





Sezgisel Bulanık AHP Yöntemiyle Yeşil Tedarikçi Seçimi

 Ayşegül Çınar^{1*},  Özer Uygun¹

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Öz

Fazla sayıda kriteri göz önünde bulundurarak birçok alternatif arasından en iyisini seçme problemi günlük hayatta oldukça karşılaşılan ve çözülmesi zor olabilen bir konudur. Sezgisel bulanık AHP yöntemi kesinlik içermeyen durumlarda karar alternatiflerinin kararı etkileyen kriterlere bağlı olarak seçim yapılmasını ve karar hiyerarşisinin oluşturulmasını sağlayan çok kriterli bir karar verme yöntemidir. Çalışmanın amacı belirsizlik ortamında tedarikçilerin yeşil tedarik zinciri uygulamaları ile ilişkisini en doğru şekilde ortaya koyabilmek ve yeşil uygulamaları bakımından en uygun tedarikçiyi seçebilmektir. Çalışma kapsamında 5 farklı kriter belirlenmiş ve 3 farklı yeşil tedarikçi alternatifi değerlendirilmiştir. Firmaya uygun yeşil tedarikçi seçimi Sezgisel Bulanık AHP yöntemi ile kuramsal olarak yapılmıştır. Uygulanan yöntem ile en uygun alternatifin seçilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Yeşil tedarikçi seçimi, Çok kriterli karar verme, Sezgisel bulanık AHP.

Selecting Green Supplier Using Intuitionistic Fuzzy AHP

Abstract

Selecting the best one amongst many alternatives considering a number of criteria is a common and sometimes could be a hard problem. Intuitionistic Fuzzy AHP method is multi-criteria decision making method that enables structuring decision hierarchy and evaluating decision alternatives in uncertain situations in terms of criteria effecting the decision. The purpose of the study is evaluating suppliers in uncertain situation considering their relations with green supply chain management implementations and then selecting the most suitable suppliers accordingly. In the framework of the study, 5 criteria is decided and 3 green suppliers are evaluated. The study hypothetically considers several suppliers for a main manufacturer and assessment is realized using intuitionistic fuzzy AHP.

Keywords: Selecting green supplier, Multi-criteria decision making, Intuitionistic Fuzzy AHP

1. Giriş (Introduction)

Gelişmekte olan ülkelerde hem yeşil tedarik zinciri uygulamaları hem de ekonomik performans, özellikle çevresel yönetim uygulayan işletmeler için oldukça önemlidir (Güzel, Demirdöğen, 2016).

Hızla gelişen teknoloji ve günümüz yaşam koşulları dikkate alındığında pazarda rekabet ortamı oluşması kaçınılmaz olmuştur. Rekabetin artmasıyla birlikte tüketici bilinç seviyesi ve duyarlılığı da değişmiştir. İşletmelerin pazardaki rakiplerine üstünlük sağlamaları, verimliliklerini ve karlılıklarını artırmaları, yenilik ve müşteri beklentilerini karşılamaları ile mümkün olmaktadır. Bu eğilime yanıt olarak, yöneticiler çevresel yönetimi veya ürün ve hizmetlerinin sürdürülebilirliğini geliştirmek için çeşitli inisiyatifler geliştirmiştir (Lin, Sheu, 2011).

Yeşil satın alma ve yeşil tasarım buna örnek olarak verilebilir. Yeniliğe açık esnek işletmeler bu rekabet üstünlüğünü sağlamak için çevre konularına yönelmişlerdir. Bu nedenle işletmeler çevreye duyarlı olarak mal ve hizmet üretmeyi ön planda tutmaya başlamış ve böylelikle yeşil uygulamalar önem kazanmıştır.

Küreselleşme, çevre kirliliği gibi etkilerin insan hayatını olumsuz yönde etkilemesi gelecek nesilleri tehdit etmektedir. Bu tehdit unsuru tüketicilerin ve devletlerin gerekli önlemler almalarını zorunlu kılmaktadır. İşletmeler ve dolayısıyla tedarik zincirleri de bu önlemlerden etkilenmektedir. Bu etkilenmeler neticesinde işletmeler değişime ayak uydurarak verimliliği ve karlılığı artırmak amacıyla yeşil (çevrecilik) algısını da tedarik zincirlerine eklemek zorunda kalmaktadırlar. Ekonominin ve çevrenin

* Sorumlu yazar. Ayşegül Çınar
E-posta adresi: aysegullcinaar@gmail.com

Alındı : 21 Oca 2019
Revizyon : 25 Haz 2019
Kabul : 4 Tem 2019

koordineli bir şekilde gelişmesini sağlayabilmek için, üretim yapan işletmelerin yeşil tedarik zinciri operasyonu gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Dan-li vd., 2011). Geçmişte tedarikçi seçimi için tanımlanan kriterler normal olarak, fiyat rekabeti üzerine odaklanırken, yeşil uygulamalarda işletmeler, ürün, üretim, ekonomik kârlılık ve sürdürülebilirliği sağlamak için en önemli kriter olarak ekolojik koşulları öncelikli değerlendirmek zorundadır (Denizhan vd., 2017). Böylece karlılığa ve buna benzer parametrelere dayalı tedarik zinciri değerlendirmesi yapmak yerine çevresel konuları da içeren ve bu konulara önem veren yeşil tedarik zinciri kavramı önem kazanmaktadır. Etkin tedarik zinciri yönetimi tersine lojistik, yeşil tedarik zinciri ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin birlikte ele alınması ile başarıyı getirmektedir. İşletmelerin hedeflerini sürdürülebilir hale getirebilmesi, çevresel faaliyetlere önem veren en uygun tedarikçiler ile işbirliği yapması ile mümkün olmaktadır (Şişman, 2016).

Yeşil tedarik zinciri yönetimi ile ilgili olarak literatürde görüldüğü üzere işletmelerin tedarikçilerinin çevresel performanslarını derecelendirmeleri yeşil tedarik zinciriyle alakalı kriterleri en doğru şekilde belirleyebilmeleri ile mümkündür. Belirlenmiş olan kriterler yeşil tedarik zincirinde etkisi büyük olduğu düşünülen kriterlerdir.

Bu çalışmada yeşil tedarikçi değerlendirme kriterleri Chen vd. (2010)'dan revize edilerek alınmıştır ve Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Yeşil Tedarikçi Değerlendirme Kriterleri (Green Supplier Evaluation Criteria)

	Kriterler
K1	Uygunluk Kalitesi
K2	Yeşil Ürün Tasarımı
K3	Yeşil Satın Alma
K4	Yeşil Üretim
K5	Çevresel Yönetim Sistemi

Ancak günümüz iş dünyası içindeki belirsizlikler ve parametreler, alternatiflerin fazlalığı ve güvenilirliklerinin doğru tespit edilememesi, kriterlerin çok olması yeşil tedarikçi seçimi sürecini zorlaştırmaktadır. Bu belirsizlikler altında en doğru sonuca ulaşabilmek için sezgisellik ve bulanıklık içeren çok kriterli karar verme tekniklerinin kullanılmasının doğru olacağı düşünülmektedir.

Çok kriterli karar verme yöntemleri net ve bulanık değerlerle kullanılmaktadır (Dammak vd., 2015). Bulanık ortamlarda belirsiz ve çok nitelikli sorunlara çözüm aramada, bulanık grup karar verme yöntemleri uygulanmalıdır (Uygun ve Dede, 2016). Bu çalışmada önem verilmesi gereken parametreler dikkate alınarak çevresel faktörleri ön planda tutabilmek, yöneticilere karar vermelerinde yardımcı olabilmek ve tedarikçilerin çevresel performanslarının puanlamasını en iyi şekilde değerlendirebilmek amaçlanmıştır. Bu

değerlendirmeler, sıradan bulanık kümelerden, aralıklı sezgisel bulanık kümeler ile daha kolay ifade edilebilir (Fahri vd., 2015).

Çok kriterli karar verme sorunlarının ele alınmasındaki popülaritesine ve sadeliğine rağmen, AHP genellikle belirsizliği yeterince ele almadaki yetersizliği nedeniyle eleştirilmektedir (Xu ve Liao, 2014). Bu nedenle sezgisel bulanık AHP yöntemi ile uygulama yapılarak en uygun alternatif (tedarikçi) belirlenmiştir.

Literatürde sezgisel bulanık AHP yönteminin kullanıldığı çalışmalara rastlamak mümkündür. Sadiq ve Tefamariam (2007) sondaj çalışmaları için en uygun çevresel delme işlemi seçimi yapmışlardır. Zhang vd. (2011) sezgisel bulanık AHP yöntemini bulanık AHP ile ilişkisini ele alarak tanıtmışlardır. Han Park vd. (2011) klima sistemi seçimi yapmışlardır. Xu ve Liao (2014) klasik AHP yönteminin sezgisel bulanık küme ile sezgisel bulanık AHP'ye genişletilmesini ele almışlardır. Dammak vd. (2015) Sezgisel bulanık küme teorisini kullanarak beşeri sermaye göstergeleri seçimi, Fahmi vd. (2015) insan kaynakları yönetimi altında belirli bir pozisyon için başvuran kişiler arasında sezgisel bulanık AHP ile seçim yapmışlardır. Deepika vd. (2016) sezgisel bulanık AHP ile global tedarikçi seçimi yapmışlardır.

Çalışmada kuramsal olarak bir işletmenin uzmanlarının görüşleri ışığında ve belirsiz koşullar altında tedarikçilerin yeşil performansı sezgisel bulanık AHP yöntemi ile değerlendirilmiştir. Sezgisel bulanık AHP yöntemi ile yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Yeşil tedarik zinciri değerlendirmesinde ise bu yöntemin kullanılmasının önerilmesi literatüre bir katkı sağlayacaktır. Tedarikçilerin çevresel performanslarının derecelendirilmesi uzman grup içerisinde farklılık gösterebilmekte ve kesin bir derecelendirme yapılması zor olabilmektedir. Bu nedenle önerilen çok kriterli karar verme yönteminin problemin ve parametrelerin belirsizlik ve bulanıklık içermesinden dolayı ideal çözüme en yakın sonuçlar üreteceği düşünülmektedir.

2. Metodoloji (Methodology)

AHP yöntemi, karar hiyerarşisinin oluşturulmasını ve bu kararı etkileyen kriterlere bağlı olarak alternatifler arasından seçim yapılmasını sağlayan çok kriterli bir karar verme yöntemi olarak tanımlanabilir. Sezgisel bulanık AHP'de, klasik AHP sezgisel bulanık küme ile birleştirilmiştir.

Bu çalışmada yeşil tedarikçi seçimi, sezgisel bulanık AHP yöntemi ile yapılmıştır. Aşağıda öncelikle sezgisel bulanık kümeler hakkında bilgi verilecek ardından sezgisel bulanık AHP yöntemi ele alınacaktır.

2.1. Sezgisel Bulanık Küme (Intuitionistic Fuzzy Sets)

Bulanık küme teorisi esasen, küme teorisinin sınıfların keskin sınırlarını içermeyen bir

genellemesidir (Chen vd., 2010). Çok kriterli karar verme yöntemlerinin bulanık mantık ile entegrasyonu belirsiz durum ve yargılarda daha net karar vermeye olanak sağladığı için sıklıkla kullanılmaktadır (Özkan Özen ve Koçak, 2017). Sezgisel Bulanık Küme ise (IFS), esas olarak belirsizliği ele almak için tasarlanan Bulanık Küme'nin uzantısıdır (Deepika ve Kannan, 2016). Belirsizlik (kesinsizlik) kesinlikten veya keskin ayırmadan yoksunluk anlamına gelir (Sadiq, Tesfamariam, 2007).

Bulanık kümelerde küme elemanlarının kısmi üyeliğine izin verilmektedir. Küme elemanlarının alacağı üyelik değerleri $[0,1]$ arasında değişkenlik göstermektedir. Bunun sonucunda, bulanık bir küme her bir elemanın üyeliğinin derecelendirilebildiği klasik bir kümenin genelleştirilmiş hali olur. Bulanık küme kavramına göre tanımlanan bulanık A kümesindeki bir elemanın o kümeye ait olma derecesi μ_A iken ait olmama derecesi $1 - \mu_A$ 'ya karşılık gelmektedir. Böylece ait olma derecesi ile ait olmama derecesinin toplamı her zaman 1'e eşit olur. Fakat gerçek hayat uygulamaları ele alındığında bu yaklaşımın uygulamalardaki belirsizliği tam olarak ele alamaması sebebiyle her zaman etkin bir yöntem olmadığı görülmektedir.

Sezgisel bulanık kümeler üyelik derecesi, üye olmama derecesi ve tereddüt derecesi hakkında daha kapsamlı bir değerlendirmeye olanak sağladığından, belirsizlik ortamında bulanık kümelere göre faydasının daha fazla olduğu açıktır (Zhang vd., 2011).

Gerçek hayattaki uygulamalarda, insanların düşüncelerinin önem teşkil ettiği problemlerde ait olma ve olmama derecelerinin toplamı 1'den küçük olabilmektedir. Bu nedenle bu ihtiyacın karşılanabilmesi amacıyla bulanık küme teorisi geliştirilerek sezgisel bulanık küme teorisi elde edilmiştir.

Matematiksel olarak ifade edecek olursak X bir küme olmak üzere X ' deki sezgisel bulanık A kümesi Denklem (1)'de tanımlandığı gibidir.

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x), \pi_A(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (1)$$

Sezgisel bulanık küme teorisinde x elemanın A kümesine ait olma derecesi $\mu_A(x)$, ait olmama derecesi $\nu_A(x)$ ve tereddüt indeksi $\pi_A(x)$ olarak tanımlanmıştır. Sezgisel bulanık küme teorisinde ait olma derecesi ve ait olmama derecesinin toplamının 1'den küçük olabileceği 2 numaralı eşitsizlikte gösterilmektedir. Bu eşitsizlik aynı zamanda bulanık küme ile sezgisel bulanık kümenin birbirinden farklı olduğunu açıkça göstermektedir.

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1 \quad (2)$$

Tereddüt indeksi, bir x elemanın A kümesine ait olup olmaması durumunun tereddüt düzeyini belirtmekte ve Denklem (3)'de verildiği gibi

hesaplanmaktadır.

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x) \quad (3)$$

Tereddüt indeksine karşılık gelen $\pi_A(x)$ ifadesi, aldığı değere göre x elemanı hakkında farklı yorumlarda bulunulabilmesine yardımcı olmaktadır. Eğer $\pi_A(x)$ değeri küçükse x elemanı hakkındaki bilginin belirsizlik derecesinin göreceli olarak daha az olduğu, büyüğe x elemanı hakkındaki bilginin belirsizlik derecesinin göreceli olarak daha fazla olduğu sonucuna varılabilir. $\pi_A(x)$ değerinin 0'a eşit olduğu durumda ise x elemanı hakkındaki bilginin sadece o durum için belirsizlik içermediği yargısına varılabilmektedir.

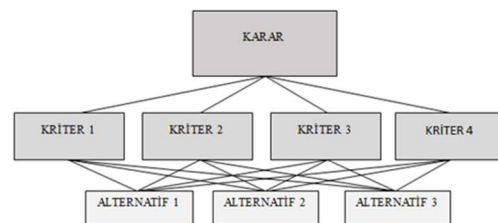
2.2. Sezgisel Bulanık AHP (Intuitionistic Fuzzy AHP)

Sezgisel bulanık AHP yönteminin aşamaları Xu ve Liao (2014) tarafından aşağıdaki gibi özetlenmiştir. Çözüm yönteminin aşamalarının belirtilmesi anlaşılabilirlik açısından gereklidir. Uygulanan yöntemin aşamaları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Problemin Sezgisel Bulanık AHP Yöntemi ile Çözüm Aşamaları (Solution Steps of the Problem with Intuitionistic Fuzzy AHP Method)

Adımlar	Açıklama
1	Problemin kriter ve alternatiflerden oluşan hiyerarşik yapısının oluşturulması
2	Alt kriter ve alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak sezgisel tercih ilişki matrislerinin oluşturulması
3	Sezgisel tercih ilişki matrislerinin tutarlılığının hesaplanması için Algoritma 1'in uygulanması
4	Tutarsız sezgisel tercih ilişki matrislerinin tutarlıklarının kontrol edilmesi
5	Her bir sezgisel tercih ilişki matrisinin öncelik ağırlığı olan ω değerlerinin hesaplanması
6	Hesaplanan öncelik ağırlıklarının birleştirilmesi
7	Genel ağırlıkların hesaplanması ve en büyük ağırlığa sahip alternatifin seçilmesi

Adım 1: Çok kriterli karar verme probleminin amacı ve bu amaca hizmet eden kriter, alt kriter ve alternatiflerden oluşan hiyerarşik yapı oluşturulmalıdır. Şekil 1'de örnek bir yapı gösterilmektedir.



Şekil 1. Hiyerarşik yapının oluşturulması (Creation of Hierarchical Structure)

Adım 2: Hiyerarşik yapıya göre kriter ve alt kriterlerle birlikte, alt kriter ve alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak sezgisel tercih ilişki matrisleri oluşturulur. Bu matrislerin oluşturulmasında geliştirilen 0.1-0.9 ölçeği kullanılmaktadır. Klasik AHP ile sezgisel bulanık AHP'nin temel farklarından biri olan ölçek hakkında detaylı bilgi Tablo 3'te verildiği gibidir.

Tablo 3. Sezgisel Tercih İlişki Matrislerinin Oluşturulmasında Kullanılan Ölçek (Scale for Creating Intuitionistic Preferred Relationship Matrices)

0.1-0.9 Ölçeği Önem Değerleri	Değer Tanımları
0.1	Aşırı derecede tercih edilmeyen
0.2	Çok şiddetle tercih edilmeyen
0.3	Şiddetle tercih edilmeyen
0.4	Kısmen tercih edilmeyen
0.5	Eşit derecede tercih edilen
0.6	Kısmen tercih edilen
0.7	Şiddetle tercih edilen
0.8	Çok şiddetle tercih edilen
0.9	Aşırı derecede tercih edilen
0 ile 1 arasındaki diğer değerler	Uzlaşma için kullanılan ara değerler

3. Adım: Tüm sezgisel tercih ilişki matrislerinin tutarlılığı kontrol edilir. Bu kontrolün yapılması amacıyla Algoritma 1 temel alınarak tüm mükemmel çarpımsal tutarlı sezgisel tercih ilişki matrisi olan $\bar{R} = (\bar{r}_{ik})_{n \times n}$ matrislerinin elde edilmesi gerekir. Matrislerin tümü kabul edilebilir tutarlılıkta ise Adım 5' e, değilse kabul edilebilir tutarlılığa getirilmek üzere Adım 4'e geçilir.

Algoritma 1

$$k > i + 1 \text{ için } \bar{r}_{ik} = (\bar{\mu}_{ik}, \bar{\vartheta}_{ik})$$

$$\bar{\mu}_{ik} = \frac{\sqrt[k-i-1]{\prod_{t=i+1}^{k-1} \mu_{it} \mu_{tk}}}{\sqrt[k-i-1]{\prod_{t=i+1}^{k-1} \mu_{it} \mu_{tk} + \sqrt[k-i-1]{\prod_{t=i+1}^{k-1} (1-\mu_{it})(1-\mu_{tk})}}} \quad (4)$$

$$\bar{\vartheta}_{ik} = \frac{\sqrt[k-i-1]{\prod_{t=i+1}^{k-1} \vartheta_{it} \vartheta_{tk}}}{\sqrt[k-i-1]{\prod_{t=i+1}^{k-1} \vartheta_{it} \vartheta_{tk} + \sqrt[k-i-1]{\prod_{t=i+1}^{k-1} (1-\vartheta_{it})(1-\vartheta_{tk})}}} \quad (5)$$

$$k = i + 1 \text{ için } \bar{r}_{ik} = r_{ik} \quad (6)$$

$$k < i \text{ için } \bar{r}_{ik} = (\bar{\vartheta}_{ki}, \bar{\mu}_{ki}) \quad (7)$$

4. Adım: Denklem (8) temel alınarak tutarsız sezgisel tercih ilişki matrisleri tutarlı hale getirilir.

Tutarlılığın hesaplanması için;

$$d(R, \bar{R}) = \frac{1}{2(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n (|\bar{\mu}_{ik} - \mu_{ik}| + |\bar{\vartheta}_{ik} - \vartheta_{ik}| + |\bar{\pi}_{ik} - \pi_{ik}|) \quad (8)$$

Ve $\tau = 0,1$ olmak üzere $d(R, \bar{R}) < \tau$ ise çıktı R'dir. Yani matris tutarlıdır.

5. Adım: Her bir sezgisel tercih ilişki matrisinin öncelik ağırlığı olan $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ Denklem (7)'de verilen eşitliğe göre hesaplanır.

$$\omega_i = \left(\frac{\sum_{k=1}^n \mu_{ik}}{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n (1-\vartheta_{ik})}, 1 - \frac{\sum_{k=1}^n (1-\vartheta_{ik})}{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \mu_{ik}} \right) \quad (9)$$

6. Adım: Hesaplanan öncelik ağırlıkları Denklem (10) ve (11) kullanılarak birleştirilir.

$r_{ik} = (\mu_{ik}, \vartheta_{ik})$ ve $r_{tl} = (\mu_{tl}, \vartheta_{tl})$ olmak üzere;

$$r_{ik} \otimes r_{tl} = (\mu_{ik} \mu_{tl}, \vartheta_{ik} + \vartheta_{tl} - \vartheta_{ik} \vartheta_{tl}) \quad (10)$$

$$r_{ik} \oplus r_{tl} = (\mu_{ik} + \mu_{tl} - \mu_{ik} \mu_{tl}, \vartheta_{ik} \vartheta_{tl}) \quad (11)$$

7. Adım: 6. Adımdan elde edilen değerler Denklem (10)'da yerine yazılmasıyla elde edilen genel ağırlıklar büyükten küçüğe doğru sıralanır. En yüksek ağırlığa sahip alternatif seçilir.

$$\rho(\alpha) = 0.5(1 + \pi_\alpha)(1 - \mu_\alpha) \quad (12)$$

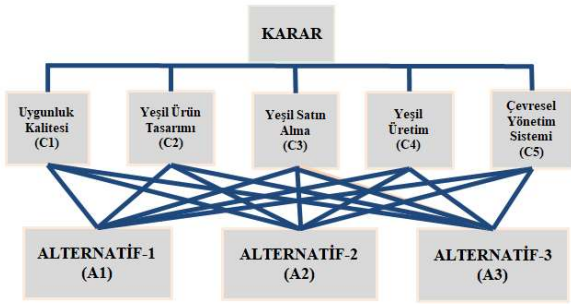
3. Uygulama (Application)

Bu çalışmada, yeşil tedarik zinciri yönetim sistemi incelenmiş ve işletmenin en doğru yeşil tedarikçi seçiminin yapılabilmesi için önem teşkil eden kriterler belirlenmiştir. Uygulama için 5 farklı kriter belirlenmiş ve kuramsal olarak 3 farklı alternatif arasından seçim yapılmıştır. Belirlenmiş olan kriterler için özellikle Chen vd. (2010) çalışmasından yararlanılmıştır. Uygunluk kalitesi, yeşil ürün tasarımı, yeşil satın alma, yeşil üretim ve çevresel yönetim sistemi olarak belirlenen kriterler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Problemin yapısı gereği belirsizlik içerdiği ve uzmanların bazen kesin olmayan dilsel ifadelerinden dolayı tereddüt içerdiğinden Sezgisel Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır.

Adım 1: Problemin kriter ve alternatiflerden oluşan hiyerarşik yapısının oluşturulması

Kuramsal olarak bir işletme, 3 alternatif arasından, uygulanacak yöntemle en uygun tedarikçiyi seçmek istemektedir. Belirlenmiş olan kriter ve alternatiflerden oluşan hiyerarşik yapı Şekil 2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. Yeşil Tedarik Zinciri için Hiyerarşik Yapının Oluşturulması (Creation of Hierarchical Structure for Green Supply Chain)

Adım 2: Alt kriter ve alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak sezgisel tercih ilişkisi matrislerinin oluşturulması

0,1-0,9 ölçeğine göre kuramsal olarak uzmanlar tarafından ikili karşılaştırmalar yapılarak sezgisel tercih ilişkisi matrisleri oluşturulmuştur. Bir x elemanın A kümesine ait olma derecesi (μ_A)'ya göre kriterler arası sezgisel ilişki matrisleri Tablo 5'teki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 5. Kriterler Arası Sezgisel İlişki Matrisi (μ_A) (Intuitionistic Relationship Matrix Between Criteria)

C(μ)	C1	C2	C3	C4	C5
C1	0,5	0,4	0,2	0,3	0,4
C2	0,4	0,5	0,3	0,2	0,3
C3	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5
C4	0,4	0,4	0,2	0,5	0,4
C5	0,6	0,4	0,4	0,6	0,5

Tablo 6'da C1 ve C2 kriterleri için ilişki matrisleri gösterilmiştir. Tüm kriterler için aynı matrisler oluşturulmalıdır.

Tablo 6. Kriterlere Göre Alternatifler Arası Sezgisel İlişki Matrisleri (μ_A) (Intuitionistic Relationship Matrices Between Alternatives According to Criteria)

C1(μ)	A1	A2	A3	C2(μ)	A1	A2	A3
A1	0,5	0,4	0,4	A1	0,5	0,3	0,6
A2	0,3	0,5	0,3	A2	0,6	0,5	0,3
A3	0,4	0,3	0,5	A3	0,3	0,2	0,5

Bir x elemanın A kümesine ait olmama derecesi (ϑ_A)'ya göre oluşturulan kriterler arası sezgisel ilişki matrisleri Tablo 7'deki gibidir.

Tablo 7. Kriterler Arası Sezgisel İlişki Matrisi (ϑ_A) (Intuitionistic Relationship Matrix Between Criteria)

C(v)	C1	C2	C3	C4	C5
C1	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4
C2	0,4	0,5	0,5	0,6	0,5
C3	0,2	0,3	0,5	0,4	0,3
C4	0,4	0,4	0,6	0,5	0,4
C5	0,2	0,4	0,4	0,2	0,5

Tablo 8'de C1 ve C2 kriterleri için alternatiflerin birbirlerine olan etki derecelerinden oluşan ilişki matrisleri gösterilmiştir. Tüm kriterler için aynı matrisler oluşturulmalıdır.

Tablo 8. Kriterlere Göre Alternatifler Arası Sezgisel İlişki Matrisleri (ϑ_A) (Intuitionistic Relationship Matrices Between Alternatives According to Criteria)

C1(v)	A1	A2	A3	C2(v)	A1	A2	A3
A1	0,5	0,3	0,3	A1	0,5	0,6	0,3
A2	0,4	0,5	0,4	A2	0,3	0,5	0,6
A3	0,3	0,4	0,5	A3	0,6	0,7	0,5

Bir x elemanın A kümesine ait olma durumunun tereddüt derecesi (π_A)'ya göre kriterler arası sezgisel ilişki matrisleri Tablo 9'daki gibidir.

Tablo 9. Kriterler Arası Sezgisel İlişki Matrisi (π_A) (Intuitionistic Relationship Matrix Between Criteria)

π	C1	C2	C3	C4	C5
C1	0	0,2	0,2	0,2	0,2
C2	0,2	0	0,2	0,2	0,2
C3	0,2	0,2	0	0,2	0,2
C4	0,2	0,2	0,2	0	0,2
C5	0,2	0,2	0,2	0,2	0

C1, C2 ve C3 kriterleri için ilişki matrisleri Tablo 10'da gösterilmiştir. Tüm kriterler için aynı matrisler oluşturulmalıdır.

Tablo 10. Kriterlere Göre Alternatifler Arası Sezgisel İlişki Matrisleri (π_A) (Intuitionistic Relationship Matrices Between Alternatives According to Criteria)

C1(π)	A1	A2	A3	C2(π)	A1	A2	A3
A1	0	0,3	0,3	A1	0	0,1	0,1
A2	0,3	0	0,3	A2	0,1	0	0,1
A3	0,3	0,3	0	A3	0,1	0,1	0

Adım 3: Sezgisel tercih ilişki matrislerinin tutarlılığının hesaplanması için algoritmaların uygulanması

$k > i + 1$ koşulunu sağlayan tüm $\bar{\mu}_A, \bar{\nu}_A$ değerleri için Denklem (4) ve Denklem (5) uygulanır;

$$\bar{\mu}_{13} = \frac{\mu_{12} \mu_{23}}{\mu_{12} \mu_{23} + (1 - \mu_{12})(1 - \mu_{23})} = 0,2$$

$$\bar{\mu}_{14} = \frac{^{4-1-1}\sqrt{\mu_{12} \mu_{24} \mu_{13} \mu_{34}}}{^{4-1-1}\sqrt{\mu_{12} \mu_{24} \mu_{13} \mu_{34}} + ^{4-1-1}\sqrt{(1 - \mu_{12})(1 - \mu_{24})(1 - \mu_{13})(1 - \mu_{34})}} = 0,1$$

$k = i + 1$ koşulunu sağlayan tüm $\bar{\mu}_A, \bar{\nu}_A$ değerleri için Denklem (6) uygulanır;

$$\begin{aligned} \bar{r}_{12} &= r_{12} = 0,4 \\ \bar{r}_{23} &= r_{23} = 0,3 \\ \bar{r}_{34} &= r_{34} = 0,4 \\ \bar{r}_{45} &= r_{45} = 0,4 \end{aligned}$$

$k < i$ koşulunu sağlayan tüm $\bar{\mu}_A, \bar{\nu}_A$ değerleri için Denklem (7) uygulanır;

$$\begin{aligned} \bar{r}_{21} &= (\bar{\mu}_{12}, \bar{\nu}_{12}) = (0,4, 0,4) \\ \bar{r}_{32} &= (\bar{\mu}_{23}, \bar{\nu}_{23}) = (0,3, 0,5) \end{aligned}$$

Yukarıdaki koşullar tüm sezgisel ilişki matrislerine uygulanır.

Kriterler arası matrisler için uygulanan algoritma sonucu Tablo 11 elde edilir.

Tablo 11. Mükemmel Çarpımsal Tutarlı Sezgisel Tercih İlişki Matrisi (Perfect Multiplicative Consistent Intuitive Preference Relationship Matrix)

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	(0,5;0,5)	(0,4;0,4)	(0,2;0,4)	(0,1;0,5)	(0,2;0,4)
C2	(0,4;0,4)	(0,5;0,5)	(0,3;0,5)	(0,2;0,4)	(0,2;0,4)
C3	(0,4;0,2)	(0,5;0,3)	(0,5;0,5)	(0,4;0,4)	(0,3;0,3)
C4	(0,5;0,1)	(0,4;0,2)	(0,4;0,4)	(0,5;0,5)	(0,4;0,4)
C5	(0,4;0,2)	(0,4;0,2)	(0,3;0,3)	(0,4;0,4)	(0,5;0,5)

Adım 4: Tatarsız sezgisel tercih ilişki matrislerinin tutarlıklarının kontrol edilmesi

Beş kriterli problem için tutarlılık kontrolü yapılır. Kriterler arası sezgisel ilişki matrisi için tutarlılık hesabı Denklem (8) ile hesaplanmıştır.

$$d(R, \bar{R}) = \frac{1}{2(5-1)(5-2)} \sum_{i=1}^5 \sum_{k=1}^5 (|\bar{\mu}_{ik} - \mu_{ik}| + |\bar{\nu}_{ik} - \nu_{ik}| + |\bar{\pi}_{ik} - \pi_{ik}|)$$

$$d(R, \bar{R}) = \frac{1}{2(5-1)(5-2)} (|\bar{\mu}_{11} - \mu_{11}| + |\bar{\nu}_{11} - \nu_{11}| + |\bar{\pi}_{11} - \pi_{11}| + |\bar{\mu}_{12} - \mu_{12}| + |\bar{\nu}_{12} - \nu_{12}| + |\bar{\pi}_{12} - \pi_{12}| + |\bar{\mu}_{13} - \mu_{13}| + |\bar{\nu}_{13} - \nu_{13}| + |\bar{\pi}_{13} - \pi_{13}| + |\bar{\mu}_{14} - \mu_{14}| + |\bar{\nu}_{14} - \nu_{14}| + |\bar{\pi}_{14} - \pi_{14}| + |\bar{\mu}_{15} - \mu_{15}| + |\bar{\nu}_{15} - \nu_{15}| + |\bar{\pi}_{15} - \pi_{15}|)$$

$$d(R, \bar{R}) = 0,045$$

Kriterler arası sezgisel ilişki matrisinin tutarlılık değeri yukarıdaki gibidir. Benzer şekilde kriterlere göre alternatifler arası sezgisel ilişki matrislerinin de Denklem (8) ile tutarlılık değerleri hesaplanır.

Kontrol edilen tüm sezgisel tercih ilişki matrislerinin hesaplanan tutarlılık değerleri Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Tutarlılık Değerleri (Consistency Values)

Tutarlılık Hesabı	Sonuç
0,045	TUTARLI
0,021	TUTARLI
0,037	TUTARLI
0,010	TUTARLI
0,016	TUTARLI
0,035	TUTARLI

Elde edilen değerler 0,1’den küçük olduğundan matrisler tutarlıdır.

Adım 5: Her bir sezgisel tercih ilişki matrisinin öncelik ağırlığı olan ω değerlerinin hesaplanması

Denklem (9) kullanılarak $R\omega(\mu, \nu)$ değerleri elde edilmiştir.

$R\omega(\mu)$

$$= \left(\begin{array}{c} \frac{\mu_{11} + \mu_{12} + \mu_{13} + \mu_{14} + \mu_{15}}{(1 - \vartheta_{11}) + (1 - \vartheta_{12}) + (1 - \vartheta_{13}) + (1 - \vartheta_{14}) + (1 - \vartheta_{15}) + (1 - \vartheta_{21}) + (1 - \vartheta_{22}) + (1 - \vartheta_{23}) + (1 - \vartheta_{24}) + (1 - \vartheta_{25}) + (1 - \vartheta_{31}) + (1 - \vartheta_{32}) + (1 - \vartheta_{33}) + (1 - \vartheta_{34}) + (1 - \vartheta_{35}) + (1 - \vartheta_{41}) + (1 - \vartheta_{42}) + (1 - \vartheta_{43}) + (1 - \vartheta_{44}) + (1 - \vartheta_{45}) + (1 - \vartheta_{51}) + (1 - \vartheta_{52}) + (1 - \vartheta_{53}) + (1 - \vartheta_{54}) + (1 - \vartheta_{55})} \\ 1 - \frac{(1 - \vartheta_{11}) + (1 - \vartheta_{12}) + (1 - \vartheta_{13}) + (1 - \vartheta_{14}) + (1 - \vartheta_{15})}{\mu_{11} + \mu_{12} + \mu_{13} + \mu_{14} + \mu_{15} + \mu_{21} + \mu_{22} + \mu_{23} + \mu_{24} + \mu_{25} + \mu_{31} + \mu_{32} + \mu_{33} + \mu_{34} + \mu_{35} + \mu_{41} + \mu_{42} + \mu_{43} + \mu_{44} + \mu_{45} + \mu_{51} + \mu_{52} + \mu_{53} + \mu_{54} + \mu_{55}} \end{array} \right)$$

$R\omega(\mu, \vartheta) = (0,1, 0,7)$ sonucuna varılır.

İşlemler tüm elemanlar için yapıldıktan sonra Tablo 13'teki genel matris elde edilmiş olur.

Tablo 13. Öncelik ağırlıkları hesaplanmış genel matris(General Matrix Priority Weights Calculated)

	C1	C2	C3	C4	C5
R	(0,1;0,7)	(0,1;0,7)	(0,1;0,7)	(0,1;0,7)	(0,2;0,7)
A1	(0,2;0,4)	(0,3;0,5)	(0,2;0,7)	(0,2;0,7)	(0,2;0,7)
A2	(0,2;0,5)	(0,3;0,5)	(0,3;0,5)	(0,29;0,6)	(0,3;0,6)
A3	(0,2;0,5)	(0,2;0,6)	(0,3;0,5)	(0,4;0,5)	(0,3;0,6)

Adım 6: Hesaplanan öncelik ağırlıklarının birleştirilmesi

Öncelik ağırlıklarının birleştirilebilmesi için Tablo 13'teki $R\omega(\mu, \vartheta)$ ile $A\omega(\mu, \vartheta)$ değerleri Denklem (10) kullanılarak çarpılır.

$A1\omega(\mu_{11}) = (0,12 \times 0,24) = 0,030$

$A1\omega(\mu_{12}) = (0,12 \times 0,31) = 0,037$

$A1\omega(\mu_{13}) = (0,17 \times 0,19) = 0,033$

$A1\omega(\mu_{14}) = (0,13 \times 0,21) = 0,027$

$A1\omega(\mu_{15}) = (0,17 \times 0,21) = 0,036$

Bu çarpım değerlerinden sonra $\omega_1(\mu)$ değerini hesaplamak için elde edilen çarpımlar toplamsal özel formüllerle birbirine eklenir. Denklem (11) kullanılarak toplamsal işlemler yapılır.

$(0,030 + 0,037) - (0,030 \times 0,037) = 0,066$

$(0,33 + 0,066) - (0,33 \times 0,066) = 0,097$

$(0,027 + 0,097) - (0,027 \times 0,097) = 0,122$

$(0,036 + 0,122) - (0,036 \times 0,122) = 0,154$

$\omega_1(\mu) = 0,154$ olarak bulunur.

Yani ;

$\omega_1(\mu, \vartheta) = (0,125;0,750) \otimes (0,240;0,472) \oplus$

$(0,118;0,759) \otimes (0,318,0,578) \oplus$

$(0,173;0,682) \otimes (0,192;0,739) \oplus$

$(0,131;0,740) \otimes (0,208;0,714) \oplus (0,173;0,682) \otimes$

$(0,207;0,723)$

$\omega_1(\mu, \vartheta) = (0,154, 0,604)$ olarak bulunur.

$\omega_1(\pi) = 1 - (0,154) - (0,604) = 0,241$ olarak bulunur.

Aynı şekilde tüm öncelik ağırlıkları birleştirilmiş ve Tablo 14'de gösterilmiştir.

Tablo 14. Öncelik Ağırlıkları Birleştirilerek Elde Edilmiş Ağırlıklar(Weights Obtained by Combining Priority Weights)

	(μ)	(ν)	π
ω_1	0,154	0,604	0,241
ω_2	0,202	0,532	0,265
ω_3	0,206	0,528	0,265

Adım 7: Genel ağırlıkların hesaplanması ve en büyük ağırlığa sahip alternatifin seçilmesi

Denklem (12) kullanılarak alternatiflerin genel ağırlıkları hesaplanmıştır.

$P(\omega_1) = 0,5 (1+0,241)(1-0,154)$

$P(\omega_2) = 0,5 (1+0,265)(1-0,202)$

$P(\omega_3) = 0,5 (1+0,265)(1-0,206)$

Böylece alternatiflerin kriterlere bağlı olarak sahip olduğu genel ağırlıklar belirlenmiş ve Tablo 15'de verilmiştir.

Tablo 15. Alternatiflerin genel ağırlıkları(General weights of alternatives)

	Genel Ağırlık
$P(\omega_1)$	0,525
$P(\omega_2)$	0,504
$P(\omega_3)$	0,501
Max	0,525

Bu sonuca göre Tedarikçi 1 en yüksek genel ağırlığa sahip olduğu için tercih edilmesi gereken alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

4. Sonuçlar (Conclusions)

Günümüz işletme stratejilerinde tedarikçi değerlendirme kriterlerinde yeşil algısına ve çevresel yönetim sistemine ne derece öncelik tanındığı tartışma konusudur. İşletmelerin öncelikli olarak kar amacı gütmeleri bu kriterlerden uzaklaşarak farklı kriterlere yoğunlaşmalarına neden olmaktadır. Yeşil tedarik zinciri kriterlerine gerektiği kadar öncelik tanınmaması, kaynakların tükenmesi ve günümüz yaşam koşulları dikkate alındığında işletmelerin bu tavrı gelecek için tehlike oluşturmaktadır. İşletmeler tedarik zinciri uygulamalarına yeşil yaklaşımını katarak maliyetlerini azaltabilmektedir. Aynı zamanda verimliliğini artırarak ürünlerinin kalitelerinde iyileştirmeler yapabilmektedir.

Bu çalışmada tedarikçi belirleme probleminin çözümü için sezgisel bulanık AHP yöntemi kullanılarak en iyi alternatif belirlenmiş, kriterlerin yeşil tedarik zinciri açısından önemi açıklanmıştır. Uygulama sonucunda öncelik ağırlıkları birleştirilerek elde edilmiş genel ağırlıklar arasından 0,525 değeri ile en büyük olan Alternatif 1 seçilmiştir. Alternatif 2'nin genel ağırlığı 0,504 ile ikinci sırada, Alternatif 3'ün genel ağırlığı ise 0,501 ile üçüncü sırada çıkmıştır. Şayet sadece bir alternatif seçimi yapılacaksa bu sonuca göre Alternatif 1 tercih edilmelidir. Ancak, yeni bir alternatife daha ihtiyaç duyulması durumunda Alternatif 2 seçilecektir. Birden fazla sayıda performans kriterini dikkate alarak alternatifler arasından en uygun olanına karar verme problemleriyle devamlı karşılaşılmaktadır. Sezgisel bulanık AHP gibi çok kriterli karar verme teknikleri bu problemlerin çözümünde daha doğru sonuçlar elde edebilmemize olanak sağlamaktadır. Çok kriterli karar vermenin etkililiği bakımında sezgisel bulanık AHP yöntemi ile diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinin birlikte ve bütünlük olarak kullanılması gelecek çalışmalarında faydalı olacaktır. Bununla birlikte sezgisel bulanık sayıların diğer çok kriterli karar verme yöntemlerine de uyarlanması düşünülmelidir.

Kaynaklar (References)

Chen, C. C., Tseng, M. L., Lin, Y. H., Lin, Z. S., 2010. Implementation of Green Supply Chain Management In Uncertainty. In Proceedings of International Conference on IE&EM, IEEE 7–10 December, (260–264).

Dan-li, D., Zhen, F., Hong-yan, Z., 2011. Research on the Price Negotiation Mechanism of Green Supply Chain of Manufacturing Industry from the Angle of Customer Behavior. International Conference on Management Science & Engineering (18th), September 13-15, 2011.

Dammak, F., Baccour, L., Alimi, A. M., 2015. A Comparative Analysis for Multi-Attribute Decision Making

Methods: TOPSIS, AHP, VIKOR Using Intuitionistic Fuzzy Sets. 2015 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2-5 Aug. 2015.

Deepika, M., Kannan, A. S., 2016. Global Supplier Selection using Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process. International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT) – 2016, Sivakasi, Tamilnadu, India.

Denizhan, B., Yılmaz Yalçınar, A., Berber, Ş., 2017. Analitik Hiyerarşi Proses ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemleri Kullanılarak Yeşil Tedarikçi Seçimi Uygulaması, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt 6(1) 63-78.

Fahmi, A., Derakhshan, A., Kahraman, C., 2015. Human Resources Management using Interval Valued Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process. 2015 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2-5 Aug. 2015, İstanbul, Turkey.

Güzel, D., Demirdöğen, O., 2016. Tedarik zinciri bütünleşmesi yeşil tedarik zinciri uygulamaları ve işletme performansı arasındaki ilişki üzerine bir araştırma, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 6(2).

Han Park, J., Young Park, I., Chel Kwun, Y., Tan, X., 2011. Extension of the TOPSIS method for decision making problems under interval-valued intuitionistic fuzzy environment, Applied Mathematical Modelling, 35, 2544-2556

Lin, R. J., Sheu, C., 2011. Governing Green Supply Chain: A Transaction Cost Perspective. 2011 IEEE International Summer Conference of Asia Pacific Business Innovation and Technology Management, 10-12 July 2011, Dalian, China.

Özkan Özen, Y. D., Koçak, A., 2017. Bulanık Analitik Hiyerarşi ve Bulanık Dematel Yöntemleri Kullanılarak Kurumsal Kaynak Planlaması Yazılım Seçimi ve Değerlendirilmesi, Yönetim ve Ekonomi, Cilt:24, Sayı:3.

Sadiq, R., Tesfamariam, S., 2007. Environmental decision-making under uncertainty using intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process (IF-AHP). Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, January 2009, Ottawa, Canada, Volume 23, Issue 1, pp 75–91.

Sisman, B., 2016. Bulanık Moora Yöntemi Kullanılarak Yeşil Tedarikçi Geliştirme Programlarının Seçimi ve Değerlendirilmesi, Journal of Yasar University, 11/44, 302-315.

Uygun, Ö., Dede, A., 2016. Performance evaluation of green supply chain management using integrated fuzzy multi-criteria decision making techniques. Computers & Industrial Engineering, 102 (2016) 502–511.

Xu, Z., Liao H., 2014. Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 22, No.4, August 2014.

Zhang, C., Li, W., Wang, L., 2011. AHP under the Intuitionistic Fuzzy Environment, 2011 Eighth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 978-1-61284-181-6/11.