ağırlıkları şu şekilde hesap edilebilir: Diğer amaçlar için kalan ağırlık değeri $1 - 0.2 = 0.8$ olur. Geri kalan amaçlara ağırlık değerleri eşit olarak dağıtılır: $\frac{0.80}{3} = 0.266$. Bulunan amaçların ağırlıkları, ele alınan BÇADP yaklaşımlarında kullanarak sonuçlar yeniden hesaplanmıştır.

4.1.1. Amaç Fonksiyonlarının Ağırlıklarının Tiwari, Dharmar, ve Rao (1987) Yaklaşımına Etkisi

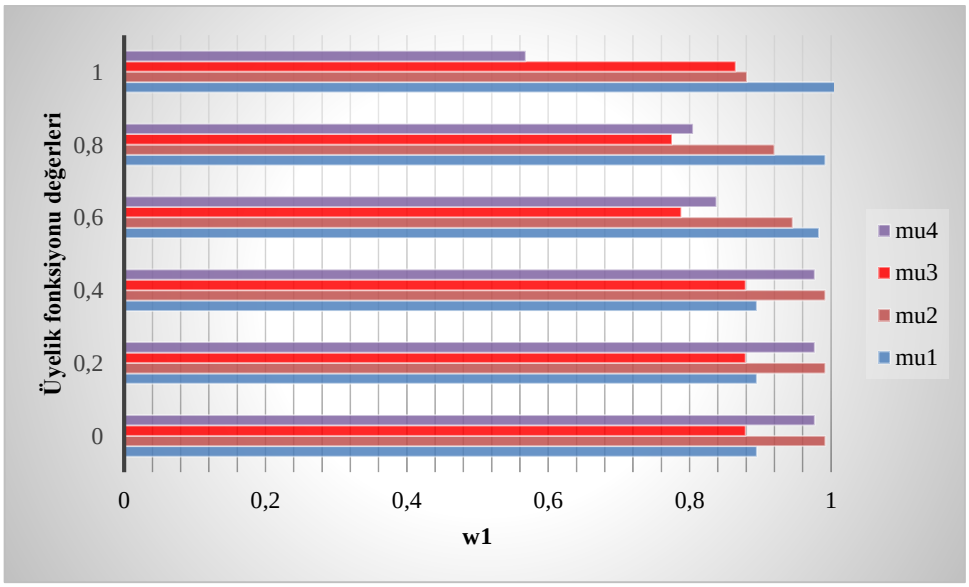
Amaç fonksiyonlarına verilen ağırlık değerlerinin model üzerindeki etkisini ölçebilmek amacıyla, her bir amacın ağırlık değeri $[0,1]$ aralığında 0.20 artırılmış ve Tablo 4'te verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4. Birinci amaç fonksiyonu ağırlığının değişimi altında elde edilen sonuçlar

W_1	$W_2 = W_3 = W_4$	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
0	0.33	1071.15	837.50	1065	66.50	0.895	0.992	0.879	0.977
0.2	0.266	1071.15	837.50	1065	66.50	0.895	0.992	0.879	0.977
0.4	0.20	1071.15	837.50	1065	66.50	0.895	0.992	0.879	0.977
0.6	0.133	979.50	880	1175	82	0.983	0.946	0.788	0.838
0.8	0.066	969.90	904	1190	85.60	0.992	0.920	0.775	0.805
1	0	961.74	940	1082	112	1.000	0.881	0.865	0.568



Şekil 2. Birinci amaç fonksiyonu ağırlığının değişimi altında amaç fonksiyonundaki değişimler



Şekil 3. Birinci amaç fonksiyonu ağırlığının değişimi altında üyelik fonksiyonundaki değişimler

Tablo 4 ve Şekil 2-3'de verilen sonuçlar incelendiğinde, $w_1 = 0.6$ değerinden sonra amaç fonksiyonu değerlerinde bir değişim olduğu gözükmektedir. $w_1 = 0$ değerinde amaç fonksiyonu değeri birinci amaç fonksiyonu için 1071.15 iken $w_1 = 1$ değerinde bu değer 961.74 olmuştur. Yani birinci amaç fonksiyonu için amaç fonksiyonunda %10'luk bir azalış meydana gelmiştir. Amaç fonksiyonundaki bu azalış, birinci amacın üyelik fonksiyonu değerinde yaklaşık %10'luk bir artışa neden olmuştur. Dördüncü amaç fonksiyonunda ise tam tersi bir durum gerçekleşmiştir. Üyelik

fonksiyonu değerindeki yaklaşık %40'lık azalma amaç fonksiyonunda yaklaşık %65'lik bir artışa sebep olmuştur.

Tablo 5. İkinci amaç fonksiyonu ağırlığının değişimi altında elde edilen sonuçlar

W_2	$W_1 = W_3 = W_4$	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
0	0.33	1071.15	837.50	1065	66.50	0.895	0.992	0.879	0.977
0.2	0.266	1071.15	837.50	1065	66.50	0.895	0.992	0.879	0.977
0.4	0.20	1071.15	837.50	1065	66.50	0.895	0.992	0.879	0.977
0.6	0.133	1071.15	837.50	1065	66.50	0.895	0.992	0.879	0.977
0.8	0.066	1071.15	837.50	1065	66.50	0.895	0.992	0.879	0.977
1	0	1004.70	830	1035	92	0.959	1	0.904	0.748

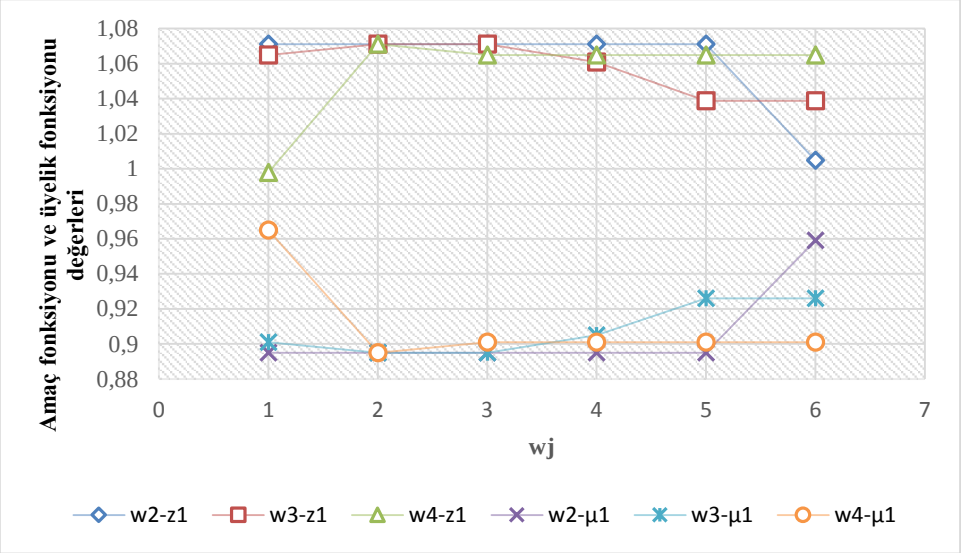
Tablo 6. Üçüncü amaç fonksiyonu ağırlığının değişimi altında elde edilen sonuçlar

W_3	$W_1 = W_2 = W_4$	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
0	0.33	1064.85	850	1100	64	0.901	0.978	0.850	1
0.2	0.266	1071.15	837.50	1065	66.50	0.895	0.992	0.879	0.977
0.4	0.20	1071.15	837.50	1065	66.50	0.895	0.992	0.879	0.977
0.6	0.133	1060.95	882.50	930	99.50	0.905	0.943	0.992	0.680
0.8	0.066	1038.80	880	920	108	0.926	0.946	1	0.604
1	0	1038.80	880	920	108	0.926	0.946	1	0.604

Tablo 7. Dördüncü amaç fonksiyonu ağırlığının değişimi altında elde edilen sonuçlar

W_4	$W_1 = W_2 = W_3$	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
0	0.33	997.90	860	945	114	0.965	0.967	0.979	0.550
0.2	0.266	1071.15	837.50	1065	66.50	0.895	0.992	0.879	0.977
0.4	0.20	1064.85	850	1100	64	0.901	0.978	0.850	1
0.6	0.133	1064.85	850	1100	64	0.901	0.978	0.850	1
0.8	0.066	1064.85	850	1100	64	0.901	0.978	0.850	1
1	0	1064.85	850	1100	64	0.901	0.978	0.850	1

Diğer amaç fonksiyonlarındaki değişimler Tablo 5-7 arasında verilmiştir. İkinci ve dördüncü amaç fonksiyonları ağırlıklarının değişiminin amaç fonksiyonları değerleri ve üyelik fonksiyonları değerleri üzerinde etkisi olmadığı söylenebilir. Bununla birlikte, üçüncü amaç fonksiyonu ağırlığının değişiminin model üzerinde farklılıklar yarattığı söylenebilir. Örneğin, amaç fonksiyonu ağırlığını 0'dan 1'e kadar değiştirdiğimizde üçüncü amaç fonksiyonunun üyelik fonnsiyonu değerinde yaklaşık %18'lik bir artış meydana gelmektedir.



Şekil 4. Ağılıklardaki değişimim birinci amaç fonksiyonuna etkisi

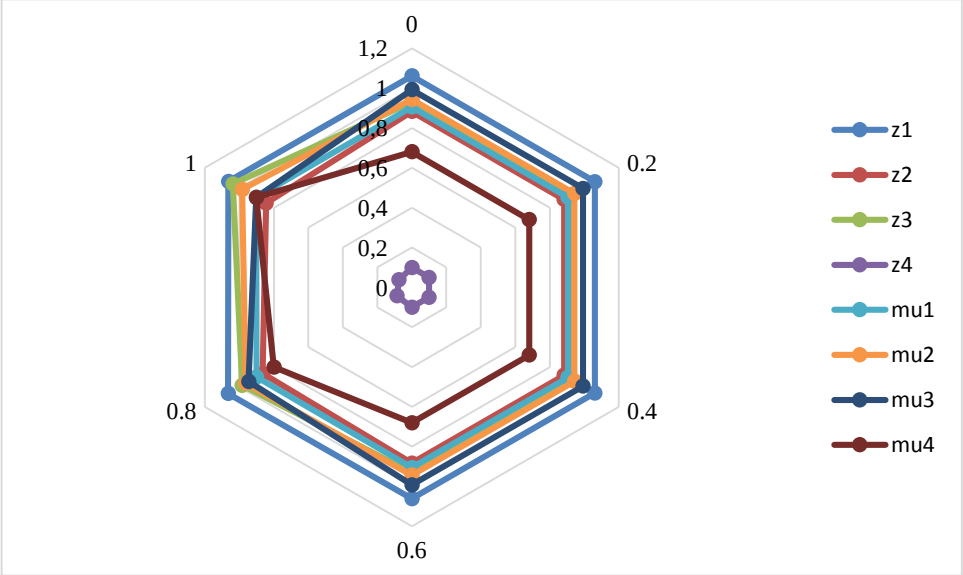
Ağırlıklardaki değişimin birinci amaç fonksiyonu üzerindeki etkisi Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4'de elde edilen amaç fonksiyonu değerleri 1000 ile bölünerek amaç fonksiyonlarının ve üyelik fonksiyonlarının aynı şekilde yer alması sağlanmıştır. Birinci amaç için (Z_1); $W_1 = 1$ olduğunda en iyi amaç fonksiyonu değerine 961.74 (Tablo 4) değeri ile birinci amaç fonksiyonunda ulaşılırken, en kötü amaç fonksiyonu değerine 1071.15 değeri ile aynı amaç fonksiyonunda ulaşılabilmektedir. Üyelik fonksiyonu değeri içinde benzer bir durum söz konusudur. Ağırlık değerleri 0'dan 1'e kadar değiştirildiğinde en iyi üyelik fonksiyonu değeri dördüncü amaç fonksiyonundan birinci amaç fonksiyonuna geçmektedir.

4.1.2. Amaç Fonksiyonlarının Ağırlıklarının Lin (2004) Yaklaşımına Etkisi

Amaç fonksiyonlarına verilen ağırlık değerlerinin Lin (2004) yaklaşımı üzerindeki etkisini ölçebilmek amacıyla, her bir amacın ağırlık değeri [0,1] aralığında 0.20 artırılmış ve aşağıdaki tablo ve grafiklerde verilen sonuçlar elde edilmiştir. Lin (2004) yaklaşımı için verilen sonuçlar incelendiğinde, 0.8 ağırlık değerinden önce amaç fonksiyonları ve üyelik fonksiyonları değerlerinin değiştiği 0.8'den küçük ağırlık değerlerinde aynı sonuçların elde edildiği görülmektedir. Ağırlık değeri 0'dan 1'e kadar değiştirildiğinde en iyi üyelik fonskiyonu değeri ikinci amaç için elde edilirken, en kötü üyelik fonksiyonu değeri birinci amaç için elde edilmiştir.

Tablo 8. Birinci amaç fonksiyonu ağırlığının değişimi altında elde edilen sonuçlar

W_1	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
0	1060.95	882.50	930	99.50	0.905	0.943	0.992	0.680
0.2	1060.95	882.50	930	99.50	0.905	0.943	0.992	0.680
0.4	1060.95	882.50	930	99.50	0.905	0.943	0.992	0.680
0.6	1060.95	882.50	930	99.50	0.905	0.943	0.992	0.680
0.8	1065.06	864.36	984.41	86.20	0.901	0.963	0.946	0.800
1	1063.55	845.24	1037.28	74.83	0.902	0.983	0.902	0.902



Şekil 5. Ağırlığın değişiminin Lin (2004) yaklaşımına etkisi

4.3. Geliştirilen ÇADP Modelinin AHP Yöntemi ile Çözümü

Geliştirildiği günden beri karar vericiler tarafından rahatlıkla birçok probleme uygulanabilen AHP yöntemi tedarikçi seçiminde de sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Govindan, Rajendran, Sarkis, ve Murugesan (2015)'na göre en yaygın olarak kullanılan ÇKKV yaklaşımı AHP'dir. Ayrıca AHP yöntemi hiyerarşik yapıya sahip karar verme problemlerinde ağırlıkların dağıtılmasında ikili karşılaştırmaları esas aldığı için çeşitli avantajlara sahiptir. Bu nedenle bu çalışmada kriter ağırlıklarını elde edebilmek için AHP yöntemi de kullanılmıştır.

AHP yöntemi üç adımdan oluşmaktadır: İlk adımda kriter, bu kriterlere ilişkin alt kriterler ve alternatifler belirlenerek hiyerarşik yapı oluşturulur. İkinci adımda, ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Son adımda ise her kriterin ağırlıkları hesap edilir. Amaç fonksiyonundaki ağırlıkların elde edilebilmesi için Tablo 9'da verilen 1-9 arasındaki sayılardan oluşan önem ölçeği kullanılmıştır.

Tablo 9. AHP yönteminde kullanılan önem ölçeği

Ölçek	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önem	İki faaliyet amaca eşit şekilde katkıda bulunur.
2	Zayıf	……Eşit ve Orta arasında
3	Orta derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine çok az derecede tercih ettirir.
4	Orta Üstü	……Orta ve Kuvvetli arasında
5	Kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli derecede tercih ettirir.
6	Kuvvetli Üstü	……Kuvvetli ve Çok Kuvvetli arasında
7	Çok kuvvetli ya da baskın derecede önemli	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih edilir ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülür.
8	Çok çok kuvvetli	……Çok Kuvvetli ve Aşırı Kuvvetli arasında
9	Aşırı derecede önemli	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük güvenirliliğe sahiptir.

Geliştirilen ÇADP modelinde yer alan kriterler (amaçlar) tedarikçi seçiminde uzman olan üç akademisyen tarafından değerlendirilerek aşağıdaki toplanmış ikili karşılaştırma matrisi elde edilmiştir. Burada karar vericilerin görüşleri geometrik ortalama ile birleştirilmiştir.

Tablo 10. Kriterlerin toplanmış ikili karşılaştırma matrisi

	KE	**ET**	**AÜ**	**KP**
KE	1	2.15	1.26	2.88
ET	0.46	1	0.5	1.39
AÜ	0.79	2	1	1.82
KP	0.35	0.72	0.55	1

Tablo 10'da verilen ikili karşılaştırma matrisi kullanılarak kriterlerin ağırlıkları $0.385, 0.174, 0.301$ ve 0.141 bulunmuştur. YTS için kriterlerin sıralaması karar vericilere göre $Karbon\ Emisyonu > Atık\ Üretimi > Enerji\ Tüketimi > Kusurlu\ Parça$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler BÇADP modelinde kullanılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 11. AHP yöntemi ile elde edilen sonuçlar

	Zimmermann (1978)	Tiwari, Dharmar, ve Rao (1987)	Lin (2004)
x_1	137.144	–	150
x_2	–	–	–
x_3	244.119	300	–
x_4	118.737	200	350
μ_1	0.902	0.959	0.995
μ_2	0.902	1	0.943
μ_3	0.902	0.904	0.992
μ_4	0.902	0.748	0.680
Z_1	1063.555	1074.70	1060.950
Z_2	845.239	830	882.500
Z_3	1037.282	1035	930
Z_4	74.832	92	99.50

Tablo 11, BÇADP yaklaşımlarından elde edilen çözümleri karşılaştırmaktadır. Zimmermann'ın ağırlıksız yaklaşımı için kriterler arasında hiçbir fark yoktur ve kriterlerin eşit derecede ağırlıklandırılması sonucunda amaç fonksiyonlarının üyelik fonksiyonu değerleri 0.902 olarak bulunmuştur. Tablo 11'de verilen sonuçlar incelendiğinde Tiwari, Dharmar, ve Rao (1987)'nin ağırlıklı toplamsal model yaklaşımının karar vericilerin görüşleri ile çelişkili sonuçlar verdiği görülmektedir. Karar vericiler en önemli kriter olarak birinci kritere 0.385 ağırlığını verirken ikinci üyelik fonksiyonu değeri (1) birinci üyelik fonksiyonu değerinden (0.959) yüksek çıkmıştır. Ancak, Lin (2004) yaklaşımında bu tutarsızlık giderilmiştir. En yüksek ağırlığa sahip amaç fonksiyonu yine en yüksek tatmin seviyesine sahip çıkmıştır. BÇADP yaklaşımlarının karşılaştırılması sonucunda, Lin (2004) yaklaşımı karar vericilerin görüşlerinden elde edilen ağırlıklar ile elde edilen üyelik fonksiyonu değerlerinin sıralamasının aynı olacağı optimal bir çözüm bulmayı başarabildiğini ortaya koymaktadır. Yani elde edilen çözümler karar vericilerin tercihleri (yargıları) ile bağlantılı olduğu için diğer çözümlerden daha tutarlıdır.

5. Sonuç

YTS problemi, üreticilerin performansını doğrudan etkileyen YTZY'ndeki en önemli konulardan birisidir. Bu açıdan bakıldığında, yeni bir YTS modelinin geliştirilmesi ve uygun tedarikçiye karar vermek için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması büyük önem taşımaktadır. Genel olarak, YTS problemi belirsizlik içermekte ve dolayısıyla bulanık küme teorisi karar vericilerin görüşlerini ve deneyimlerini elde etmeye ve buradan anlamlı sonuçlara dönüştürmeye yardımcı olmaktadır. YTS probleminin çözümü için birçok BÇADP yaklaşımı önerilmiş olsa da, bu yöntemlerin karşılaştırılmasını ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

BÇADP yaklaşımları amaçların önemini ortaya çıkarmak ve karar vericilerin tercihlerini tek bir amaç fonksiyonu kullanarak ifade etmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yaklaşımlarda, her amacın üyelik fonksiyonu, bunlara karşılık elde edilen ağırlıklar ile çarpılarak doğrusal ağırlıklı bir amaç fonksiyonu elde edilmesini hedef almaktadır. Bu çalışmada, YTS problem için enerji tüketimi, kusurlu parça ve atık üretimi gibi kriterler ile yeni bir ÇADP modeli geliştirilmiştir. Daha sonra karar vericilerin tercihlerinin model üzerindeki etkisini araştırmak için BÇADP yaklaşımlarının karşılaştırması yapılmıştır. Son olarak, geliştirilen modelin ve karar vericilerin tercihlerinin daha iyi yansıtılabilmesi için ÇKKV yöntemlerinden AHP yöntemi ile karşılaştırmalı bir analiz yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlar, Lin (2004) yaklaşımının Tiwari, Dharmar, ve Rao (1987) ve Zimmermann (1978) yaklaşımlarından daha makul ve kabul edilebilir çözümler sunduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

Amid, A., Ghodsypour, S. H., & O'Brien, C. (2006). Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain. *International Journal of Production Economics, 104*(2), 394–407.

Amid, A., Ghodsypour, S. H., & O'Brien, C. (2009). A weighted additive fuzzy multiobjective model for the supplier selection problem under price breaks in a supply Chain. *International Journal of Production Economics, 121*(2), 323–332.

Amid, A., Ghodsypour, S. H., & O'Brien, C. (2011). A weighted max–min model for fuzzy multi-objective supplier selection in a supply chain. *International Journal of Production Economics, 131*(1), 139–145.

Awasthi, A., & Kannan, G. (2016). Green supplier development program selection using NGT and VIKOR under fuzzy environment. *Computers & Industrial Engineering, 91*, 100–108.

Bai, C., & Sarkis, J. (2010). Green supplier development: Analytical evaluation using rough set theory. *Journal of Cleaner Production, 18*(12), 1200–1210.

Bhardwaj, B. R. (2016). Role of green policy on sustainable supply chain management: A model for implementing corporate social responsibility (CSR). , *Benchmarking: An International Journal, 23* (2), 456-468.

Çalık, A., Paksoy, T., Yıldızbaşı A., & Pehlivan, N. Y. (2017). A decentralized model for allied closed-loop supply chains: comparative analysis of interactive fuzzy programming approaches. *International Journal of Fuzzy Systems, 19*(2), 367–382.

Chen, H. M. W., Chou, S.-Y., Luu, Q. D., & Yu, T. H.-K. (2016). A Fuzzy MCDM Approach for Green Supplier Selection from the Economic and Environmental Aspects. *Mathematical Problems in Engineering,* vol. 2016, Article ID 8097386, 10 pages.

Ediz, A., Yıldızbaşı A., & Baytemur, E. (2017). Assessment of Occupational Health and Safety

Management System Performance Indicators with Ahp, *International Journal of Social Science*, 62, 275-294.

Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J., & Murugesan, P. (2015). Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, *98*, 66–83.

Govindan, K., & Sivakumar, R. (2016). Green supplier selection and order allocation in a low-carbon paper industry: Integrated multi-criteria heterogeneous decision-making and multi-objective linear programming approaches. *Annals of Operations Research*, *238*, 243-276.

Hamdan, S., & Cheaitou, A. (2017). Supplier selection and order allocation with green criteria: An MCDM and multi-objective optimization approach, *Computers and Operations Research*, *81*, 282–304.

Hashemi, S. H., Karimi, A., & Tavana, M. (2015). An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relational analysis. *International Journal of Production Economics*, *159*, 178–191.

Igarashi, M., de Boer, L., & Fet, A. M. (2013). What is required for greener supplier selection? A literature review and conceptual model development. *Journal of Purchasing Land Supply Management*, *19*(4), 247-263.

Kannan D., Khodaverdi R., Olfat L., Jafarian A., & Diabat A., (2013). Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. *Journal of Cleaner Production*, *47*, 355–67.

Kumar, M., Vrat, P., & Shankar, R. (2006). A fuzzy programming approach for vendor selection problem in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, *101*(2), 273-285.

Küçük Yılmaz, A., Kafalı, H., & Bal, H. T. (2017). Interconnected Grid Flight Network Model for Corporate Sustainability in Airlines, Turkish Studies, International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic Volume 12/29 Fall 2017, p. 373-390, ISSN: 1308-2140, www.turkishstudies.net, DOI Number http://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.12441, ANKARA-TURKEY

Liao, C.-N., Fu, Y.-K., & Wu, L.-C. (2016). Integrated FAHP, ARAS-F and MSGP methods for green supplier evaluation and selection. *Technological and Economic Development of Economy*, *22*(5), 651–669.

Lin, C.-C. (2004). A weighted max–min model for fuzzy goal programming. *Fuzzy Sets and Systems*, *142*, 407–420.

Nielsen, I. E., Banaeian, N., Golińska, P., Mobli, H., & Omid, M. (2014). Green Supplier Selection Criteria: From a Literature Review to a Flexible Framework for Determination of Suitable Criteria BT - Logistics Operations, Supply Chain Management and Sustainability. Içinde P. Golinska (Ed.) (ss. 79–99). Cham: Springer International Publishing.

Özşahin, E. (2013). CBS Kullanılarak Su Kalitesinin Dağılışı Ve Değerlendirilmesi: Cevizli Dere Havzası (Tekirdağ) Örneği, Turkish Studies, International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic Volume 8/12 Fall 2013, p. 1067-1082, ISSN: 1308-2140, www.turkishstudies.net, DOI Number http://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.5722, ANKARA-TURKEY.

Özşahin, E. (2015). Hatay ilinde macera turizmi potansiyelinin coğrafi yaklaşimla incelenmesi, Turkish Studies, International Periodical for the Languages, Literature and History of

Turkish or Turkic Volume 10/2 Winter 2017, p. 749-772, ISSN: 1308-2140, www.turkishstudies.net, DOI Number http://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.7727, ANKARA-TURKEY

Jindong Q., Xinwang, L., Pedrycz, W. (2017). An extended TODIM multi-criteria group decision making method for green supplier selection in interval type-2 fuzzy environment. European *Journal of Operational Research 258*, 626–638.

Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill.

Sanayei, A., Mousavi, S. F., & Yazdankhah, A. (2010). Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications, 37*(1), 24-30.

Shaw, K., Shankar, R., Yadav, S. S., & Thakur, L. S. (2012). Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain. *Expert Systems with Applications, 39*(9), 8182-8192.

Tseng, M. L. (2011). Green supply chain management with linguistic preferences and in complete information. *Applied Soft Computing, 11*(8), 4894-4903.

Tiwari, R. N., Dharmar, S., & Rao, J. R. (1987). Fuzzy goal programming—an additive model. *Fuzzy Sets and Systems, 24(1)*, 27–34.

Tuzkaya, G., Ozgen, A., Ozgen, D., & Tuzkaya, U. R. (2009). Environmental performance evaluation of suppliers: a hybrid fuzzy multi-criteria decision approach. *International Journal of Environmental Science & Technology, 6*(3), 477-490.

Wen, U. P., & Chi, J. M. (2010). Developing green supplier selection procedure: A DEA approach. *2010 IEEE 17Th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (ss. 70–74).

Yazdani, M., Chatterjee, P., Zavadskas, E. K., & Hashemkhani Zolfani, S. (2017). Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection. *Journal of Cleaner Production, 142*, 3728–3740.

Yıldızbaşı, A., Çalık, A., & Paksoy, T. (2017). Comparison of city sustainability performances with a hybrid fuzzy multi-criteria decision making method: A case study of Turkey, *International Conference on Operations Research*, 68.

Yu, Q., & Hou, F. (2016). An approach for green supplier selection in the automobile manufacturing industry. *Kybernetes, 45*(4), 571-588.

Zimmermann, H. J. (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. *Fuzzy Sets and Systems, 1(1)*, 45-55.