

Bulanık Çıkarım Sistemleri Kullanılarak Sürdürülebilir Tedarikçi Seçim Probleminin İncelenmesi*

Research of Sustainable Supplier Selection Problem Using Fuzzy Inference Systems

Turgut Hacıvelioğulları¹ , Nurullah Umarusman² 

¹(Dr.), Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü, Aksaray, Türkiye

²(Doç. Dr.), Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü, Aksaray, Türkiye

*Bu çalışma, Turgut HACİVELİOĞULLARI tarafından Aksaray Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı'nda Doç.Dr. Nurullah UMARUSMAN danışmanlığında yürütülen “Bulanık Çıkarım Sistemleri Kullanılarak Sürdürülebilir Tedarikçi Seçim Probleminin İncelenmesi” başlıklı Doktora Tezinden türetilmiştir.

ÖZ

Çevresel bozulma ve sosyal eşitsizlikle ilgili kaygılara karşı ortaya çıkan sürdürülebilirlik kavramı kamu ve özel sektörü sürdürülebilirlik politikalarını ve uygulamalarını takip etmeye yönlendirmiştir. Dolayısıyla bu sektörlerdeki işletmeler tedarikçilerini sürdürülebilirlik kriterlerine göre değerlendirerek seçimi gerçekleştirmeye başlamıştır. Bu seçim sürecinde piyasa şartları, devlet politikaları, işletmenin hedefleri ve coğrafi konumu farklı kriterler kullanılabilir. Sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarının tedarik zinciri yönetimine entegrasyonu ile gelişen sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde tedarikçi seçimiyle bu boyutlar arasındaki denge oluşturularak muhtemel sorunları üstesinden gelinir. Bu çalışmada araç üstü ekipman sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin sürdürülebilir tedarikçi seçim problemi Bulanık Çıkarım Sistemlerinin Mamdani-tipi Bulanık Çıkarım Sistem yaklaşımı kullanılarak yeni bir model önerilmiştir. Önerilen modelde tedarikçilerin sürdürülebilirlik düzeyi ve performans düzeyi aynı kurallara bağlı olarak eş zamanlı olarak hesaplanmıştır. Daha sonra tedarikçilerin sürdürülebilirlik ve performans düzeylerine göre işletme tedarikçileri sıralaması yapılmıştır. Ayrıca önerilen modeldeki kurallar kullanılarak sürdürülebilirlik ve performans düzeyleri için aynı kriterler arasında farklı öncelik sıralamasının olduğu belirlenmiştir.

ABSTRACT

The concept of sustainability, emerged against the concerns about environmental degradation and social inequality, has led the public and private sectors to follow sustainability policies and practices. Therefore, businesses have started to select their suppliers by evaluating them based on the sustainability criteria such as market conditions, government policies, business objectives, and geographical location. In sustainable supply chain management, possible problems can be overcome by creating a balance between economic, environmental, and social dimensions through supplier selection. Using the Mamdani-type Fuzzy Inference Systems, a new model in the on-board equipment sector has been proposed to solve the sustainable supplier selection problem of a company. The sustainability level and performance level of suppliers were simultaneously calculated based on the same rules in the proposed model. Later, the business suppliers were ranked according to the sustainability and performance levels of the suppliers. It has been determined that there are different priority rankings among the same criteria for sustainability and performance levels by using the rules in the proposed model.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Çıkarım Sistem, Sürdürülebilir Tedarik Zinciri, Tedarikçi Seçimi

Keywords: Fuzzy Inference System, sustainable supply chain management, supplier selection

EXTENDED ABSTRACT

The industrial revolution brought about a transition from human-based production to machine-based production, and with this development coal became the primary energy source. The invention of the internal combustion engine enabled the use of electricity and fossil fuels, resulting in rapidly developing industrialization. Increasing production activities with developing technology that have led to development moves based on economic growth and consumption has been encouraged. However, the industrialization process has revealed environmental degradation on a global scale, causing concerns about meeting the needs of future generations.

Corresponding Author: Nurullah Umarusman **E-mail:** nurullah.umarusman@aksaray.edu.tr

Submitted: 08.09.2023 • **Revision Requested:** 18.10.2023 • **Last Revision Received:** 25.10.2023 • **Accepted:** 15.12.2023



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

These concerns have made it difficult to develop an attitude of using scarce resources more rationally and in the long term. Activities related to the management/protection of limited resources and alternative sustainable development studies have also entered the agenda of the United Nations, independent organizations, and world leaders. Although the concept of sustainability was first expressed in the 20th century, it has inspired philosophical thoughts and applications in civilizations throughout the human history. The concept of sustainability has influenced people's thoughts and lifestyles and has been useful in dealing with current problems. Although the origin of this concept dates back to the 1700s, it is possible to come across sustainability practices that overlap with the way of life by improving economic and social welfare without harming nature in Ancient Egypt, Ancient China, Rome, Maya, Aztec, Seljuk, and Ottoman civilizations.

The idea of sustainability comes from the concept of sustainable development. This idea essentially refers to the integration of three dimensions of sustainability, environmental, social, and economic dimensions, into business practices. By defining each dimension, it will ensure that appropriate activities are put forward to achieve or approach sustainability in daily life. The way to operationalize these three dimensions is through TBL; a concept developed by Elkington (1998) that addresses and balances the dimensions of sustainability from a microeconomic perspective. The emergence of the TBL concept has aroused great interest by changing the perspective of businesses toward sustainability. Businesses have been effective in environmental and social priority issues of sustainable development, such as reducing environmental damage and employee well-being. It is important for businesses that aim for sustainability to adopt and implement this process to their own staff and other members in the chain. Knowing which application, the supply chain concept will increase the success in understanding and implementing sustainable supply chain management. Sustainable supply chain management is an environmental and social extension of traditional supply chain management.

Sustainable supply chain management ensures coordination between members in the chain and manages the flow of materials and information. In this process, it is especially important to select suppliers that can best implement the three dimensions of sustainability. The determination of criteria is the objective of the business to manage the supplier selection process. Additionally, it is important to determine the method that will solve the problem. Therefore, businesses should determine the criteria and methods that can achieve their goals to the extent that they are aware of their goals and responsibilities. Different criteria may arise in traditional supplier selection and evaluation due to geography, location, different development levels of countries, and sectoral differences. However, price, quality, delivery time, and payment period have become important criteria in the selection process. Although the economic dimension is at the forefront in traditional supplier selection, the inclusion of social and environmental factors has made sustainable supplier selection vitally important.

The simultaneous evaluation of the performance and sustainability of suppliers of a company operating in the on-vehicle equipment sector according to the three dimensions of TBL was carried out using the proposed BÇS model. For the proposed model, first the main criteria used in the sustainable supplier selection literature were determined, and then it was asked to define additional criteria suitable for business goals. A Deputy General Manager of Business Administration determined the criteria of "product price," "quality," "delivery time," and "payment period" for the economic dimension of TBL; the criteria of "improvable supplier" for the social dimension; and "renewable energy and green production" for the environmental dimension. Among these, "improvable supplier" was defined by the business decision maker. According to this criterion, the supplier must be open to development and innovation, and must develop, improve, renew itself, and create conditions that will ensure high standards by adopting the support activities provided by the business such as training, finance, and information. How the improvable supplier treats its own suppliers, customers, competitors, nature, and environment is also included. It is also important to be able to adapt to the business culture of the focal company. Accordingly, the supplier can be developed from a certain level or from scratch. Although, the improvable supplier criterion has not been mentioned in previous studies, it is possible that it covers all three dimensions of sustainability as a concept. The improvable supplier will contribute to the fulfillment and continuity of economic, social, and environmental criteria with correct training. This will positively affect the supply chain and create added value. Moreover, according to this criterion, the supplier that can be considered is required to be the best employer certified business.

After determining the operating criteria, a new model was proposed to solve the operational problem using the Mamdani-type Fuzzy Inference System. For the proposed model, membership functions were created using linguistic ranges, triangular and trapezoidal type fuzzy numbers, and performance and sustainability level outputs. Later, seventy-eight rules, used simultaneously for both outputs, were created by the Deputy General Manager of Business Administration. Based on these rules, the scores of the business suppliers were entered into the proposed model and the performance level and sustainability level scores for each supplier were determined with the suppliers being ranked. Further, 3D graphics were created for each output depending on two-input criteria, and a priority order was made between the input criteria within the framework of the rules. In the proposed model, the result was achieved with the help of rules created based on the same inputs and two outputs. This demonstrates the difference of the proposed model from other models developed for multi-output supplier selection. Plus, the model proposed can be developed as a modular FIS, as in Carrera and Mayorga (2008) and Amindoust et al. (2012), and it may be a guide for subsequent studies.

1. Giriş

1760'da buhar makinesinin icadıyla başlayan sanayi devrimi kas gücüne dayalı üretim sürecinden makine güncüne bağlı üretim sürecinin başlangıcı olmuştur (Ahuti, 2015). Bu süreç 1900'te içten-yanmalı motorun icadıyla seri ve sonrası serileşen üretime enerji sağlamak amacıyla fosil yakıtların ve elektriğin çok kullanıldığı hızlı büyüyen bir sanayileşme sürecine ve gelişen teknolojiyle üretimin artmasına sebep olmuştur (Prisecaru, 2016). Ayrıca benimsenen kalkınma hamleleriyle ekonomik büyümeyle orantılı olarak tüketim teşvik edilmiştir (Reusswig, 1994). Ekonomik kalkınmanın gerçekleştirilmesi amacıyla desteklenen sanayileşme küresel ölçekte çevre bozulmasına sebep olmuştur (Lopez ve Toman, 2006). Çevreye verilen zararlar temiz olmayan ve yetersiz yaşam alanları hastalıkların artmasına dolayısıyla sanayileşme süreci yüksek oranda çevreyi kirleten faaliyetlerin ana sebebi olarak görülmüştür (Myers ve Patz, 2009). Sınırlı doğal kaynaklar ve kalkınma süreci arasındaki dengesizlik hammadde ve fosil yakıtlar gibi tabii kaynakların aşırı kullanımı sonucu çevre sorunları ortaya çıkmıştır. Bundan dolayı, sonraki nesillerin ihtiyaçlarını karşılama konusunda endişeler meydana gelmiş, bu kaynakların sürdürülebilirliği ve uzun vadede daha akılcı kullanılmasının gerekliliği zorunlu bir durum olmuştur (Klarin, 2018). Sürdürülebilirlik anlayışı toplumların düşünce ve hayat tarzlarını etkilemiş, sahip oldukları sorunlarla başarılı bir şekilde mücadele için yol gösterici olmuştur (Wu vd., 2015).

Günümüzdeki manasıyla kullanılan sürdürülebilirlik, ilk kez Carl von Carlowitz'in 1713 yılındaki ormanların sürdürülebilir kullanımını açıklayan kitaba dayandırılmaktadır (Michelsen ve Adomssent, 2014). Fakat sürdürülebilirliğin uygulamalarını ilk medeniyetlerden günümüze kadar görmek mümkündür. Antik Mısır'da çevreyle uyumlu siyasal ve ekonomik kararlarla medeniyetin uzun süre ayakta kalması sağlanmıştır (Hughes, 1992). Peru'daki Caral medeniyetinin Caral-Supe antik kentinde yerleşim alanlarının verimli topraklar kurulması engellenmiş, Guatemala'daki Tikal bölgesinde yağmur suları depolanarak kurak dönemlerde tarımsal faaliyetlerde kullanılmıştır (Lentz ve ark., 2014). Aztek medeniyetinde göllerdeki kirliliği önlemek için kullanılacak organik atıkların geri dönüşümü yapılmış ve riskli atıklar bertaraf edilmiştir (Hassig, 2001). Antik Çin filozofları tabii olayların gözlemleyerek ekolojik çevrenin sürdürülebilir kullanımı üzerine düşünceleri Çin uygarlığının gelişmesinde olumlu etkiler yapmıştır (Dong ve Hauschild, 2017). Roma İmparatorluğunda, ekonomik sistemi korumak ve yönetmek, istihdam sağlamak, askeri yapıyı korumak ve bunların sürdürülebilirliğinde tahıl üretimi önemli etken olmuştur (Casson, 1954). Türk-İslam kültüründe ahlaki, ekonomik, sosyal, siyasi ve askeri alanlarda ihtilaf içerisinde olan grupların uzlaşması Ahilikle sağlanarak yerleşik hayatı düzenlenip insanlar arasında sosyal adalet tesis edilmiştir (Öztürk, 2002). Osmanlı İmparatorluğu döneminde örgütlenmiş imar planı olmamasına karşın sosyal ve çevresel değerlere önem veren yerleşim alanları oluşturulmuştur (Oktay, 2014). Geçmişten günümüze çevre ve insan arasındaki etkileşim devam etmekle birlikte medeniyetler bu etkileşimde denge sağladıkları sürece var olmuştur. (Hughes ve Thirgood 1982).

Sınırlı kaynakların korunması ve yönetilmesi ilgili faaliyetler ve bunlarla ilgili sürdürülebilir kalkınma çalışmaları devlet başkanlarının, bağımsız organizasyonların ve Birleşmiş Milletlerin gündeminde olup uluslararası kongre, konferans ve toplantıyla raporlar, kararlar, bildirimler ve anlaşmalar yoluyla çevresel sorunlar değerlendirilmiştir (Bozlağan, 2007). Brundtland Raporu olarak da isimlendirilen ve küresel sorunların analiz edildiği Birleşmiş Milletler tarafından organize edilen komisyon Ortak Geleceğimiz başlıklı rapor 1987 yılında yayınlamıştır (Sikdar, 2003). Raporda sürdürülebilir kalkınma kavramı "gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden taviz vermeden günün ihtiyaçlarını karşılayacak olan kalkınma" olarak tanımlamıştır (DÇKK, 1987: 43). Bu tanımla birlikte insan refahı ve çevre arasındaki ilişki net olarak ortaya konulmuş, önerilen kalkınmayı ele almak üzere oluşturulan çevresel değerlendirme süreçleri politikalara yansımıştır (Gibson, 2012:4). Sürdürülebilirlik kavramının genelde kabul edilmiş bir tanımı olmamakla birlikte, bu kavramın temelini sürdürülebilir kalkınma oluşturmaktadır ki, sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarının işletme uygulamalarına adaptasyonu açıklanır (Caroll ve Buchholz, 2008). Sürdürülebilirliğin üç boyutunun operasyonel duruma getirilmesi Elkington (1998) tarafından önerilen, sürdürülebilirliğin bu üç boyutunu mikroekonomik bir bakışla ele alarak dengeleyen Triple Bottom Line ile mümkündür (Gimenez, Sierra ve Rodon, 2012). Triple Bottom Line (TBL)'nin ekonomik boyutu sosyal ve çevresel ortamları dikkate alarak geleneksel ekonomik hedeflere uyumlu olarak çalışmaktadır (Elkington, 1998). TBL'nin sosyal boyutu kuruluşların faaliyetleriyle alakalı sosyal ve etik değerlerle ilgilenerek kurumsal faaliyetlerin topluma ve çalışanlarına adil ve faydalı olmalarına yönlendirir (Carter ve Easton, 2011). TBL'nin çevresel boyutu yaşam kalitesini yükseltmek için gayret gösterir ve işletmelerin faaliyetlerindeki çevresel konuları ve ölçütleri dikkate alarak işletmelerin çevreye olumsuz etkilerini azaltacak çevresel uygulamalarla ilgilenir (Lai, Wu ve Wong, 2013). TBL düşüncesine tedarik zinciri üyelerinin dahil edilmesiyle sürdürülebilir tedarikçiler arası iş birliği geliştirilerek zincirin performansında iyileşme sağlanır (Tate, Ellram ve Dooley, 2012). Bu nedenle, Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY)'ne dahil olmak bir istekten çok gereklilik durumuna gelmiştir (Carter ve Rogers, 2008). Ayrıca sürdürülebilir tedarikçi seçimi rekabete dayalı olması sebebiyle işletmeler TBL'nin üç boyutundaki kriterleri tedarikçi değerlendirme ve seçim sürecine entegre etmek zorundadır (Er Kara, Yurtsever ve Fırat, 2016).

Bu çalışmada, Araç Üstü Ekipman sektöründe faaliyet gösteren ve beton-mikseri üreten bir işletmenin sürdürülebilirlik ve performans düzeyine bağlı olarak hangi tedarikçilerden reductör satın alabileceğinin belirlenmesi amacıyla BÇS tabanlı bir model önerilmiştir. Önerilen modelde ilk olarak işletme tarafından satın almada kullanılan kriterler belirlenip, bu kriterler için dilsel aralıklar oluşturulmuştur. Daha sonra bu aralıklar için bulanık üyelik fonksiyonlar oluşturulup, işletmenin üretim ve satış politikalarına uygun kurallara tanımlanarak model kurulmuştur. İşletmenin geçmiş dönem bilgilerine bağlı olarak tedarikçilerin

belirlenen kriterlere göre skorları önerilen modele girilerek tedarikçiler arasındaki performans ve sürdürülebilirlik sıralaması belirlenmiştir.

2. Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi

TZY terimi ilk olarak Oliver ve Webber (1982) tarafından kullanılmıştır. TZY hakkında ilk çalışmalar öncelikle kaynakları ve varlıkları daha iyi yönetmenin bir yolu olarak gören danışmanlar tarafından yazılmıştır. Daha sonra, akademisyenler bu terimindeki yapıyı farklı tanımlamalar açıklamış, dolayısıyla TZY terimi için enflasyonist bir kullanımı ortaya çıkmıştır (Delfmann ve Albers, 2000). TZY'nin temel amacı, zincire üye olan işletmeler arası faaliyetlerin koordinesini sağlayarak verimliliği artırmaktır (Mehta, 2004). Ayrıca, koordinasyon sürecinde ortaya çıkabilecek olumsuzluklar öngörülerek, müşteri memnuniyetin ve zincirin operasyonel verimliliği azaltılmadan, öngörülen olumsuzlukların etkisi bertaraf edilir veya en aza indirilir (Otto, 2003). Tedarik zincirinin küreselleşmesiyle işletmeler arası bilgi, malzeme ve nakit akışı daha etkin olarak ele alınmaya zorlanmıştır (Mentzer ve ark., 2001). Geleneksel tedarik zinciri değer ortaya koyan, üretim ve dağıtım zincirine katkı sağlayan, hammadeden nihai müşteri arasında mal ve hizmet sağlayan tüm firma, müşteri ve tedarikçi gibi merkezi yapılardan meydana gelmektedir (Lambert ve Cooper, 2000). Tedarik zincirindeki işletmeler geleneksel olarak kârlılığı amaçlarken, TZY ile işletmeler arasındaki ilişkilerin optimizasyonu sağlanır (Benton ve McHenry, 2010). Geleneksel TZY sadece ekonomik ve operasyonel konuların yanı sıra üyelerin tedarik zinciriyle bağlantılı olan çevresel, sosyal ve ekonomik konuları da önemseyen bir kavrama dönüşmüştür (Carter ve Easton, 2011).

Sürdürülebilir kalkınmanın boyutları olan çevresel, sosyal ve ekonomik bakış açısıyla kurum ve kuruluşlar değerlerini, stratejilerini ve faaliyetlerini yeniden şekillendirmiştir. Dolayısıyla sürdürülebilir kalkınma ve TZY arasında bütünleşme ortaya çıkmıştır (Beske ve Seuring, 2014). Tedarik zincirinde sürdürülebilirliğin temel amacı, mal ve hizmetleri pazara ulaştırırken süreçteki bütün paydaşlar için uzun vadede çevresel, sosyal ve ekonomik değerlerin ortaya konulması bunları korunması ve geliştirilmesidir (Cisco, Chorn ve Pruzan-Jorgensen, 2010). Ayrıca sürdürülebilir kalkınmanın üç boyutunu a bağlı olarak, zincir boyunca bilgi, malzeme ve sermaye akışının yanı sıra firmalar arasındaki iş birliğinin yönetilmesidir (Seçkin, 2018). Geleneksel TZY'de bilgi ve malzeme akışı doğrusal olmakla birlikte tedarik zincirinin sürdürülebilirliğin üç boyutuyla bütünleşmesiyle bu akışta karmaşıklık ortaya çıkmaktadır. Bu karmaşıklığa rağmen sürdürülebilir tedarik zincirindeki işbirliği çok yüksektir (Stindt, 2017). Brundtland raporundan sonra tedarikçi seçiminde ekonomik kriterlerin yanı sıra çevresel ve sosyal kriterler de göz önünde bulundurulmaya başlanmıştır. Bu durum Sürdürülebilir TYZ'nin geliştirmiş ve tedarikçi seçimi veya değerlendirme sürecini odak noktası duruma getirmiştir (Rao, Goh ve Zheng, 2017). Sektörel farklılıklara rağmen sürdürülebilir tedarikçi seçimi gerçekleştirilirken karar verici başarı kriterinin analiz edilmesi ve değerlendirilmesini uzlaşmaya bağlı olarak yapıyorsa sürdürülebilir tedarikçi seçiminin başarılı olarak kabul edilir (Ecemiş ve Yaykaşlı, 2018). İş hayatında rekabetin sürekliliğini sağlayan doğru tedarikçi seçim kriterleri sürdürülebilirliğe ulaşmak için tedarikçinin değerlendirme ve seçim aşamalarına katkı sağlar (Luthra, Govindan, Kannan, Mangla ve Garg, 2017).

2.1. Sürdürülebilir Tedarikçi Seçim Kriterleri

Uygun tedarikçilerin belirlenmesi, iş birliğinin sürekliliği ve bunların muhafaza edilerek istikrarın sağlanması önemlidir. Bu sebeple tedarikçi grubunun belirlenmesinde kullanılacak kriterler ve analizde kullanılacak yöntem(ler) önemlidir (Deshmuk ve Chaudhari, 2011). Ayrıca, tedarikçi seçim sürecinde birden çok kriterin kullanılması ve farklı tedarikçilerde parçalı ürün satın alınacak olması seçim sürecini zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte sürdürülebilirliğin benimsenmesi ve önemsenmesi tedarikçi seçimini doğrudan etkileyecektir (Er Kara ve ark., 2016). Bir işletme sürdürülebilirliği hedeflediğinde, bu süreci sadece işyerine ve personeline değil aynı zamanda zincirin bütün üyelerine benimsetmesi ve üyelerin uygulaması gerekmektedir (Krause vd., 2009). Önceki dönemlerde tedarikçilerin değerlendirilmesinde sadece ekonomik kriterler dikkate alınırken, çevre bilincinin oluşmasıyla tedarikçi seçiminde ve değerlendirilmesinde çevresel kriterler de kullanılmaya başlamıştır (Humphreys vd., 2003). Çevresel bilinçle birlikte işletmeler faaliyetlerinin toplumdaki etkisinin araştırıldığı sosyal kriterler de öne çıkmıştır (Jung, 2017). İşletmeler iş ortaklarının gelişiminde sürdürülebilirliğin değeri ve sorumluluğunun farkında olmalıdır. Ayrıca bir işletme sürdürülebilir TZY uygulamalarına dahil olmaksızın sürdürülebilirlikten bahsetmesi mümkün değildir. Sürdürülebilir TZY'de tedarikçilerin ana itici güç olmaları sebebiyle tedarikçiler seçilirken yalnızca geleneksel ekonomik kriterlerle birlikte sürdürülebilirliğin çevresel ve sosyal boyutlarına da öncelik verilmelidir (Özçelik ve Avcı Öztürk, 2014). Sürdürülebilirlik boyutlarından herhangi bir veya ikisine yerine getirilmesiyle sürdürülebilirliğin sağlanamayacağı göstermektedir (Elkington, 1998). Sürdürülebilirlik süreci içinde olmak sürdürülebilir TZY'nin bir isteği değil, aksine bir gerekliliğidir. İşletmeler uzun vadede başarıya ulaşmak için sürdürülebilir TZY entegre olmalıdır (Carter ve Rogers, 2008). Sürdürülebilir tedarikçi seçimi tedarikçiler arası işbirliği yapabileme yeteneği ve isteğinin sürdürülebilirliğin ekonomik, çevresel ve sosyal kriterleri ve diğer faktörler göz önüne alarak uygun tedarikçileri değerlendirme ve seçme süreci olarak tanımlanır (Rezaei, 2019). TZY'de satın alma departmanı için en önemli zorluklardan bir tanesi tedarikçi değerlendirmesi ve seçimidir. Tedarikçi seçim sürecinde sürdürülebilirlik konularının dikkate alınması, seçim kriterlerinin

sayısının artması sebebiyle onu gelenekselden daha karmaşık duruma getirmektedir. Bu nedenle, çok fazla sayıda kriterle başa çıkabilen, açık uçlu bir tedarikçi seçim modelinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır (Amindoust ve Saghafinia,2014).

Tedarikçi seçim kriterleri üzerine ilk araştırma Dickson (1966) tarafından yapılmıştır. Dickson, tedarikçi seçim sürecinde kullanılan farklı önem seviyesine sahip 23 kriter belirlenmiştir. Daha sonra Dempsey (1978), Rao ve Kiser (1980), Bache, Carr, Parnaby ve Tobias (1987), Weber, Current ve Benton (1991) tedarikçi seçiminde kullanılacak kriterler belirlemiştir. Dickson (1966)'dan günümüze tedarikçi seçimi ve değerlendirme üzerine yapılan araştırmalarda ülkelerin coğrafi konumları, sektörel farklılıklar ve ülkelerin gelişmişlik düzeyleri gibi birçok durum farklı kriterlerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Sürdürülebilir tedarikçi seçimi için kullanılacak kriterlerin ele alındığı bilimsel çalışmalar alan yazında oldukça fazladır. Er Kara ve ark. (2016), Govindan, Fattahi ve Keyvanshokoo, (2017), Luthra ve ark., (2017), Garg ve Sharma (2018), Ghouschi, Milan ve Rezaee (2018), KhanMohammadi, Talaie, Safari ve Salehzadeh (2018), Roy ve ark. (2019), Umarusman ve Haciveliogulları (2020) sürdürülebilir tedarikçi seçim kriterlerinin ele alındığı yeni çalışmalar olarak kabul edilebilir. Umarusman ve Haciveliogulları (2020) sektörel farklılıkları göz önünde bulundurmadan TBL' nin üç boyutu çerçevesinde alan yazında kullanılan kriterleri nitel ve nicel olarak sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırma Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Sürdürülebilir Tedarikçi Seçim Kriterlerinin Nicel ve Nitel Açısından Sınıflandırılması

	Nicel Kriterler	Nitel Kriterler
Ekonomik	Maliyet/Fiyat	Kalite (Ürün Kalitesi)
	Toplam Nakliye Maliyeti	Yenilikçilik
	Sevkiyat Sayısı	Organizasyon ve Yönetim
	Üretim Tesisi ve Kapasitesi	Güvenilirlik
	Servis	Esneklik
	Teknolojik ve Finansal Kapasite	
	Siparişlerin Teslim Süresi	
Çevresel	Çevresel Maliyetler	Çevre Yönetim Sistemi
	Kaynak Tüketimi/ Enerji Tüketimi	Mevcut ISO Standartlarının Dönemi
	Yeşil Lojistik	Çevresel Yeterlilikler
	Yenilenebilir Enerji	Hammadde Tüketimi
	Geri Dönüşüm	Ozon Tabakasını İncelten Kimyasallar
	Yeşil Ar-Ge	
	Yeşil Tasarım ve Yeşil Satın alma	
	Yeşil Üretim	
	Atık Yönetimi ve Çevre Kirliliği	
	Su Tüketimi	
	Tekrar Kullanılabilir Malzeme	
	Çevresel Ürün Performansı	
	Çevre Kirliliği Denetimi	
Sosyal	Yıllık Kaza Sayısı	Çalışanların Çıkar ve Hakları
	İş Güvenliği	İlke ve Kurallara Saygı
	Emniyet Riski	İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı
	İstihdam Tazminatı	Yerel Topluluklar Etkisi
	Sözleşmeden Doğan Paydaşların Etkisi	Toplu Sözleşme, Örgütlenme Özgürlüğü
	Eşit İş Kaynağı	Sosyal Davranış Kuralları
	Disiplin ve Güvenlik Uygulamaları	Sağlık ve Güvenlik Olayları / Uygulamaları
		Mahalle Baskısı
		Bilginin İfşa Edilmesi
		Paydaşların Hakları
	Eğitim	
	Çocuk İşçi	
	İtibar	
Eğitim Kurumlarını Destekleme		
Bağış ve Yardımlar		

2.2. Alan Yazın Araştırması

En iyi tedarikçiyi belirlemek amacıyla farklı maliyet, kalite, miktar vb. nitel ve nitel kriterlerin kombinasyonun içeren tedarikçi seçim süreçleri (Ravindran ve Warsing 2013), bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemi (Akbaş ve Dalkılıç, 2018) olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, yapay zekâ yöntemlerinden yapay sinir ağları, çok değişkenli istatistiksel yöntemler, genetik algoritmalar, kaotik modelleme ve bulanık küme teorisi tabanlı farklı yöntemler kullanılmaktadır. Ayrıca sıralanan bu yöntemlerden oluşan hibrit modeller de mevcuttur (Chen, 2011). Bu başlıkta tedarikçi seçim problemlerinin çözümünde kullanılan BÇS tabanlı çalışmaları içeren bir alan yazın araştırmasında De Gruyter, Dergipark, Google Scholar, Taylor and Francis, Science Direct, Springer veri tabanları kullanılmıştır. Bu veri tabanlarına göre, tedarikçi seçim problemlerinin BÇS ile incelendiği çalışmanın Carrera ve Mayorga (2008) tarafından yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır. 2008-2021 yılları arasında tedarikçi seçim problemlerinin BÇS ile incelendiği 37 bilimsel çalışma belirlenmiştir. Bu çalışmalar geleneksel, sürdürülebilir ve yeşil tedarikçi seçim süreçleri olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca bu çalışmalar tek çıktı ve çok çıktılı modeller olarak da sınıflandırılabilir. Alan yazın incelemesi sonucunda tedarikçi seçim problemlerinin çok çıktılı BÇS modelleri açısından ele alındığı 7 bilimsel çalışma belirlenmiştir.

Carrera ve Mayorga (2008) yeni ürün geliştirmek amacıyla tedarikçi seçiminde 2 aşamadan oluşan bir modüler BÇS yaklaşımı önermiştir. Amindoust vd. (2012) 3 aşamalı olarak ortaya koyduğu modüler BÇS'nin her aşamasında aynı kurallar çerçevesinde tedarikçi sıralamasını yapmıştır. Ghadimi ve Heavey (2014) farklı kurallara bağlı olarak 2 aşamadan oluşan çözüm önerisiyle tedarikçi skorlarını belirlemiştir. Tahiri vd. (2014) 2 aşamadan oluşan çözüm önerisinin her iki aşamasında aynı kuralları kullanarak tedarikçiler arasındaki sıralamayı yapmıştır. Sabaghi, Mascle, Baptiste ve Rostamzadeh, (2016) 4 seviyeye sahip olan önerdiği modelde tedarikçi sıralamasını aynı kurallara bağlı olarak yapmıştır. Amindoust ve Saghafinia (2017) 3 aşamalı modüler BÇS'de aynı kuralları kullanarak tedarikçi değerlendirmesini yapmıştır. Jain ve Singh (2019) 2 aşamadan oluşan BÇS önerisinde farklı kuralları kullanarak tedarikçi sıralamasını belirlemiştir.

3. Bulanık Çıkarım Sistemleri

Lotfi A. Zadeh (1965) tarafından ortaya atılan bulanık küme teorisinin temeli gerçek dünya problemlerinde belirsiz, muğlak ve kesin olmayan verileri bünyesinde bulundurmasıdır. Bir bulanık küme, normalleştirilmiş üyelik fonksiyonu sıfır ve bir arasında olan bir nesne sınıfıdır. Bulanık mantığın, klasik mantıktan temel farkı belirsizlik ortamlarında akıl yürütmeyi sağlayan modeller ve sistemler geliştirerek rasyonel karar vermeyi yardımcı olur (Zadeh,1988). Bulanık mantık mantıksal bir sistemden çok daha fazlası olup matematiksel, mantıksal yön ve bulanık-küme-teorik yön olmak üzere birçok yönü mevcuttur. Bulanık mantık teorisinin neredeyse tüm uygulamalarında dilsel değişkenlere ve bulanık “eğer-ise” zaman kurallarına odaklanan ilişkisel yön çok önemli rol alır (Zadeh, 2008). Zadeh'in çalışmalarından sonra Mamdani (1974) bileşik çıkarım kuralını kullanmanın uygulanabilirliğini araştırmaya başlamış ve BÇS'nin temeli atılmıştır. BÇS bir kural tabanı, üyelik fonksiyonlarını tanımlamak kullanılan veri tabanı ve çıkarım işlemini sağlayan kavramsal bileşenler oluşur (Jang, 1997). BÇS dilsel çerçevede çalışır ve ölçümlenemeyen nitelikleri dilsel ifadeleri işleyip kesin bilgilere dönüştürür (Ross, 2004). Bu süreç kesin olan nicel bilgiler yerine, insan düşünce tarzıyla ilgili nitel yönleri “eğer-ise” kuralları kullanarak modellenir (Jang, 1993). Sistemlerdeki karmaşık arttıkça matematiksel olarak formüle edilmesi oluşturulması zorlaşır, ortaya çıkan bu karmaşıklık azaltmada geliştirilen kurallar problemin çözülmesine yardım eder. Bu kurallardan çıkarım yapılarak sistemin parça parça çözülmesini sağlar daha sonra bütün kurallardan sistem çıkarımı gerçekleştirilir. (Şen, 2009).

Çok sayıda BÇS yaklaşımı olmasına karşın, Mamdani-tipi BÇS ve Sugeno-tipi BÇS en önemlileridir. Mamdani (1974) buhar motoru ve kazan kombinasyonunu kontrol etmek için bulanık kural tabanlı sistem önermiştir. Daha sonra Zadeh (1975)'in dilsel değişkenler kavramı kullanılarak Mamdani-tipi BÇS Mamdani ve Assilian (1975) tarafından geliştirilmiştir. Daha TSK (Takagi-Sugeno-Kang) tipi BÇS yaklaşımı olarak bilinen Sugeno-tipi BÇS, Sugeno (1985), Takagi ve Sugeno (1985) ve Sugeno ve Kang (1988) tarafından önerilmiştir. Bu iki yaklaşımda bulanıklaştırma ve bulanık küme işlemleri aynı olmakla beraber Mamdani-tipi BÇS'de çıktı olarak bulanık değerler kullanılırken, Sugeno-tipi BÇS'de çıktı için üyelik fonksiyonu sabit veya doğrusal fonksiyondur. Dolayısıyla bu iki yaklaşım arasındaki temel farklılık bir araya getirme ve durulaştırma aşamalarıdır.

3.1. Mamdani Tipi Bulanık Çıkarım Sistemi

Mamdani-tipi BÇS basit, sezgisel bir veri tabanı oluşturması sebebiyle özellikle karar verme sürecinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Öztaşı, Behret, Kabak, Sarı ve Kahraman, 2013). Mamdani-tipi BÇS çok girdili-tek çıktılı problemlere uygulanabildiği gibi çok girdili-çok çıktılı problemlere de kolay bir şekilde uygulanabilmektedir (Kaur ve Kaur, 2012). Mamdani tipi BÇS gerçek problemlere ait verilerdeki bulanıklığı kural tabanı yarımıyla modelleyerek, meydana gelen belirsizlikleri ve muğlak bilgileri ölçebilmek için insan tutum ve davranışlarını dolayısıyla insan zekâsının taklidini yapar (Bhattacharyya ve Dutta, 2012). Mamdani-tip BÇS'nin “kural tabanı”, “bulanık çıkarım motoru”, “bulanıklaştırma ara yüzü” ve “durulaştırma ara yüzü” olmak üzere dört bileşenden oluşur (Gorzalczy, 2002). Mamdani-tipi BÇS'nin bulanık muhakemesi maks.-min. çıkarımına dayanır (Feng, 2010). Bir Mamdani-tipi BÇS'de bir bulanık kural aşağıda verilmiştir (Mamdani ve Assilian, 1975):

x_1, A_1, \dots ve x_k, A_k ise y, B 'dir.

Burada;

$x=\{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ ve y dilsel değişkenleri, A_1, A_2, \dots, A_k öncül bulanık kümeyi ve çıktı olan B 'de bulanık bir kümeyi gösterir. Mamdani-tipi BÇS'nin adımları Mamdani ve Assilian (1975), Jang (1997), Cordon vd., (2001), Öztayşi vd.,(2013), Amindoust ve Saghafinia, (2014)'nın bilimsel araştırmaları göz önünde bulundurularak aşağıda özetlenmiştir.

- Bulanıklaştırma: Bu süreçte bulanık kuralların oluşturulması için girdi değişkenlerine ait üyelik fonksiyonları tanımlanır.
- Bulanık Kurallar: Kurallar bulanık çıkarım sisteminde herhangi bir girdinin (veya bir çıktının) kontrolünün nasıl yapılacağı açıklayan bir grup dilsel bilgilerin ifadesidir. Bir bulanık kural tabanı, "eğer-ise" kurallarının bir araya getirilmesinden oluşur.
- Bulanık Çıkarım: eğer-ise" kurallarına bağlı olarak sonuca ulaşmayı amaçlayan bir çıkarım sürecidir. Bu aşamayla bulanık kümelerin entegrasyonu bulanık kurallara göre göz önünde bulundurulur ve ilgili bulanık bölgenin ayrı ayrı entegre edebilmek için atanır. Bu araririmle kesin girdiler bulanık muhakeme sürecine girdi olarak işlev gören bulanık değerler bulanık değerlere dönüştürülür. Mamdani-tipi çıkarım sisteminin çıktıları bulanıklaştırmayla bir kesin değere dönüştürülmesi gereken bir bulanıklaştırma araririmi.
- Durulaştırma: Bu süreç bulanık çıkarım sürecindeki son adımdır ve bulanık kuralların değerlendirilmesi yapılır. Burada bulanık sistemin son çıktısının kesin bir sayısal değere dönüştürülmesi gerekir. Durulaştırma aşamasında merkezi yöntem, ağırlık ağırlıklı ortalama yöntemi, ortalama-maksimum üyelik yöntemi ve maksimum üyelik yöntemi kullanılmaktadır.

BÇS'ler birçok alana kolay uyarlanabilmesi nedeniyle çok disiplinli bir yapıya sahip olup, "eğer-ise" örüntülerinin insan düşünce ve davranışına uygunluğu, karar verme süreci içinde şarta bağlı dilsel çıktıların değerlendirip kesin bir sonuç verebilmesi açısından oldukça önemlidir.

3.2. Sürdürülebilir Tedarikçi Performansı için Önerilen Model

BÇS'lerle tedarikçi karşılaştırması ve seçimi, müzakere süreci, tedarikçi performansının geri bildirimi, tedarikçilerin sıralanması ve geliştirilmesi, sipariş miktarlarının tahsisi, tedarik zincirinin iyileştirilmesi vb. için faydalıdır (Carrera ve Mayorga, 2008). Tedarikçi seçim sürecinde çok fazla kriter kullanılabileceği için bu sürecin bulanık çıkarım sistemiyle incelenmesinde bazı zorluklar ortaya çıkabilir. Buradaki en önemli zorluk girdi olarak kullanılacak olan kriterlerden kaynaklanan kural sayısı ve buna bağlı hesaplama yüküdür. Fakat uygun üyelik fonksiyonlarının seçilmesiyle tedarikçi seçimi sürecinde kolaylık sağlar (Amindoust ve Saghafinia, 2014).

BÇS açısından sürdürülebilir tedarikçi seçimini ele alan Amindoust vd. (2012), Ghadimi ve Heavey (2014), Sabaghi ve ark. (2016), Amindoust ve Saghafinia (2017) sürdürülebilirliğin her bir boyutu için farklı girdilere göre kuralları tanımlayarak süreci modellemiştir. Bu çalışmada ise iki çıktılı sürdürülebilir tedarikçi seçim problemi için aynı girdilere bağlı olarak kurallar tanımlanmıştır. Önerilen modelde, TBL'nin üç boyutunun keştiği bölge sürdürülebilirlik düzeyini gösteren çıktı ve tedarikçi performans düzeyi bir başka çıktı olarak kabul edilerek aynı kurallar kullanılarak çıkarım yapılmıştır. Aynı kurallara göre 2 farklı çıktının ele alınması hem tedarikçinin performans düzeyini hem de sürdürülebilirlik düzeyini aynı anda belirlemektedir. Çünkü herhangi bir tedarikçinin performans düzeyinin yüksek olması onun sürdürülebilir olacağına bir göstergesi olmayabilir. Önerilen modelle aynı kurallara göre iki çıktı değişkeni için eş zamanlı olarak çıkarım yapılmıştır. Önerilen Mamdani-tipi BÇS Sistem modeli Şekil 1'de gösterilmiştir.

Önerilen modelle TBL'nin üç boyutuna göre tedarikçilerin performans düzeyi ve sürdürülebilirlik düzeyin aynı kurallara bağlı eş zamanlı olarak çıkarım yapılmaktadır. Önerilen modelin kural yapısı aşağıda verilmiştir.

Eğer SK_1 is a_1, \dots, SK_n is a_n and EK_1 is b_1, \dots, EK_n is b_n and $ÇK_1$ is $c_1, \dots, ÇK_n$ is c_n then TPD is d , SD_n is e .

Burada;

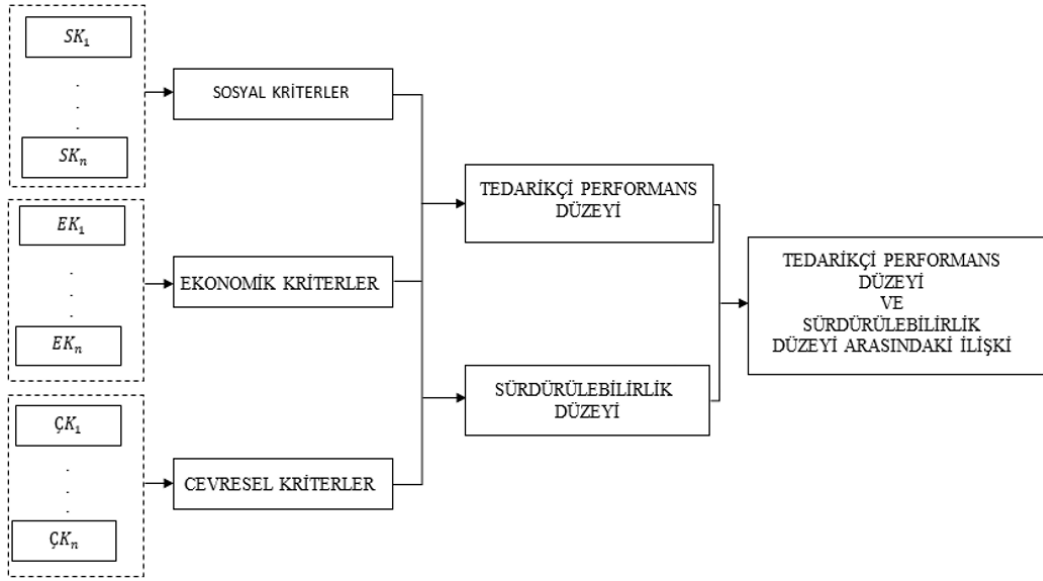
SK_n : n-inci Sosyal Kriter,

EK_n : n-inci Ekonomik Kriter,

$ÇK_n$: n-inci Çevresel Kriter.

$SK=\{SK_1, \dots, SK_n\}$, $EK=\{EK_1, \dots, EK_n\}$, $ÇK=\{ÇK_1, \dots, ÇK_n\}$ ve TPD , SD dilsel değişkenleri, $\{a_1, \dots, a_n\}$, $\{b_1, \dots, b_n\}$ ve $\{c_1, \dots, c_n\}$ öncül bulanık kümeyi ve d ile e bulanık kümeleri gösterir.

Tedarikçi performans düzeyinin ve sürdürülebilirlik düzeylerinin aynı kurallara bağlı eş zamanlı olarak araştırıldığı modelde bir tedarikçi performans düzeyinin yüksek olarak ortaya çıkması sürdürülebilirliğin de yüksek olacağını göstermez ve ya bunun tam tersi de olabilir. Bu modelle karar verici, kendi işletmesinin üretim ve satış politikalarına uygun tedarikçinin sürdürülebilirlik ve performansı skorlarına bağlı olarak seçimini yapabilir.



Şekil 1. Önerilen Mamdani-tipi BÇS Modeli

4. Uygulama

Bu araştırmada Kahramankazan-Ankara’da araç üstü ekipman sektöründe beton mikseri üreten ve 2020 yılında yurt içi pazar payı yaklaşık %35’ine sahip bir işletmenin tedarikçi seçimi araştırılmıştır. Üretilen beton mikserinin temel ekipmanları içinde yer alan redüktör, yurtiçi piyasada işletme tarafından 10 farklı işletmeden tedarik edilmektedir. İşletmenin geçmiş dönem satın alma bilgilerine göre bu tedarikçilerden satın alınan redüktörler birçok açıdan birbirine yakın düzeydedir. Bu durum ise işletme için tedarikçi seçimini zor hale getirmektedir. İşletmenin temel amacı uzun vadede sürdürülebilir işbirliği yapabileceği, kendi üretim ve satış politikalarına uygun ürünü üretebilecek 5 tedarikçiyi belirlemektir. Önerilen BÇS modeli MATLAB RB2018 Fuzzy Toolbox kullanılarak geliştirilmiştir.

4.1. Veri Toplama

Çalışmanın veri toplama sürecinde TBL’nin üç boyutundaki tedarikçi seçim kriterleri göz önünde bulundurularak uygulamaya konu olan işletmenin Genel Müdür Yardımcısıyla yüz yüze görüşmeler yapılmıştır. Yapılan görüşmelerde Tablo 1’deki kriterlerden kullandıkları (veya kullanabilecekleri) kriterleri ve işletmenin amaçlarına ve stratejilerine uygun ek kriterleri tanımlamaları istenmiştir. Genel Müdür Yardımcısı tarafından belirlenen ve önerilen kriterler Tablo 2’te verilmiştir.

Tablo 3’te Genel Müdür Yardımcısı tarafından “geliştirilebilir tedarikçi”, “yenilenebilir enerji ve yeşil üretim” ve “uzun vadeli ödeme süresi” kriterleri işletmenin amaçlarına ve yönetim stratejilerine uygun yeni kriterler olarak önerilmiştir. Önerilen yeni kriterler hakkında aşağıda bilgi verilmiştir.

Geliştirilebilir tedarikçi kriteri, personel haklarına saygılı ve özlük haklarını ön planda tutan, gelişime müsait, eğitim yoluyla ilkelere ve kanunlara uyan ve en iyi işveren sertifikasına sahip mevcut ve olası tedarikçilerdir. En iyi işveren sertifikasına sahip işletmeler çalışanlarıyla gurur duyması, yöneticilerin çalışanlarına karşı adil davranması, çalışanlar arasında saygı ve ekip ruhu olması, çalışanların işten keyif alması, yaptıkları işten gurur duyması vb. konulara odaklanır. En iyi işveren sertifikasına sahip geliştirilebilir tedarikçiler odak işletmenin ihtiyaç ve beklentilerini karşılamanın yanı sıra odak işletmenin ürettiği ürünün geliştirilmesine ve kalitesine katkı verecektir. Ayrıca sorumluluk alabilen, teknolojik gelişmeleri takip edebilen, çevresel, sosyal ve finansal düzenlemelere kolayca uyum sağlayabilecek olması beklenmektedir. Bu kriter aynı zamanda geliştirilebilir sağlayıcının ortaklarına, müşterilerine, rakiplerine, doğal dünyaya ve çevreye nasıl davrandığını da hesaba katar. Ayrıca odak şirketin kurum kültürüne uyum sağlayabilmesi de önemlidir. Genel Müdür Yardımcısı tarafından işletmenin stratejik hedeflerine, özellikle ekonomik kriterleri destekleyecek şekilde ulaşmasına katkı sağlaması için TBL’nin çevresel boyutunda yer alan yeşil üretim ve yenilenebilir enerji kriterleri tek bir kriterde birleştirmiştir. Çünkü işletme tedarikçilerinin çoğu tüm ekonomik standartları karşıladığından, tedarikçi seçimini öncelikle çevresel ve sosyal hususlara odaklanarak yapacaktır. Son olarak uzun vadeli ödeme süresi kriteriyle, Covid-19 Pandemisi sürecinde yapılan satışlardan tahsilat gecikmeleri sebebiyle işletme tedarikçilerinden ödeme dönemi süresinin uzun vadede olması için fedakârlık istemektedir.

Tablo 2. İşletmenin Sürdürülebilir Tedarikçi Seçim Kriterleri

BOYUTLAR	BETAMİX	
	KRİTERLER	
	Nitel Kriterler	Nitel Kriterler
EKONOMİK	Maliyet/Fiyat	Kalite (Ürün Kalitesi)
	Servis	Güvenilirlik
	Siparişlerin Teslim Süresi	Esneklik
	Toplam Nakliye Maliyeti	Yenilikçilik
	Teknolojik ve Finansal Kapasite	Organizasyon ve Yönetim
	Sevkiyat Sayısı	-
	Üretim Tesisi ve Kapasitesi	-
	Uzun Vadeli Ödeme Süresi	-
ÇEVRESEL	Çevresel Maliyetler	Çevre Yönetim Sistemi
	Yenilenebilir Enerji+Yeşil Üretim	Hammadde Tüketimi
	Geri Dönüşüm	Mevcut ISO Standartlarının Dönemi
	Atık Yönetimi ve Çevre Kirliliği	-
	Tekrar Kullanılabilir Malzeme	-
SOSYAL	Çevre Kirliliği Denetimi	-
	İş Güvenliği	Bilginin İfşa Edilmesi
	Emniyet Riski	Çalışanların Çıkar ve Hakları
	Disiplin ve Güvenlik Uygulamaları	İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı
	İtibar	-
	Çocuk İşçi	-
Geliştirilebilir Tedarikçi		

4.2. Değişkenler için Dilsel Aralıklarının Oluşturulması

Genel Müdür Yardımcısı tarafından belirlenen ve Tablo 3'te verilen sürdürülebilir seçim kriterleri arasından seçilen girdi ve çıktı değişkenleri ile bunlar için tanımlanan dilsel bilgi aralıkları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Girdi ve Çıktı Değişkenleri İçin Dilsel Aralıklar

GİRİTLER	BOYUTLAR	Dilsel Aralıklar			
		Düşük	Ortalama	İyi	Çok İyi
EKONOMİK	Fiyat (Nicel)	Pahalı (40;40;50;60)	Ortalama (50;60;65;75)	Ucuz (65;70;100;100)	
	Kalite (%) (Nitel)	Düşük (50;50;55;60)	Ortalama (55;65;75;85)	Yüksek (75;80;100;100)	
	Teslimat Süresi (Hafta) (Nicel)	Çok Hızlı (2;2;3;4)	Hızlı (3;4;5;6)	Normal (4;6;7;8)	Geç (7;8;10;10)
	Ödeme Süresi (Gün) (Nicel)	Kısa (10;10;25;40)	Orta (35;40;60;90)	Uzun (75; 100;150;150)	
SOSYAL	Geliştirilebilir Tedarikçi (%) (Nicel)	Geliştirilemez (0;0;20;30)	Sınırlı Geliştirilebilir (20;40;50;60)	Geliştirilebilir (20;55;100;100)	
	Yenilenebilir Enerji+ Yeşil Ürün (%) (Nicel)	Düşük (30;30;40;50)	İyi (45;60;70;90)	Çok İyi (80;95;100;100)	
ÇIKTILAR	Tedarikçi Performans Düzeyi (%) (Nicel)	Düşük (20;20;35;40)	Ortalama (35;45;60;70)	İyi (55;65;75;80)	Çok İyi (75;80;100;100)
	Sürdürülebilirlik Düzeyi (%) (Nicel)	Yetersiz (40;40;50;55)	Kabul Edilebilir (50;60;70;75)	Başarılı (70;80;100;100)	

İşletme açısından girdi ve çıktı değişkenleri aşağıda açıklanmıştır.

Ekonomik Kriterler;

- Ürün fiyatı: İşletmenin kiralama veya satın alma yoluyla yararlanacağı mal ve/veya hizmetler için ödemeye razı olduğu fiyattır. Bu ürünlere ait fiyat bilgisinin ifşa olmaması amacıyla, ürünler [40-100] fiyat aralığında ölçeklendirmiştir. Giriş değişkeni

ürün fiyatı için “pahalı”, “ortalama” ve “ucuz” dilsel bilgiler göz önünde bulundurularak bulanık üyelik fonksiyonları aşağıda tanımlanmıştır.

- **Ürün Kalitesi:** Satın alınan veya satın alınması planlanan bir mal ve/veya hizmetin beklentileri karşılama derecesidir. İşletme tarafından satın alınan ürünlerin kalite düzeyleri [40-100] aralığında “düşük”, “ortalama” ve “yüksek” dilsel değişkenlerle ifade edilmiştir. Bu girdi değişkeni için bulanık üyelik fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

- **Teslimat Süresi:** Satın alınması veya kiralanması için karar verilen ürünün sipariş tarihinden alıcı işletmeye vaktinde ve eksiksiz olarak ulaştırılması sürecindeki süredir. Covid-19 pandemi sürecinde ortaya çıkacak gecikmeler göz önünde bulundurularak satın alınacak ürünlerin teslimat süreleri “çok hızlı”, “hızlı”, “kabul edilebilir” ve “geç” dilsel değişkenler olarak [2-10] hafta tanımlanmıştır. Teslimat Süresi için bulanık üyelik fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

- **Ödeme Süresi:** Satın alınan mal ve/veya hizmetin bedelinin, karşılıklı mutabık kalınan bir süre içinde, toptan veya birkaç defa ödeneceğinin belirlendiği takvimdir. Covid-19 pandemi sürecinde teslimat sürelerinde yaşanan aksaklıklar ödeme sürelerini de olumsuz etkilemesi uzun vadeli ödeme sürelerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. İşletme, ödeme süresini “kısa”, “orta” ve “uzun” olarak [10-150] gün aralığında tanımlanmıştır. Bu dilsel bilgilere göre bulanık üyelik fonksiyonları aşağıda oluşturulmuştur.

Sosyal Kriter;

- **Geliştirilebilir Tedarikçi:** Tedarikçinin odak işletmenin eğitim, finans, bilgilendirme gibi destek ve çabalarına olumlu yanıt vererek gelişme, iyileştirme, yenileme ve yüksek standartlarda verimli hale gelme yeteneğidir. Geliştirilebilir tedarikçi kriteri için “geliştirilemez”, “sınırlı geliştirilebilir” ve “geliştirilebilir” dilsel değişkenler [0-100] aralığında açıklanmıştır. Geliştirilebilir Tedarikçi değişkeni için bulanık üyelik fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

Çevresel Kriter;

- **Yenilenebilir Enerji ve Yeşil Üretim:** Rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisinden yenilenebilir enerji kullanarak üretim yapabilme seviyesidir. İşletme [30-100] aralığında “düşük”, “iyi” ve “çok iyi” dilsel değişkenler olarak belirlemiştir. Dilsel bilgiler açısından bulanık üyelik fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

İşletmenin kullanacağı çıktı değişkenleri aşağıda açıklanmıştır.

- **Tedarikçinin performans düzeyi:** Mevcut (veya aday) tedarikçi performans düzeyi, tedarikçinin belirlenen kriterlere göre kendisine verilen işleri/görevleri yerine getirme kabiliyetinin bir göstergesidir. Bu kriterler işletmenin üretim ve satın alma politikalarına bağlı olarak belirlemektedir. Tedarikçi performans düzeyi [40-100] aralığında “düşük”, “ortalama”, “iyi” ve “çok iyi” dilsel değişkenlerle açıklanmıştır. Tedarikçi Performans Düzeyi değişkeni için bulanık üyelik fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

- **Tedarikçinin sürdürülebilirlik düzeyi:** Tedarikçi bazı kriterleri yerine getirirse veya diğer aday tedarikçilere kıyasla daha iyi olsa bile, sürdürülebilirlik düzeyi için kriterleri tam olarak yerine getiremediği için sürdürülebilir tedarikçi şartlarını yerine getiremeyebilir. Bu sebeple işletme tedarikçinin sürdürülebilirlik düzeyini [40-100] aralığında “yetersiz”, “kabul edilebilir” ve “başarılı” olarak tanımlanmıştır. Bu dilsel bilgiler için bulanık üyelik fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

Yukarıda verilen girdi ve çıktı değişkenlerine bağlı olarak önerilen Mamdani-tipi BÇS modeli Şekil 2’de gösterilmiştir.

Şekil 2’de uygulamaya konu olan işletmenin tedarikçi seçiminde kullanacağı Mamdani-tipi BÇS modeli dört ekonomik boyu için 4 kriter, sosyal ve çevresel boyutlar için birer kritere göre oluşturulmuştur. Bu kriterlere göz önünde bulundurularak mevcut (veya aday) tedarikçilerin performans düzeyi ve sürdürülebilirlik düzeyi aynı kurallar çerçevesinde ele alınmıştır.

4.3. Önerilen Model İçin Kuralların Geliştirilmesi

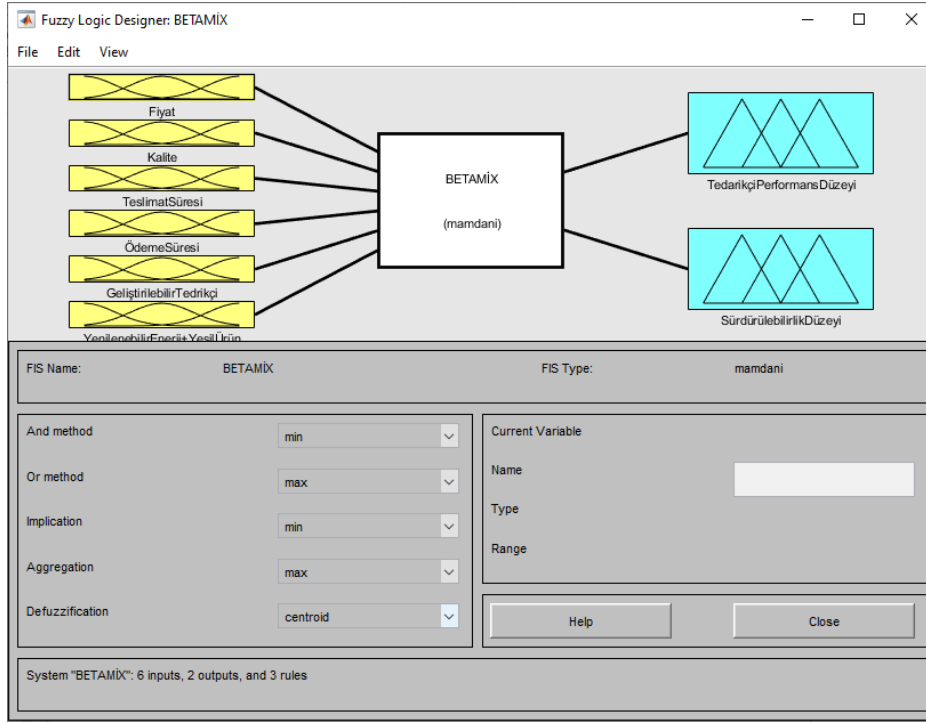
İşletmenin Genel Müdür Yardımcısı ile yapılan görüşmeler neticesinde, işletmenin üretim ve satış politikalarına bağlı olarak 78 kural tanımlanmıştır. Oluşturulan kurallardan 7 tanesi aşağıda verilmiştir.

1. Kural 1: If (Fiyat is Ucuz) and (Kalite is Düşük) and (TeslimatSüresi is ÇokHızlı) and (ÖdemeSüresi is uzun) and (GeliştirilebilirTedarikçi is Geliştirilemez) and (YenilenebilirEnerji+YeşilÜrün is Çokİyi) then (TedarikçiPerformansDüzeyi is Ortalama)(SürdürülebilirlikDüzeyi is Yetersiz).

2. Kural 19: If (Fiyat is Ucuz) and (Kalite is Ortalama) and (TeslimatSüresi is Normal) and (ÖdemeSüresi is Kısa) and (GeliştirilebilirTedarikçi is Geliştirilebilir) and (YenilenebilirEnerji+YeşilÜrün is İyi) then (TedarikçiPerformansDüzeyi is Ortalama)(SürdürülebilirlikDüzeyi is KabulEdilebilir).

3. Kural 30: If (Fiyat is Ortalama) and (Kalite is Ortalama) and (TeslimatSüresi is ÇokHızlı) and (ÖdemeSüresi is Orta) and (GeliştirilebilirTedarikçi is SınırlıGeliştirilebilir) and (YenilenebilirEnerji+YeşilÜrün is İyi) then (TedarikçiPerformansDüzeyi is Ortalama)(SürdürülebilirlikDüzeyi is Yetersiz).

4. Kural 38: If (Fiyat is Ortalama) and (Kalite is Ortalama) and (TeslimatSüresi is Normal) and (ÖdemeSüresi is Orta) and (GeliştirilebilirTedarikçi is Geliştirilebilir) and (YenilenebilirEnerji+YeşilÜrün is Çokİyi) then (TedarikçiPerformansDüzeyi is İyi)(SürdürülebilirlikDüzeyi is Başarılı).



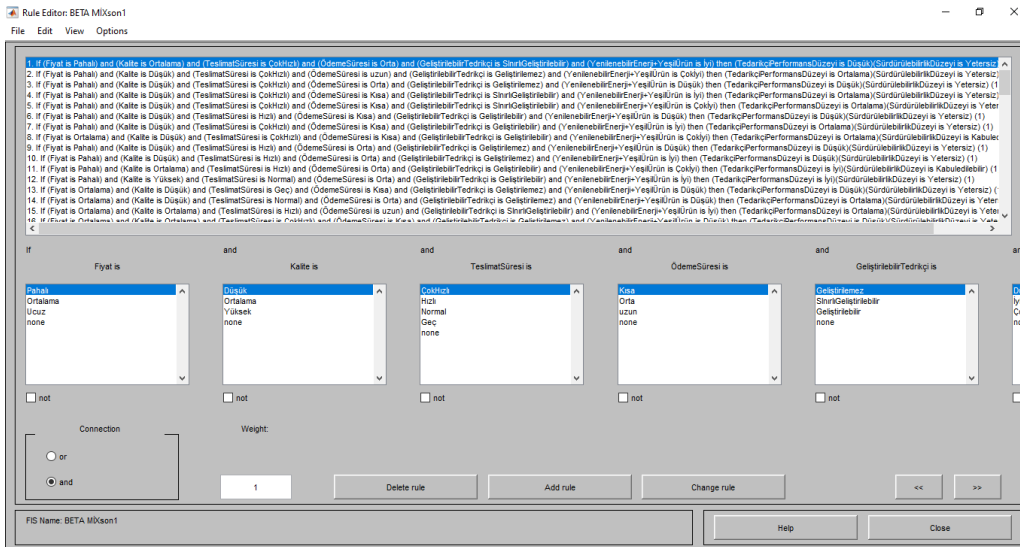
Şekil 2. Önerilen Mamdani-tipi BÇS Modeli

5. Kural 52: If (Fiyat is Pahalı) and (Kalite is Ortalama) and (TeslimatSuresi is Geç) and (ÖdemeSuresi is Orta) and (GeliştirilebilirTedarikçi is Geliştirilebilir) and (YenilenebilirEnerji+YeşilÜrün is Çokİyi) then (TedarikçiPerformansDüzeği is Ortalama)(SürdürülebilirlikDüzeği is Başarılı).

6. Kural 68: If (Fiyat is Pahalı) and (Kalite is Yüksek) and (TeslimatSuresi is Hızlı) and (ÖdemeSuresi is Kısa) and (GeliştirilebilirTedarikçi is SınırlıGeliştirilebilir) and (YenilenebilirEnerji+YeşilÜrün is Düşük) then (TedarikçiPerformansDüzeği is Düşük)(SürdürülebilirlikDüzeği is Yetersiz).

7. Kural 75: If (Fiyat is Ortalama) and (Kalite is Yüksek) and (TeslimatSuresi is Normal) and (ÖdemeSuresi is Orta) and (GeliştirilebilirTedarikçi is SınırlıGeliştirilebilir) and (YenilenebilirEnerji+YeşilÜrün is Düşük) then (TedarikçiPerformansDüzeği is İyi)(SürdürülebilirlikDüzeği is Yetersiz).

Bu kuralları içeren Matlab Rule Editör ekran görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Kurallar

4.4. İşletme Tedarikçilerinin Değerlendirilmesi

İşletme tarafından on farklı tedarikçiden beton-mikserinin ana parçalarından biri olan redüktör satın alınabilmektedir. İşletmenin geçmiş dönemlerde farklı tedarikçilerden satın alındığı redüktörler belirlenen kriterlere değerlendirilip skorları belirlenmiştir. Her bir tedarikçi için kriterlere göre belirlenen skorlar Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Mevcut Tedarikçi Skorları

TEDARİKÇİ	Girdi Değişkenleri					
	Fiyat (TL)	Kalite (%)	Teslimat Süresi (Hafta)	Ödeme Süresi (Gün)	Geliştirilebilir Tedarikçi (%)	Yenilenebilir Enerji + Yeşil Ürün (%)
Tedarikçi-1	70	85	10	60	100	90
Tedarikçi-2	90	65	4	120	65	50
Tedarikçi-3	95	55	4	150	40	50
Tedarikçi-4	40	95	5	30	100	90
Tedarikçi-5	80	70	5	60	60	70
Tedarikçi-6	65	80	5	10	70	60
Tedarikçi-7	50	90	6	90	90	70
Tedarikçi-8	85	65	5	150	50	50
Tedarikçi-9	70	75	3	10	30	30
Tedarikçi-10	50	90	5	30	90	80

Tablo 4’deki her bir tedarikçinin skorları önerilen modele girilmiş ve Tablo 5’teki sonuçlar elde edilmiştir.

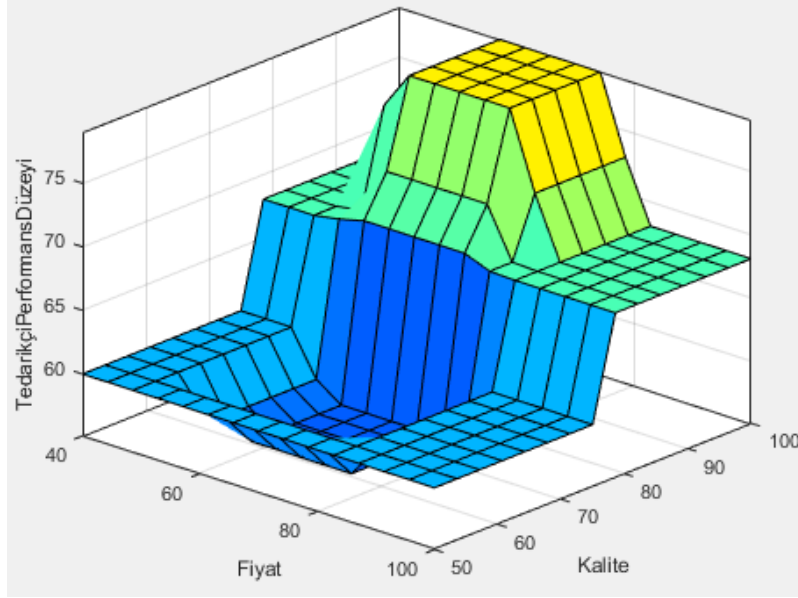
Tablo 5. Önerilen Modelin Sonuçları

Tedarikçiler	Tedarikçi Performans Düzeyi			Sürdürülebilirlik Düzeyi	
	Skor	Üyelik Derecesi		Skor	Üyelik Derecesi
Tedarikçi-1	68.2	Ortalama (0.182)	İyi (1.0)	83.7	Başarılı (1.0)
Tedarikçi-2	57.8	Ortalama (1.0)	İyi(0.28)	29.2	Yetersiz (1.0)
Tedarikçi-3	68.1	Ortalama (0.19)	İyi (1.0)	28.6	Yetersiz (1.0)
Tedarikçi-4	52.5	Ortalama (1.0)		82.6	Başarılı (1.0)
Tedarikçi-5	52.5	Ortalama (1.0)		28.6	Yetersiz (1.0)
Tedarikçi-6	88.9	Çok İyi (1.0)		83.7	Başarılı (1.0)
Tedarikçi-7	60.0	Ortalama (1.0)	İyi (0.5)	60.0	Kabul Edilebilir (1.0)
Tedarikçi-8	58.1	Ortalama (1.0)	İyi (0.31)	28.6	Yetersiz (1.0)
Tedarikçi-9	29.1	Düşük (1.0)		28.6	Yetersiz (1.0)
Tedarikçi-10	52.5	Ortalama(1.0)		82.6	Başarılı (1.0)

Tablo 5’te her bir tedarikçinin önerilen modele göre elde edilen performans ve sürdürülebilirlik düzeyi skorları ile bu skorlara bağlı olarak dilsel aralıklardaki üyelik dereceleri hesaplanmıştır. Bu değerlendirmeye göre 5 tedarikçinin performans düzeyinin skoru 2 dilsel değişken aralığında farklı üyelik derecelerinde ortaya çıkmış olup, bu ise beklenen bir durumdur. Tedarikçi-1’in performans düzeyi 68.2 “iyi” dilsel aralığının %100 üyesiyken aynı zamanda “ortalama” dilsel aralığını %18.2 düzeyinde temsil etmektedir. Tedarikçi-2, Tedarikçi-3, Tedarikçi-7 ve Tedarikçi-8 için de benzer çıkarım yapılabilir. Diğer yandan Tedarikçi-4, Tedarikçi-5 ve Tedarikçi-6 sadece 1 dilsel aralıkta performans düzeyi ortaya çıkmıştır.

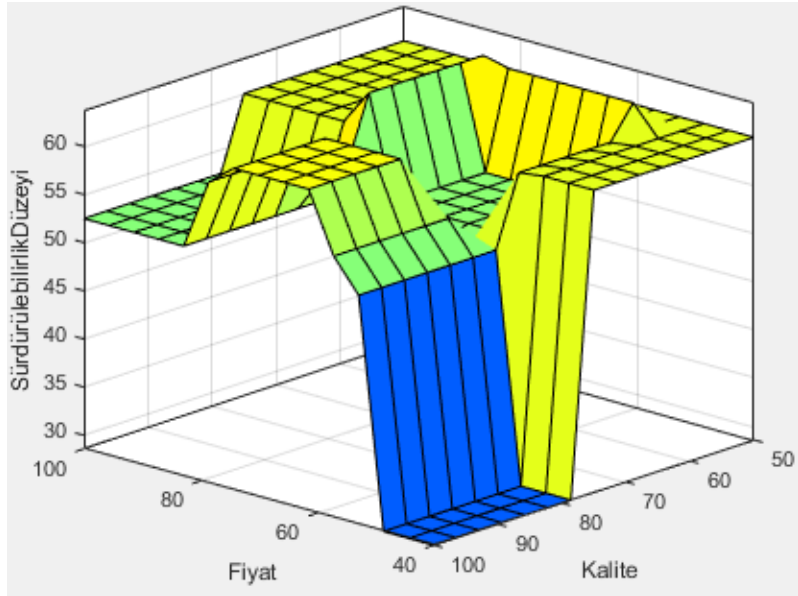
Tedarikçilerin performans skorlarına göre, Tedarikçi-6>Tedarikçi-1>Tedarikçi-3>Tedarikçi-7>Tedarikçi-8>Tedarikçi-4>Tedarikçi-5>Tedarikçi-10>Tedarikçi-9 sıralaması oluşturulur. Diğer yandan Sürdürülebilirlik düzeyinde tüm tedarikçiler sadece bir “dilsel” aralıkta ortaya çıkmış ve ilgili aralığı %100 temsil etmektedir. Tedarikçi-1, Tedarikçi-4, Tedarikçi-6 ve Tedarikçi-10 “başarılı” dilsel aralığını %100 temsil ederken, Tedarikçi-7 “Kabul edilebilir” dilsel aralığını %100 temsil etmektedir. Sürdürülebilirlik Düzeyi skorlarına göre, Tedarikçi-1=Tedarikçi-6>Tedarikçi-4>Tedarikçi-10>Tedarikçi-7>Tedarikçi-2>Tedarikçi-3=Tedarikçi-5=Tedarikçi-8=Tedarikçi-9 sıralaması elde edilmiştir. Bu sıralamalara göre Tedarikçi Performans Düzeyi açısından ilk 5 tedarikçi Tedarikçi-6, Tedarikçi-1, Tedarikçi-3, Tedarikçi-7, Tedarikçi-8 ve Sürdürülebilirlik Düzeyi açısından ilk 5 tedarikçi Tedarikçi-1, Tedarikçi-6, Tedarikçi-4, Tedarikçi-10, Tedarikçi-7 belirlenmiştir. Bu iki farklı sıralamaya göre Tedarikçi-1, Tedarikçi-6 ve Tedarikçi-7 her iki çıktı için işletmenin beklentilerini karşılamaktadır. Her iki çıktıya göre “Tedarikçi-3, Tedarikçi-8” ve “Tedarikçi-4 Tedarikçi-10” arasından iki tedarikçinin daha seçilmesi gerekmektedir. İşletmenin Genel Müdür Yardımcısı son 2 tedarikçi için “Geliştirilebilir Tedarikçi” ve “Yenilenebilir Enerji + Yeşil Ürün” kriterleri skorlarının kullanılarak 4.ve 10. tedarikçileri seçmiştir. Çünkü işletme, uzun dönem sürdürülebilir iş birliği yapabileceği tedarikçilerin sosyal ve çevresel boyutlarının en az “kabul edilebilir” seviyede sağlaması beklentisindedir. Bu değerlendirmelere göre işletme, Tedarikçi-1, Tedarikçi-4, Tedarikçi-6, Tedarikçi-7 ve Tedarikçi-10’u tercih etmiştir.

BÇS'lerde iki girdi ve bir çıktıya göre üç boyutlu olarak incelemek mümkündür. Önerilen modellerde elde edilen 3 boyutlu grafiklerden fiyat ve kalite kriterleri açısından “Tedarikçi Performans Düzeyi” ve “Sürdürülebilirlik Düzeyi” Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Fiyat ve Kalite Açısından Tedarikçi Performansı

Şekil 4'e göre işletme ürün fiyatını yaklaşık olarak [55;85] aralığında ve kaliteyi ise yaklaşık [82;100] aralığında tercih etmektedir. [50;80] kalite aralığında düşük ve yüksek fiyattaki ürünler tercih edilmemektedir. Ayrıca grafiğe göre kalite kriterinin fiyat kriterinden öncelikli olduğu kabul edilebilir.



Şekil 5. Fiyat ve Kalite Açısından Sürdürülebilirlik Düzeyi

Sürdürülebilirlik düzeyine göre ürün kalite aralığı yaklaşık olarak [85-100] ve fiyat aralığı yaklaşık olarak [50-80] aralığında işletmenin tercih edebileceği göstermektedir. Ayrıca yüksek kalitenin yüksek fiyat ve yüksek kalitenin düşük fiyat açısından sürdürülebilirlik düzeyi skorlarının düşük olduğu görülmektedir. Bu sebeple kalite kriterinin fiyat kriterine göre öncelikli olduğu kabul edilebilir.

5. SONUÇ

Sektörlere göre farklılık gösteren tedarikçi seçim kriterleri aynı sektör grubunda faaliyet gösteren işletmeler için de farklılık göstermesi mümkündür. Ayrıca işletmenin coğrafi konumu ve küresel ısınma gibi birçok faktör işletmelerin tedarikçi değerlendirmesi ve seçiminde mevcut kriterlerin yanında yeni kriterler kullanmayı zorlamaktadır. Sosyal adaletsizliğin ve çevresel bozulmanın azaltılmasına yönelik çalışmalarla farkındalığın artmasıyla ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlara dayalı tedarikçi seçim süreci ön plana çıkarak TBL'nin tercih edilmesi zorunluluk durumuna gelmiştir. Ayrıca karar vericilerin eğitim durumu ve sosyal ortam, çalıştığı işletmenin kültür yapısı, önceki tecrübelerinden kaynaklanan alışkanlıklar tedarikçi seçim kriterlerin belirlenmesini etkilemektedir.

Bu çalışmada araç üstü ekipman sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin beton-mikseri üretiminde kullandığı redüktörün tedarikçi sürdürülebilirlik ve performans düzeyine bağlı olarak hangi tedarikçi(ler)den satın alabileceği önerilen BÇŞ modeli kullanılarak araştırılmıştır. Araştırmada sürdürülebilirlik ve performans düzeyinin belirlenmesinde TBL'nin ekonomik boyutu için "fiyat", "kalite", "teslimat süresi" ve "uzun vadeli ödeme süresi" kriterleri, sosyal boyut için "geliştirilebilir tedarikçi" kriteri ve çevresel boyuttan için "yenilenebilir enerji ve yeşil üretim" kriteri girdi olarak seçilmiştir. Önerilen modelle tanımlanan kurallar eş zamanlı olarak tedarikçilerin "sürdürülebilirlik düzeyi" ve "performans düzeyi" belirlenmiştir. "Sürdürülebilirlik düzeyi" ve "Performans düzeyi" çıktılarının aynı kurallara bağlı olarak değerlendirilmesindeki temel amaç, performans düzeyi yüksek olan bir tedarikçinin sürdürülebilirlik düzeyinin yüksek olup olmayacağı veya sürdürülebilirliği yüksek olan tedarikçinin performans düzeyinin yüksek olup olmayacağıdır. Bu kararın verilebilmesi için önerilen modelle her bir çıktının tedarikçi sıralaması belirlenmiş ve bu sıralamalar göz önünde bulundurularak işletme karar vericisinin son kararına göre tedarikçiler için kesin bir sıralama ortaya konulmuştur. İşletme karar vericisine göre tedarikçi performans düzeyi "ortalama", "iyi" ya da "çok iyi" düzeyde olma durumu tedarikçinin sürdürülebilirlik düzeyi için yetersiz olabilir. Bu sebeple işletme belirleyeceği tedarikçinin "çok iyi", "iyi ve/veya ortalama" performans düzeyinde aynı zamanda "başarılı" veya "kabul edilebilir" sürdürülebilirlik düzeyinde olmasını tercih etmiştir. Ayrıca "çok iyi" performans düzeyindeki tedarikçinin "başarılı" sürdürülebilirlik düzeyine sahip olması öncelikli tercih sebebidir. Ancak "çok iyi", "iyi" veya "ortalama" performansa sahip tedarikçinin aynı zamanda "başarılı" veya "kabul edilebilir" sürdürülebilirlik düzeyinde sahip olması işletme tarafından bir başka tercih sebebidir.

BÇŞ'lerde 2 girdi ve 1 çıktı için elde edilen 3-boyutlu grafiklere göre farklı yorumlarda bulunmak mümkündür. Uygulama probleminin girdi ve çıktı değişkenler göz önünde bulundurulduğunda sürdürülebilirlik düzeyi için 15 ve performans düzeyi için 15 olmak üzere 30 tane 3-boyutlu grafik elde edilmiştir. Çalışma içerisinde bunlarda 2 tanesi örnek olarak Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Bu iki şekle göre girdi değişkenleri (tedarikçi kriterleri) için bir öncelik sıralaması yapılabilir. Kurallar göz önünde bulundurularak uygulama problemi için Tedarikçi Performans düzeyi belirlenirken kriterler arasındaki mümkün sıralaması; "Kalite»Fiyat»Ödeme Süresi»= Yenilenebilir Enerji + Yeşil Üretim »Geliştirilebilir Tedarikçi»Teslimat Süresi" ve Sürdürülebilirlik düzeyi belirlenirken kriterler arasındaki mümkün sıralaması; "Fiyat»Yenilenebilir Enerji + Yeşil Üretim »=Kalite»Ödeme Süresi»Geliştirilebilir Tedarikçi »Teslimat Süresi" elde edilmiştir. Bu sıralamalar göstermektedir ki tedarikçi seçiminde kullanılan aynı kriterler arasında sürdürülebilirlik düzeyi ve tedarikçi performans düzeyi açısından farklı bir sıralama elde edilmiştir. Bu sıralamalar karar verici tarafından tanımlanan kurallardan ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada kullanılan kriterler alan yazında kullanılan kriterlerle örtüşmesine karşın "Geliştirilebilir tedarikçi" kriteri ilk kez kullanılmıştır. Karar verici tarafından önerilen bu kritere göre işletme, eğitim ve yeniliğe açık, kararlı ve istikrarlı bir biçimde kendisini geliştirebilecek tedarikçilerle çalışmayı istemektedir. Bu kriterin tedarikçilere uygulanmasıyla TBL'nin sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarının oluşturulması ve sürekliliğinin sağlanmasına katkı sağlanabilir. Bu çalışmada önerilen modelde, aynı girdilere ve iki çıktıya bağlı olarak oluşturulan kurallar yardımıyla sonuca ulaşılmıştır. Bu durum, önerilen modelin alan yazındaki diğer çok çıktılı tedarikçi seçimi için geliştirilen modellerden farkını ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca bu çalışmada önerilen modelin Carrera ve Mayorga (2008) ve Amindoust vd. (2012)'deki gibi bir modüler BÇŞ olarak geliştirilebileceği sonraki çalışmalara yol gösterici olabilir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazarlar finansal destek beyan etmemişlerdir.

Yazar Katkıları: Çalışma Konsepti/Tasarım- T.H., N.U.; Veri Toplama- T.H., N.U.; Veri Analizi/Yorumlama- T.H., N.U.; Yazı Taslağı- T.H., N.U.; İçeriğin Eleştirel İncelemesi- N.U.; Son Onay ve Sorumluluk- T.H., N.U.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Grant Support: Authors declared no financial support.

Author Contributions: Conception/Design of Study- T.H., N.U.; Data Acquisition- T.H., N.U.; Data Analysis/Interpretation- T.H., N.U.; Drafting Manuscript- T.H., N.U.; Critical Revision of Manuscript- N.U.; Final Approval and Accountability- T.H., N.U.

Yazarların ORCID ID'leri / ORCID IDs of the authors

Turgut Hacıvelioğulları 0000-0002-1935-8403
Nurullah Umarusman 0000-0001-6535-5329

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Ahuti, S. (2015). Industrial growth and environmental degradation. *International Education and Research Journal*, 1(5), 5-7.
- Akbaş, S., & Daklılıç, T. E. (2018). Multi-criteria supplier selection based on fuzzy pairwise comparisons in AHP. *Gazi University Journal of Science*, 31(1), 296-308.
- Amindoust, A., & Saghafinia, A. (2014). Supplier evaluation using fuzzy inference systems. In C. Kahraman , & B. Öztayşi (Eds.), *Supply chain management under uzziness* (pp. 3-19). Berlin-Heidelberg: Springer Verlag. doi:10.1007/978-3-642 53939-8.
- Amindoust, A., & Saghafinia, A. (2017). Textile supplier selection in sustainable supply chain using a modular fuzzy inference system model. *The Journal of The Textile Institute*, 108(7), 1250-1258. doi:10.1080/00405000.2016.1238130.
- Amindoust, A., Ahmed, S., Saghafinia, A., & Bahreinejad, A. (2012). Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system. *Applied Soft Computing*, 12(6), 1668-1677. doi:10.1016/j.asoc.2012.01.023.
- Bache, J. Carr, R. Parnaby, J. & Tobias, A.M. (1987). Supplier development systems. *International Journal of Technology Management*, 2(2), 219-228.
- Benton, W. C., & McHenry, L. F. (2010). *Construction purchasing and supply chain management*, The McGraw-Hill Companies, Incorporation, U.S.A.
- Beske, P., & Seuring, S. (2014). Putting sustainability into supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(3), 322-331. doi:10.1108/scm-12-2013-0432.
- Bhattacharyya, S., & Dutta, P. (2012). Fuzzy logic: Concepts, system design, and applications to industrial informatics. In M.A. Khan & A.Q. Ansari (Eds.), *Handbook of research on industrial informatics and manufacturing intelligence: Innovations and solutions* (pp. 33-71). IGI Global. doi:10.4018/978-1-4666-0294-6.CH003.
- Bozlağan, R. (2005). Sürdürülebilir gelişme düşüncesinin tarihsel arka planı . *Journal of Social Policy Conferences*, 0(50) , 1011-1028.
- Caroll, A.B., & Buchhollz, A.K. (2008). *Business & Society: Ethics and stakeholder management*. 7th ed. Mason, Ohio: Thomson/South-Western.
- Carter, C. R., & Easton, P.L. (2011). Sustainable supply chain management: Evolution and future directions. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(1), 46-62. doi:10.1108/09600031111101420
- Carter, C. R., & Rogers, D. S. (2008). A framework of sustainable supply chain management: Moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics*, 38(5), 360-387. doi:10.1108/09600030810882816.
- Carrera, D.A., & Mayorga, R.W. (2008). Supply chain management: A modular fuzzy inference system approach in supplier selection for new product development. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19(1), 1-12. doi:10.1007/s10845-007-0041-9.
- Casson, L. (1954). The Grain Trade of the Hellenistic World. *Transactions and Proceedings of the American Philological Association*, 85, 168. doi:10.2307/283474.
- Chen, Y. J. (2011). Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain. *Information Sciences*, 181(9),16-51-1670. doi:10.1016/j.ins.2010.07.026.
- Cordon, O., Herrera, F., Gomide, F., Hoffmann, F., & Magdalena, L. (2001, July). *Ten years of genetic fuzzy systems: Current framework and new trends*. In Proceedings joint 9th IFSA world congress and 20th NAFIPS international conference, IEEE, Vancouver, BC, Canada. doi:10.1109/NAFIPS.2001.943725.
- DÇKK, (1987). <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm#1>, Erişim tarihi: 21.11.2019.
- Delfmann, W., & Albers, S. (2000). Supply chain management in the global context. Dept. of General Management Working Paper (No:102), Business Planning and Logistics of the University of Cologne.

- Dempsey, W. A. (1978). Vendor selection and the buying process. *Industrial Marketing Management*, 7(4), 257–267. doi:10.1016/0019-8501(78)90044-5.
- Deshmukh, A. J., & Chaudhari, A. A. (2011). A review for supplier selection criteria and methods. In K. Shah, V.L. Gorty & A. Phirke (eds.), *Technology Systems and Management* (pp. 283-291). Berlin, Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-642 20209-4_41.
- Dickson, G.W. (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of Purchasing*, 2(1), 5–17. doi:10.1111/j.1745-493x.1966.tb00818.x.
- Dong, Y., & Hauschild, M. Z. (2017). Indicators for environmental sustainability. *Procedia CIRP*, 61, 697–702. doi:10.1016/J.PROCIR.2016.11.173.
- Ecemiş, O., & Yaykaşlı, M. (2018). Çok kriterli karar verme yöntemleriyle sürdürülebilir tedarikçi seçimi ve bir uygulama. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(83), 382-399. doi:10.16992/ASOS.14474.
- Elkington, J. (1998). Accounting for the triple bottom line. *Measuring Business Excellence*, 2(3), 18–22. doi:10.1108/eb025539.
- Er Kara, M., Yurtsever, O., & Fırat, S. U. O. (2016). Sustainable supplier evaluation and selection criteria. In M. M. Erdoğan, A. Y. Mermod, & O. B. Aşkun-Yıldırım (Eds.), *Social and Economic Perspectives on Sustainability* (pp. 159–168). London: IJOPEC Publication.
- Feng, F., Li, C., Davvaz, B., & Ali, M. I. (2010). Soft sets combined with fuzzy sets and rough sets: A tentative approach. *Soft computing*, 14(9), 899-911. doi:10.1007/s00500-009-0465-6.
- Garg, C. P., & Sharma, A. (2018). Sustainable outsourcing partner selection and evaluation using an integrated BWM–VIKOR framework. *Environment, Development and Sustainability*, 22(2), 1529-1557. doi:10.1007/s10668-018-0261-5.
- Ghadimi, P., & Heavey, C. (2014). Sustainable supplier selection in medical device industry: Toward sustainable manufacturing. *Procedia CIRP*, 15, 165–170. doi:10.1016/J.PROCIR.2014.06.096.
- Ghoushchi, J. S., Milan, M. D., & Rezaee, M. J. (2018). Evaluation and selection of sustainable suppliers in supply chain using new GP-DEA model with imprecise data. *Journal of Industrial Engineering International*, 14(3), 613-625. doi:10.1007/s40092-017-0246-2.
- Gibson, R. B. (2012). In full retreat: The Canadian government's new environmental assessment law undoes decades of progress. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30(3), 179–188. doi:10.1080/14615517.2012.720417.
- Gimenez, C., Sierra, V., & Rodon, J. (2012). Sustainable operations: Their impact on the triple bottom line. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 149-159. doi:10.1016/j.ijpe.2012.01.035.
- Gozalczany, M. B. (2002). *Computational intelligence systems and applications Studies in Fuzziness and Soft Computing*. Springer, Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-7908-1801-
- Govindan, K., Fattahi, M., & Keyvanshokoo, E. (2017). Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions. *European Journal of Operational Research*, 263(1), 10-141. doi:10.1016/j.ejor.2017.04.009 Op.
- Hassig, R. (2001). *Time, history, and belief in Aztec and Colonial Mexico*. University of Texas Press. doi:10.5860/choice.39-1746
- Hughes, J. D. (1992). Sustainable agriculture in ancient Egypt. *Agricultural History*, 66(2), 12-22.
- Hughes, J. D., & Thirgood, J. V. (1982). Deforestation, Erosion, and Forest Management in Ancient Greece and Rome. *Forest & Conservation History*, 26(2), 60–75. doi:10.2307/4004530.
- Humphreys, P. ., Wong, Y. ., & Chan, F. T. (2003). Integrating environmental criteria into the supplier selection process. *Journal of Materials Processing Technology*, 138(13), 349–356.
- Jain, N., & Singh, A. R. (2019). Sustainable supplier selection under must-be criteria through fuzzy inference system. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119275. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119275.
- Jang, J. S. (1993). ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665-685. doi:10.1109/21.256541.
- Jang, J. S. R. (1997). Neuro-Fuzzy and soft computing—a computational approach to learning and machine intelligence. In J.S.R. Jang, C.T. Sun, E. Mizutani (Eds.), *Fuzzy inference systems* (pp.73-90). Prentice-Hall. doi:10.1109/TAC.1997.633847
- Jung, H. (2017). Evaluation of third party logistics providers considering social sustainability. *Sustainability*, 9(5), 1-18. doi:10.3390/su9050777.
- Kaur, A., & Kaur, A. (2012). Comparison of mamdani-type and sugeno-type fuzzy inference systems for air conditioning system. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, 2(2), 323-325.
- Klarin, T. (2018). The concept of sustainable development: From its beginning to the contemporary issues. *Zagreb International Review of Economics & Business*, 21(1), 67-94. doi:10.2478/zireb-2018-0005.
- KhanMohammadi, E., Talaie, H., Safari, H., & Salehzadeh, R. (2018). Supplier evaluation and selection for sustainable supply chain management under uncertainty conditions. *International Journal of Sustainable Engineering*, 11(6), 382-396, doi: 10.1080/19397038.2017.1421277.
- Krause, D. R., Vachon, S., & Klassen, R. D. (2009). Special topic forum on sustainable supply chain management: Introduction and reflections on the role of purchasing management. *Journal Of Supply Chain Management*, 45(4), 18–25. doi:10.1111/j.1745-493x.2009.03173.x.
- Lai, K., Wu, S. J., & Wong, C. W. Y. (2013). Did reverse logistics practices hit the triple bottom line of chinese manufacturers? *International Journal of Production Economics*, 146(1), 106–117. doi:10.1016/j.ijpe.2013.03.005.
- Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). Issues in supply chain management. *Industrial Marketing Management*, 29(1), 65–83. doi:10.1016/S0019-8501(99)00113-3.
- Lentz, D. L., Dunning, N. P., Scarborough, V. L., Magee, K. S., Thompson, K. M., Weaver, E., & Hernandez, C. E. R. (2014). Forests, fields, and the edge of sustainability at the ancient Maya city of Tikal. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(52), 18513-18518. doi:10.1073/pnas.1408631111.
- Lopez, R., & Toman, M. A. (2006). *Economic development and environmental sustainability: New policy options*. OUP Oxford.
- Luthra, S., Govindan, K., Kannan, D., Mangla, S. K., & Garg, C. P. (2017). An integrated framework for sustainable supplier selection and

- evaluation in supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1-35. doi:10.1016/j.jclepro.2016.09.078.
- Mamdani, E. H. (1974). Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *Proceedings of The Institution of Electrical Engineers*, 121(12), 1585-1588. doi:10.1049/piee.1974.0328.
- Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13. doi:10.1016/s0020-7373(75)80002-2.
- Mehta, J. (2004). Supply Chain Management in a Global Economy. *Total Quality Management & Business* doi:10.1080/14783360410001680279.
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1-25. doi:10.1002/J.2158-1592.2001.TB00001.X
- Michelsen, G., & Adomßent, M. (2014). Nachhaltige Entwicklung: Hintergründe und Zusammenhänge. In H.Heinrichs & G.Michelsen (Eds.), *Nachhaltigkeitswissenschaften* (pp. 3-59). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-25112-2_1.
- Myers, S. S., & Patz, J. A. (2009). Emerging threats to human health from global environmental change. *Annual Review of Environment and Resources*, 34, 223-252. doi:10.1146/annurev.environ.03310.
- Oktaç, D. (2014). Towards human sustainable urbanism: Interrogating the contemporary approaches and the traditional Turkish (Ottoman) City. In R.G. Mira, & A. Dumitru, (Eds.), *Urban sustainability innovative spaces, vulnerabilities and opportunities* (pp.33-48). Spain: Deputacion Provincial de A Coruna.
- Oliver, R. K., & Webber, M. D. (1982). Supply-chain management: Logistics catches up with strategy. In M. L. Christopher (Eds.), *Logistics: The Strategic Issues* (pp. 63-75). London: Chapman & Hall. doi:10.1007/978-3-642-27922-5_15.
- Otto, A. (2003). Supply Chain Event Management: Three Perspectives. *The International Journal of Logistics Management*, 14(2), 1-13. doi:10.1108/09574090310806567.
- Özçelik, F., & Avcı Öztürk, B. A. (2014). Research on barriers to sustainable supply chain management and sustainable supplier selection criteria. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16(2), 259-279. doi:10.16953/DEUSBED.89025.
- Öztayşi, B., Behret, H., Kabak, Ö., Sarı, I. U., & Kahraman, C. (2013). Fuzzy inference systems for disaster response. In B. Vitoriano, J. Montero, D. Ruan (Eds.), *Decision aid models for disaster management and emergencies* (pp. 75-94). Atlantis Press, Paris. doi:10.2991/978-94-91216-74-9_4
- Öztürk, N. (2002). Ahilik teşkilatı ve günümüz ekonomisi, çalışma hayatı ve iş ahlakı açısından değerlendirilmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7, 43-56.
- Priseçaru, P. (2016). Challenges of the fourth industrial revolution. *Knowledge Horizons. Economics*, 8(1), 57-62.
- Rao, C., Goh, M., & Zheng, J. (2017). Decision mechanism for supplier selection under sustainability. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 16(01), 87-115. doi:10.1142/s0219622016500450.
- Rao, C. P., & Kiser, G. E. (1980). Educational buyers' perceptions of vendor attributes. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 16(4), 25-30. doi:10.1111/j.1745-493x.1980.tb00023.x
- Ravindran, A.R., & Warsing Jr, D.P. (2013). *Supply Chain Engineering Models and Applications*. CRC Press, Boca Raton, FL. doi:10.1201/b13184
- Reusswig, F. (1994). Lebensstile und Ökologie. In J.S. Dangschat & J. Blasius (Eds.), *Lebensstile in Den Städten* (pp.91-103). Wiesbaden: Springer Fachmedien. doi:10.1007/978-3-663-10618-0_6.
- Rezaei, J. (2019). Sustainable supplier selection: A process view. In Sarkis J, Elgar E, (eds.), *Handbook on the sustainable supply chain* (pp. 136-147), Cheltenham: Edward Elgar Publishing. doi:10.4337/9781786434272.00013.
- Ross, T. J. (2004). *Fuzzy logic with engineering applications*. John Wiley & Sons.
- Roy, S. A., Ali, S. M., Kabir, G., Enayet, R., Suhi, S. A., Haque, T., & Hasan, R. (2019). A framework for sustainable supplier selection with transportation criteria. *International Journal of Sustainable Engineering*, 13(2), 77-92. doi:10.1080/19397038.2019.1625983.
- Sabaghi, M., Mascle, C., Baptiste, P., & Rostamzadeh, R. (2016). Sustainability assessment using fuzzy-inference technique (SAFT): A methodology toward green products. *Expert Systems With Applications*, 56, 69-79. doi:10.1016/j.eswa.2016.02.038.
- Seçkin, F. (2018). Tedarik zinciri yönetiminde ve tedarikçi seçiminde sürdürülebilirlik kavramının gelişimi. *AURUM Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, 2(2), 45-64.
- Sikdar, S. K. (2003). Sustainable development and sustainability metrics. *AIChE Journal*, 49(8), 1928-1932. doi:10.1002/aic.690490802.
- Sisco, C., Chorn, B., & Pruzan-Jorgensen, P. M. (2010). *Supply chain sustainability: A practical guide for continuous improvement*. Norway, United Nations Global Compact.
- Stindt, D. (2017). A generic planning approach for sustainable supply chain management - how to integrate concepts and methods to address the issues of sustainability? *Journal of Cleaner Production*, 153, 146-163. doi:10.1016/j.jclepro.2017.03.126.
- Sugeno, M. (1985). An introductory survey of fuzzy control. *Information Sciences*, 36(1-2), 59-83. doi:10.1016/0020-0255(85)90026-x.
- Sugeno, M., & Kang, G. (1988). Structure identification of fuzzy model. *Fuzzy Sets and Systems*, 28(1), 15-33. doi:10.1016/0165-0114(88)90113-3.
- Şen, Z. (2020). *Bulanık mantık ilkeleri ve modelleme*. Su Vakfı, 3. baskı, İstanbul.
- Tahriri, F., Mousavi, M., Hozhabri Haghghi, S., & Zawiah Md Dawal, S. (2014). The application of fuzzy delphi and fuzzy inference system in supplier ranking and selection. *Journal of Industrial Engineering International*, 10(3), 1-16. doi:10.1007/s40092-014-0066-6.
- Tate, W.L., Ellram, L.M., & Dooley, K.J. (2012). Environmental purchasing and supplier management (EPSM): Theory and practice. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 18, 173-188. doi:10.1016/j.pursup.2012.07.001.
- Takagi, T., & Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-15(1), 116-132. doi:10.1016/b978-1-4832-1450-4.50045-6.

- Umarusman, N., & Haciveliogullari, T. (2020). Fuzzy inference systems in sustainable supplier selection. In: supply chain sustainability (pp. 1-38), Walter de Gruyter GmbH & Co KG. doi:10.1515/9783110628593-001
- Weber, C. A., Current, J. R., & Benton, W. C. (1991). Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operational Research*, 50(1), 2–18. doi:10.1016/0377-2217(91)90033-
- Wu, J., Zhang, Q., Li, A., & Liang, C. (2015). Historical landscape dynamics of inner Mongolia: Patterns, drivers, and impacts. *Landscape Ecology*, 30(9), 1579-1598. doi:10.1007/s10980-015-0209-1.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353. Doi:10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
- Zadeh, L. A. (1988). Fuzzy logic. *Computer*, 21(4), 83-93. doi:10.1109/2.53.
- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. *Information sciences*, 8(3), 199-249. doi:10.1016/0020-0255(75)90017-1
- Zadeh, L. A. (2008). Is there a need for fuzzy logic? *Information Sciences*, 178(13), 2751-2779. doi:10.1109/nafips.2008.4531354.

Atf Biçimi / How cite this article

Haciveliogullari, T., & Umarusman, N. (2023). Research of sustainable supplier selection problem using fuzzy inference systems. *Journal of Transportation and Logistics*, 8(2), 162-179. <https://doi.org/10.26650/JTL.2023.1370019>