



# Journal of Turkish Operations Management

## Farklı tarımsal üretim yöntemleri sonucu elde edilen ürün kalitesi analizi için sürdürülebilir melez bulanık ÇKKV yaklaşımı uygulaması

Yavuz Selim Özdemir<sup>1\*</sup>, Şeyda Savalan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara Bilim Üniversitesi, Ankara, Türkiye  
e-mail: ysozdemir.phd@gmail.com , ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4418-2163>

<sup>2</sup>Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye  
e-mail: sdaneshvar@nku.edu.tr , ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-7047-0943>

\*Sorumlu Yazar

### Makale Bilgisi

#### Makale Geçşi:

Geliş: 23.05.2022  
Revize: 06.06.2022  
Kabul: 07.06.2022

#### Anahtar Kelimeler:

Tarımsal üretim yöntemleri sonucu elde edilen ürün, Bulanık AHS, VIKOR, ÇKKV

### Özet

Son yıllarda, bilinçli nüfusun artışı tarımsal üretim yöntemlerine dayanarak elde edilen ürün kalitesinin irdelenme gerekliliği artırmaktadır. Tarımsal üretim sonucu elde edilen ürün kalitesiyle ilgili çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Genetik mühendislik yöntemleri sonucu elde edilen ürünler (GDO) verimlidir. Ancak doğal olmayan bu sürecin uzun vadede doğaya ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin ortaya çıkacağı varsayılmaktadır. Endüstriyel tarım yöntemleriyle elde edilen ürünlere bakıldığında ürün miktarı bakımından yüksek olsa da kullanılan yüksek miktar gübre ve insektisit insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Son olarak Organik tarım ile elde edilen organik ürünler ise, endüstriyel üretim yöntemlerinin ve genetik mühendisliğinin olumsuz etkilerini ortadan kaldırarak hem çevreyi hem de tüketici sağlığını korumayı amaçlamaktadır ancak bu üretim yöntemiyle elde edilen ürün miktarı düşükken maliyeti yüksektir ve toplumun her kesimine hitap etmemektedir. Bu çalışmada Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (B-AHS) ve VIKOR metotları bir arada kullanılarak melez bir model oluşturulmuş ve tarımsal yöntemler ile elde edilen ürün seçim problemine sürdürülebilir bir çözüm önermek için karar destek sistemi geliştirilmiştir. Yöntemin ilk adımında Memnuniyet (C1), Ekonomi (C2) ve Sağlık (C3) kriterleri B-AHS ile değerlendirilmiş ve ağırlıklar belirlenmiştir. İkinci adımda ise VIKOR yöntemi ile önerilen tarım ürününün değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu araştırmanın amacı, tarımsal teknolojilerini kullanarak elde edilen ürün uygunluğunu değerlendirmek ve derecelendirmek için eksiksiz bir çerçeve oluşturmaktır. Önerilen ürün geçerliliğinin gösterilmesi için, güncel veriler ile gerçek bir problem üzerinde uygulama yapılmıştır.

## Application of sustainable hybrid fuzzy MCDM approach for product quality analysis from different agricultural production methods

### Article Info

#### Article History:

Accepted: 23.05.2022  
Received: 06.06.2022  
Revised: 07.06.2022

#### Keywords:

Agricultural Production Technique, Fuzzy AHP, VIKOR, MCDM

### Abstract

In recent years, the increase in the conscious population increases the need to examine the product quality obtained based on agricultural production methods. There are various approaches to product quality obtained as a result of agricultural production. Crops resulting from genetic engineering methods (GMOs) are efficient. However, it is assumed that this unnatural process will have negative effects on nature and human health in the long term. When we look at the products obtained by industrial agriculture methods, although it is high in terms of the amount of product, the high amount of fertilizer and insecticide used adversely affects human health. Finally, organic products obtained by organic agriculture aim to protect both the environment and consumer health by eliminating the negative effects of industrial production methods and genetic engineering, but while the amount of product obtained by this production method is low, its cost is high and does not appeal to all segments of society. In this study, a hybrid model was created by using the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (F-AHP) and VIKOR methods from Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods together and a decision support system was developed to propose a sustainable solution to the product selection problem obtained by agricultural methods. In the first step of the method, Satisfaction (C1), Economy (C2), and Health (C3) criteria were evaluated with F-AHP, and weights were determined. In the second step, the evaluation of the proposed agricultural product by the VIKOR method was made. This research aims to create a complete framework for assessing and rating the product suitability obtained using agricultural technologies. To demonstrate the validity of the proposed product, an application was made on a real problem with current data.

## 1. Giriş

1950'li yılların başından itibaren endüstriyel tarım olarak adlandırılan, tarımsal üretimde yoğun bir şekilde kullanılan gübre ve pestisitler üretimde ve verimlilikte çok büyük kazanımlar sağlanmıştır. Bunun doğal sonucu olarak, uluslararası gıda üretimi büyük oranda artış göstermiştir. Dünya Bankası verilerine göre, gıda üretimindeki artışların %70 ile %90 arasında endüstriyel tarımdan kaynaklanmaktadır. Endüstriyel tarımın faydaları arasında, büyük ölçekli çiftlikler, teknik yeniliklere kolay adaptasyon, yüksek gelir, çiftlik mekanizasyonu, endüstriyel gübre kullanımı ve tek tip yüksek verimli melez mahsuller gösterilebilir (Vanbergen et al., 2020). Bütün bu faydalarına rağmen endüstriyel tarımın çevresel ve sosyal dezavantajları bulunmaktadır. Ayrıca endüstriyel tarım ürünlerinin insan sağlığına etkisi günümüzde halen tartışmalı bir konudur (Fabris et al., 2020). Tarımsal üretimde yoğun bir şekilde kullanılan gübre ve insektisit, bir yandan yüksek verim getirmişken diğer yandan çevre ve insan sağlığı sorunlarını artırmıştır. Son yıllarda Çevre ve insan sağlığı sorunlarının önemli boyutlara ulaşması sonucunda yoğun gübre ve kimyasal kullanımının olumsuz etkileri tartışılmaya başlanmıştır. Bu tartışmalar özellikle gelişmiş ülkelerde daha fazla olmuş; üreticiler ve tüketiciler kimyasal girdiler kullanılmadan üretilmiş, çevreye ve insana zarar vermeyen doğanın dengesini etkilemeyen tarım ürünlerinin üretimini ve tüketimini talep etmeye başlamışlardır (Ataseven & Güneş, 2008)

İnsanlar, tarih boyunca doğal seleksiyon etkisi ile gelişen melez türlerini ihtiyaçları doğrultusunda kullanmışlardır. Klasik ıslah yöntemlerinin kullanılmaya başlanması ile de yetiştiriciliği yapılan bitkilerin daha verimli olmaları sağlanmıştır (Atsan & Erem Kaya, 2008). Dünya nüfusunun sürekli artmasından dolayı birim alandan alınan verimin artırılması; ekilebilir alan artırılmasından daha çok önem kazanmış ve çalışmalara bu yönde ağırlık verilmiştir. Yeşil devrim olarak adlandırılan (1965-1985) dönemde, klasik ıslah yöntemleri ile birlikte sentetik gübreler, bitki büyüme düzenleyiciler, pestisitler ve son teknolojik makinelerin kullanılmasıyla, elde edilen tarımsal ürünlerin kalite ve veriminde kayda değer başarılar elde edilmiştir. Fakat zamanla pestisitlerin toprakta birikmeye başlaması, gübre kullanımında aşırıya kaçılması çevre ve insan sağlığına kalıcı zarar vermeleri ve geleneksel ıslah yöntemleriyle elde edilen ürünlerin çok zaman alması ve melezleme yapılabilecek türlerin az olması gibi dezavantajlar yeşil devrimin yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır (Arvas & Kaya, 2019). Hızla gelişen teknolojik yenilikler ve endüstriyel tarımın uygun altyapısının bir sonucu olarak, genetik mühendisliği ile ilgili çalışmalar yapılmaya başlamıştır. Bu ilerlemenin bir sonucu olarak, genetiği değiştirilmiş tohumların tarımda kullanımına başlanmıştır. Artan mahsul verimi, artan besin içeriği, daha düşük gıda maliyetleri, artan gıda kalitesi, ürünlerin daha hızlı olgunlaşması, haşerelere ve hastalıklara karşı direnç genetik mühendisliğinin faydalarından sadece birkaçıdır (Saputri, Sutopo, Hisjam, & Ma'aram, 2019). Ayrıca genetiği değiştirilmiş tohumların çevresel stres faktörlerine dayanıklı olması ve bitkilerin normalde gelişemeyecekleri ortamlarda hayatta kalmalarını sağlanmıştır. Nitekim dünya genelinde 1996 yılında 1,7 milyon hektar GDO'lu ürün ekimi yapılmışken, 2017 yılında bu rakam 189,8 milyon hektara ulaşmıştır (James, 2017). Bununla birlikte, insan sağlığı veya çevre üzerindeki potansiyel olumsuz etkiler de dahil olmak üzere, genetiği değiştirilmiş organizmaların (GDO) kullanımıyla ilgili riskler ve anlaşmazlıklar vardır (Yang & Chen, 2016).

Organik tarım, endüstriyel ve genetiği değiştirilmiş tarım tekniklerinin olumsuz sonuçlarından kaçınarak çevreyi korumayı ve organik ürünler sunarak müşterileri memnuniyetini özellikle insan sağlığını korumayı amaçlar. Bilinçli nüfusun artması, Gıda güvenliği talebi, artan çevresel kaygılar ile beraber hızla büyümekte ve organik ürünlere olan talebin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca organik tarımın, toprak verimliliğini ve biyolojik çeşitliliği iyileştirdiği gösterilmiştir (Mäder et al., 2002). organik tarım sistemlerinin bir yandan gıda güvenliğini sağlarken bir yandan da iklim değişikliğine karşı koyabileceği öngörülmektedir (Muller et al., 2017). Organik tarımın sayısız faydasına rağmen elde edilen organik gıdalar, diğer yöntemlere göre daha yüksek maliyetlidir. Çiftçiler, organik tarım ile diğer yöntemlere göre daha az ürün elde etmekte ve daha fazla emek harcamaktadır. Organik gıda, daha düşük miktarlarda üretildiği için geleneksel gıdaya göre satışı ve dağıtımı da daha zordur. Toprağın kısıtlı bir kaynak olduğu göz önüne alındığında, organik tarımın dünya nüfusunu sürdürmek için yeterli gıdayı sağlayamayacağı apaçık ortadadır (Akhmetshina, Sergeev, & Mottaeva, 2019).

Son yıllarda, özellikle yöneylem araştırması alanında, ÇKKV problemlerine ve çözüm yöntemlerine olan ilgi artmıştır. ÇKKV yöntemleri, belirlenen kriterler çerçevesinde, birden çok sayıda aday arasından mümkün olan en iyi alternatifin seçilmesini sağlar (Piya, Shamsuzzoha, Azizuddin, Al-Hinai, & Erdebilli, 2022). Karar verme süreci, bir durum hakkında kesin bilgilerin olmayışı, değişken önem derecelerine sahip bir dizi kriterin varlığı ve bir kriterin diğer karar vericiler için önemli olup olmadığını belirlemenin zorluğu nedeniyle, oldukça karmaşık bir yapıdadır (Eraslan & İç, 2011). Bire bir karşılaştırmalar basit kararlar için işe yarar gibi görünse de iş hayatında pek işe yaramaz. Çoğu iş senaryosu ÇKKV içerdiğinden, şirket yönetimindeki sorunlar oldukça karmaşıktır. Bu sorunların üstesinden gelmek için çok kriterli karar prosedürleri uygun şekilde seçilmelidir (Özdemir & Üsküdar, 2020).

AHS, çok sayıda kriterin bulunduğu, nicel veya nitel verilerin kullanıldığı karmaşık karar verme problemlerini ele almak için geliştirilmiş yöntemdir (Saaty, 1980). Bu yöntem, sorunların tek yönlü hiyerarşik ilişkilerle hiyerarşik formlar olarak temsil edildiği bir dizi uygulamaya sahiptir. AHS adımları genel olarak: problem hiyerarşik yapısının oluşturulması, kriterlerin ve alternatiflerin birbirine göre değerlendirilmesi, önceliklerin belirlenmesi ve genel sıralamanın oluşturulması şeklinde özetlenebilir (Tai & Chen, 2009). Ancak bu adımlar karmaşık süreçlerde yeterli olmayabilir. Karar vericilerin dilsel belirsizliklerini de karar verme sürecine dahil etmek için AHS yöntemi ile bulanık kümeler bir arada kullanılmaktadır.

Karmaşık problemlerin ele alınmasında, bireysel kararlardan ziyade grup kararı almak daha iyi sonuçlar vermektedir (Fan & Liu, 2010). Bu çalışmada, kriter ağırlıklarının hesaplanması için B-AHS yöntemi kullanılmıştır. Yöntem uygulamasında beş kişiden oluşan bir uzman grubun görüşlerinden faydalanılmıştır. Alternatif olarak belirlenen üretim yöntemlerinin değerlendirilmesinde ise VIKOR yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatürdeki önemli çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde B-AHS ve VIKOR metotları açıklamaktadır. Dördüncü bölümde, önerilen yöntemin uygulaması yapılmış ve uygulama sonuçları açıklanmıştır. Son bölüm olan bölüm beşte makalenin etkileri ve gelecekteki olası araştırmalar hakkında bilgilere yer verilmiştir.

## 2. Bilimsel Yazın Taraması

Çalışmanın bu bölümünde, tarımsal üretim sonucu elde edilen ürün seçimi ile ilgili literatürün kapsamlı bir analizini yapılmıştır. Daha önceki çalışmalar incelendiğinde, tarımsal üretim teknikleri ve bu tekniklerin kullanımı sonucu elde edilen ürünlerin seçimine yönelik araştırmalarda ağırlıklı olarak nicel teknikler kullanıldığı görülmektedir. Tarım ürünlerinin çeşitli açılardan analiz edilmesi ve tarımsal üretimin optimize edilmesi için Mokarram ve arkadaşları buğday ekimi için bulanık sınıflandırma ve parametrik tekniklerinin etkinliğini incelemiştir. (Mokarram, Rangzan, Moezzi, & Baninemeh, 2010). Tilman ve arkadaşları ise tarımsal sürdürülebilirlik ve yoğun üretim uygulamaları üzerine araştırmalar yapmıştır (Tilman, Cassman, Matson, Naylor, & Polasky, 2002).

Yakın zamanda ÇKKV yöntemlerinin tarımsal üretim sonucu elde edilen ürün literatüründe yaygın bir şekilde kullanılmaya başladığı görülmektedir. ÇKKV tekniklerinde, çeşitli gerçeklere, değerlere ve paydaş görüşlerine en uygun yanıtı belirlemek için yapılandırılmış prosedürler ve algoritmalar kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar, genel olarak, karar vermedeki belirsizliği ortadan kaldırmaya çalışır. Belirsizliğin ve dilsel değişkenliğin yoğun olduğu durumlarda, ÇKKV ve bulanık kümelerin beraber kullanılması literatürde sıklıkla kullanılan bir yaklaşımdır. ÇKKV tekniklerinin kullanan Nasiri ve arkadaşları, ekolojik tarımsal üretimi tahmin etmek için melez B-AHP ve PROMETHEE II yöntemini kullanmışlardır (Nasiri, Alavipanah, Matinfar, Azizi, & Hamzeh, 2012). Çalışmalarında, belirledikleri kriterleri kullanarak arazinin ekolojik potansiyeli analiz etmişlerdir. Makale, B-AHS ve PROMETHEE II melez metodunun etkinliğini göstermiştir. Demirel ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise bulanık analitik ağ süreçleri kullanılmış ve Türkiye için dilsel kavramlara dayalı bir tarım planı oluşturulmuştur. Çalışmada bir tarım stratejisinde yer alan risk değerlendirmeleri, ekolojik yapı, sosyoekonomik yapı ve teknolojik yapı gibi kriterler yer almıştır (Demirel, Yücenur, Demirel, & Muşdal, 2012).

Tarımsal üretim tekniği belirleme sürecini değerlendirmek için kullanılan kriterler belirlenirken daha önce kullanılan kriterler incelenmiştir. AHS-VIKOR ve SAW yaklaşımları, Pourkhabbaz ve ekip arkadaşları tarafından melezlenerek, potansiyel tarımsal arazi kullanımının belirlenmesi için uygunluk analizinde kullanılmıştır. (Pourkhabbaz, Javanmardi, & Faraji Sabokbar, 2014). Çalışmada bir örnek vaka incelemesi üzerinde önerilen AHP-VIKOR yaklaşımının etkinliği de gösterilmiştir. Ren ve arkadaşları, karar vericilerin sulama suyu ve arazi kaynağı tahsisi kararları vermesini sağlayan gelişmiş bir melez çok amaçlı stokastik bulanık programlama - AHS tekniği geliştirmişlerdir (Ren, Li, & Zhang, 2019). Bulanık ÇKKV ve hata türleri etki analizi (FMEA) yönetimleri Zandi ve arkadaşları tarafından tarımsal riskleri yönetmek için kullanılmıştır (Zandi, Rahmani, Khanian, & Mosavi, 2020). Son yıllarda yapılan araştırmalardan bir diğer de Pilevar ve arkadaşları tarafından yayımlanmıştır (Pilevar, Matinfar, Sohrabi, & Sarmadian, 2020). Makalede, buğday ve mısır için arazinin uygunluğunu belirlemek üzere entegre bir B-AHS ve coğrafi bilgi sistemi yaklaşımı oluşturulmuştur.

Tashayo ve diğerleri, tarım arazisi uygunluğu problemi için B-AHP ve coğrafi bilgi sistemi kombinasyonunu kullanmışlardır (Tashayo, Honarbakhsh, Azma, & Akbari, 2020). Bir diğer çalışmada ise Endonezya'da yapılmış ve yerel organik tarımsal kalkınma için Firdaus ve arkadaşları tarafından yeni bir strateji önerilmiştir (Firdaus, Adiprasetyo, & Suhartoyo, 2021). Araştırmacılar organik tarımın geliştirilmesinde gereken stratejiyi belirlemek

için B-AHS yöntemini kullanmışlardır. Ayrıca çalışmanın sonucunda, rekabetçi ve ihracata yönelik yeni organik ürünlerin geliştirilmesinin ve pazarlanmasının stratejik öneminden de bahsedilmiştir. Bulanık kümelerin kullanıldığı güncel çalışmalardan bir diğeri ise Alem tarafından yapılmıştır (Alem, 2021). Yazar çalışmasında geleneksel tarım, yapay zekâ destekli tarım, dikey tarım ve bitki bazlı et uygulamalarını incelemiştir. Özellikle tüketici sorunları, maliyet ve ekolojik kriterlerine odaklanmış ve faktör ağırlıklarını aralık tip-2 B-AHS kullanılarak hesaplanmıştır. Ağırlıklar elde edildikten sonra, tereddütlü bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak alternatifleri sıralanmıştır.

### 3. Yöntem

Çalışmanın bu bölümünde ilk olarak B-AHS yöntemi anlatılacak ardından VIKOR metodundan bahsedilecektir. Son kısım ise, çalışmada kullanılan melez yöntemin adım adım algoritmasına yer verilecektir. Önerilen yöntemin formülasyonuna da yine bu bölümde değinilecektir. Çalışmada ele alınan tarımsal üretim sonucu elde edilen ürün seçimi problemini çözmek için öncelikle kriter değerlendirme yapılmıştır. Kriterler ağırlıklarının belirlenebilmesi için grup karar verme yaklaşımı ve B-AHS yöntemi uygulanacaktır. VIKOR yöntemi ise, grup faydasını temel almasından dolayı tercih edilmiştir.

#### 3.1 Bulanık AHS Yöntemi

Bulanık AHS yöntemi AHS yönteminin bulanık kümeler ile genişletilmiş halidir. Literatürde çeşitli bulanık kümeler, bu kümelerle ait farklı bulanık sayılar ve durulaştırma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada Buckley'in yaklaşımı ve üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır (Buckley, 1985). B-AHS yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

**Adım-1:** İlk adımda karar problemleri belirlenir. Amaç, ana kriterler, alt kriterler ve alternatifler net bir şekilde ifade edilir. Hiyerarşik yapı oluşturulur.

**Adım-2:** Belirlenen kriterlere göre dilsel ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Bu karşılaştırmalar, normal AHS yönteminden farklı olarak dilsel değerlere dayalı oluşturulmaktadır. Bu karşılaştırmalarda, Tablo 1'de verilen ölçek kullanılmaktadır.

**Tablo 1.** Kriter karşılaştırmalarında kullanılan bulanık sayılar (Khazaeni, Khanzadi, & Afshar, 2012)

Dilsel Önem Dereceleri	Bulanık Sayılar	Karşıt Bulanık Sayılar
Eşit Önemli (EÖ)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Zayıf Önemli (ZÖ)	(2, 3, 4)	(1/4, 1/3, 1/2)
Önemli (Ö)	(4, 5, 6)	(1/6, 1/5, 1/4)
Çok Önemli (ÇÖ)	(6, 7, 8)	(1/8, 1/7, 1/6)
Kesinlikle Önemli (KÖ)	(9, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/9)

Karar vericiler bu ölçeğe göre kriterlerin önem derecesine karar verirler. Her değerlendirme, iki kriter arasında hangisinin daha önemli olduğunu gösterir ve önem derecesini yansıtır. Karar matrisinin eleman yapısı Eşitlik 1'de verilmektedir.

$$\tilde{p}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) \quad (1)$$

**Adım-3:** Birden çok karar vericinin olduğu durumlarda Eşitlik 2 kullanılarak ortak karar matrisi elde edilir.

$$\tilde{d}_i = \left[ \prod_{j=1}^n \tilde{p}_{ij} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

**Adım-4:** B-AHS yönteminde, tüm bir ikili karşılaştırma matrisleri için ayrı ayrı Tutarlılık Oranının (CR) hesaplanması gerekmektedir. Bunun için öncelikle Eşitlik 3'de verilen formül ile bulanık grup karar matrisi durulaştırılır.

$$C_{ij} = \frac{l+4m+u}{6} \quad (3)$$

Ardından Eşitlik 4'de verilen Tutarlılık İndeksi (CI) değeri hesaplanmalıdır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (4)$$

CR değerleri Eşitlik 5'e göre hesaplanmaktadır. Hesaplanan değerlerin 0,1'den küçük olması, karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğunu gösterir. Hesaplama kullanılan Rastgelelik Göstergeleri (RI) değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Tablo 2. RI değerleri

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

**Adım-5** Bulanık ağırlıklar Eşitlik 6 ve Eşitlik 7'de verilen formüller yardımı ile hesaplanır.

$$\tilde{r}_i = \left[ \prod_{j=1}^n \tilde{d}_{ij} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (6)$$

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \times \left[ \sum_{j=1}^n \tilde{r}_j \right]^{-1} = (w_i^l, w_i^m, w_i^u) \quad (7)$$

**Adım-6** B-AHS yönteminde amaç, alternatiflerin arasından en uygun olanı seçmektir. Bu sebepten dolayı durulaştırma işlemi genellikle alternatiflerin önem derecelerini gösteren matris için uygulanır. Ancak problemin türüne ve ihtiyaçlara göre, ana kriterin ve alt kriterlerin yerel-genel önem derecelerine ulaşımak isteniyorsa bu adımda da durulaştırma işlemi yapılabilir. Durulaştırma için Eşitlik 8'de verilen formül kullanılmıştır.

$$w_i = \frac{\tilde{w}_i}{\sum_{j=1}^n \tilde{w}_j} = \frac{w_i^l + w_i^m + w_i^u}{\sum_{j=1}^n \tilde{w}_j} \quad (8)$$

### 3.2 VIKOR Yöntemi

VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemi, Serafim Opricovic tarafından ortaya atılmıştır (Opricovic & Tzeng, 2004). Yöntem, slav kökenli ifadenin baş harflerinin kısaltılmasıyla oluşturulmuştur. VIKOR yöntemi, çoğunluğun grup faydasının en üst düzeye getirilmesini ve rakiplerin bireysel pişmanlığının en alt düzeyde tutulmasını amaçlamaktadır. VIKOR yöntemi, kompleks sistemlerin çok kriterli optimizasyonu için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntem çelişkili kriterlerin olması durumunda alternatifler arasında bir seçim yapmayı ve bu alternatifleri sıralamaya odaklanan bir yöntem olarak bilinmektedir. VIKOR yöntemini kullanabilmek için aşağıdaki özelliklerin olması gereklidir (Opricovic & Tzeng, 2007);

- Fikir ayrılıklarının çözüme ulaştırılmasında uzlaşma kabul edilebilir olmalıdır.
- Karar vericiler, ideal çözüme en yakın çözümü kabul etmeye istekli olmalıdır.
- Karar vericiler için fayda ile kriter fonksiyonları arasında doğrusal bir ilişki olmalıdır.
- Alternatifler, belirtilen tüm kriterler için değerlendirilmelidir.
- Karar vericilerin tercihleri ağırlıklar ile ifade edilir olmalıdır.

VIKOR yöntemi, karar vericinin etkileşimli katılımı olmadan başlar fakat karar verici nihai çözümü onaylamaktan sorumludur. Karar verici, bu nihai çözüme kendi tercihlerini de dahil edebilir. VIKOR yöntemi toplam beş adımdan oluşmaktadır (Onder, 2014).

**Adım-1** Her bir kriter için en iyi ( $f_i^*$ ) ve en kötü ( $f_i^-$ ) değerler belirlenir (Eşitlik 9-10). Burada  $i$  kriter sayısını ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) ve  $j$  alternatif sayısını ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) ifade etmektedir.

$$f_i^* = \max_j f_{ij} \quad (9)$$

$$f_i^- = \min_j f_{ij} \quad (10)$$

**Adım-2** Değerlendirme birimleri için  $S_j$  ve  $R_j$  değerleri hesaplanır (Eşitlik 11-12).  $S_j$  en iyi değere olan uzaklıklar toplamını,  $R_j$  en iyi değere olan maksimum uzaklığı ve  $w_i$  kriter ağırlıklarını göstermektedir. 2 numaralı denklem en iyi değere olan uzaklıkların toplamını ifade ederken, 3 numaralı denklem maksimum uzaklığı ifade etmektedir.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (11)$$

$$R_j = \max[w_i(f_i^* - f_{ij})/(f_i^* - f_i^-)] \quad (12)$$

**Adım-3**  $S_j$  ve  $R_j$  değerlerine bağlı olarak oluşturulan  $Q_i$  indeks değeri Eşitlik 13'de verilmektedir.

$$Q_i = \left[ \frac{v(S_j - S^*)}{S^- - S^*} \right] + \left[ \frac{(1-v)(R_j - R^*)}{R^- - R^*} \right] \quad (13)$$

İndeks değerlerinin hesaplanmasında kullanılan  $S^*$ ,  $S^-$ ,  $R^*$  ve  $R^-$  değişkenleri Eşitlik 14-17'da açıklanmaktadır.

$$S^* = \min_j S_j \quad (14)$$

$$S^- = \max_j S_j \quad (15)$$

$$R^* = \min_j R_j \quad (16)$$

$$R^- = \max_j R_j \quad (17)$$

Eşitlik 13'de kullanılan  $v$  maksimum grup faydasının ağırlığını,  $(1 - v)$  ise karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının ağırlığını ifade etmektedir.

**Adım-4** Hesaplanan  $Q_j$ ,  $S_j$  ve  $R_j$  değerleri sıralanır. En küçük  $Q_j$  değerine sahip değerlendirme birimi, alternatif grubu içerisindeki en iyi seçenek olarak ifade edilir.

**Adım-5** Elde edilen sonucun geçerli kabul edilebilmesi için iki koşul sağlanmalıdır. Ancak bu şekilde minimum  $Q$  değerine sahip alternatif, en iyi veya en uygun alternatif olarak nitelendirilebilir.

#### *Koşul-1 Kabul edilebilir avantaj koşulu*

En iyi ve en iyiye en yakın seçenek arasında belirgin bir fark olduğunu ifade eden koşuldur ve Eşitlik 18'de verilmektedir.

$$Q(a'') - Q(a') \geq D(Q) \quad (18)$$

Bu eşitsizlikte  $a'$ , en düşük  $Q$  değerine sahip olan birinci en iyi alternatif,  $a''$  ise en iyi ikinci alternatifi göstermektedir.  $D(Q)$  değeri Eşitlik 19'da ifade edilmektedir.

$$D(Q) = 1/(j - 1) \quad (19)$$

#### *Koşul-2 Kabul edilebilir istikrar koşulu*

Burada en iyi  $Q$  değerine sahip  $a'$  alternatifi  $S$  ve  $R$  değerlerinin en az bir tanesinde en iyi skoru elde etmiş olmalıdır.

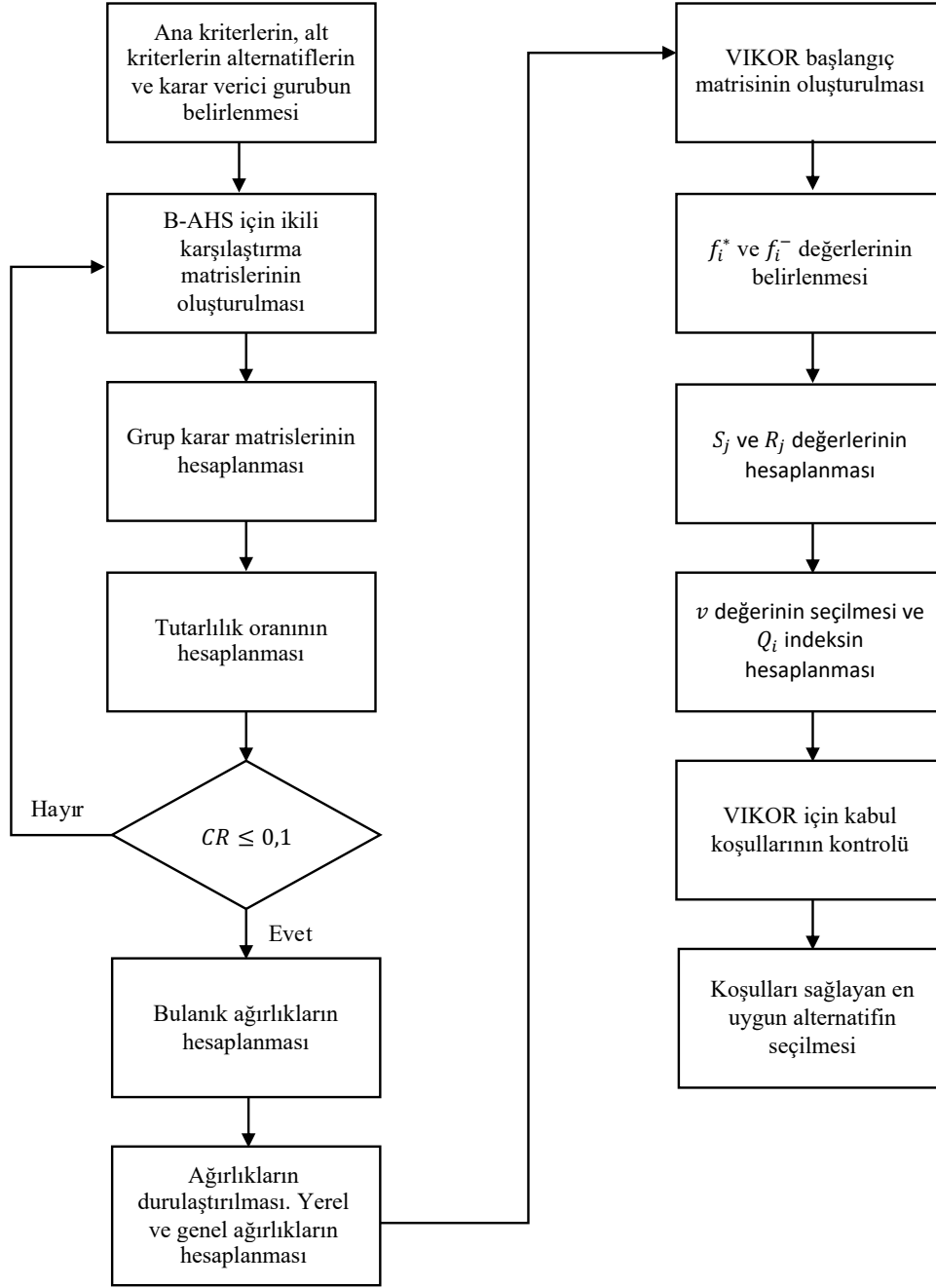
Eğer belirtilen iki koşuldan bir tanesi sağlanamazsa uzlaşma çözüm kümesi şu şekilde önerilir:

2. Koşul sağlanmıyorsa  $a'$  ve  $a''$  alternatifleri,

1. Koşul sağlanmıyorsa  $a'$ ,  $a''$ , ...,  $a^m$  alternatifleri  $Q(a^m) - Q(a^{m-1}) \geq D(Q)$  eşitsizliği dikkate alınarak ifade edilir. Bu koşulun sağlanamaması, alternatiflerin bazıları arasında belirgin bir fark olmadığını ifade etmektedir.

### **3.3 Kullanılan Melez Algoritma**

Çalışmada kullanılan melez algoritmanın akış şeması Şekil 1'de verilmektedir.

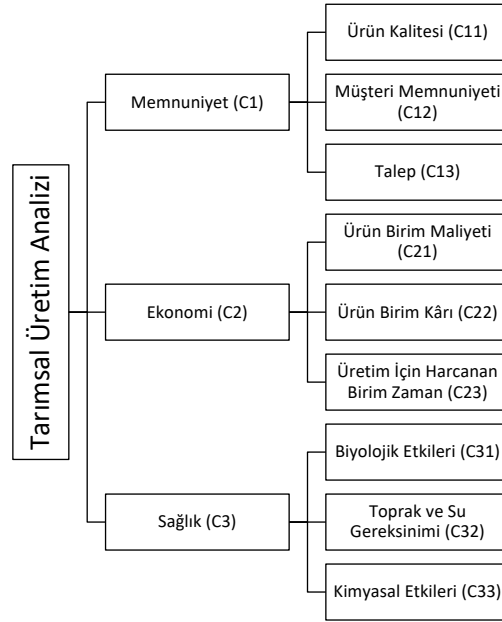


Şekil 1. Kullanılan Algoritmanın Akış Şeması

#### 4. Uygulama

Çalışmanın bu bölümünde, belirli bir koşulda en iyi tarımsal üretim sonucu elde edilen ürünü seçmek için bulanık kümeleri de kullanan iki aşamalı bir karma bulanık karar verme yöntemi açıklamaktadır. İki aşamalı ve daha kapsamlı bir planın uygulanmasıyla ekonomik, sağlık ve sosyal faktörlerin yanı sıra teknik kriterler de karar verme ortamına entegre edilmiştir.

Çalışmada kullanılan kriterler, uzman görüşleri ve literatür taraması sonucu belirlenmiştir. B-AHS yönteminin hiyerarşik yapısı Şekil-2’de verilmektedir.



Şekil 2. B-AHS Hiyerarşik Yapısı

B-AHS yönteminde kullanılan hiyerarşik yapıda üç ana kriter ve dokuz alt kriter bulunmaktadır. Alt kriterlerin detaylı açıklamaları aşağıda verilmektedir.

#### Memnuniyet (C1)

- Ürün Kalitesi (C11): Elde edilen ürünün kalitesini göstermektedir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en düşük seviyeyi, 10 en yüksek seviyeyi ifade etmektedir.
- Müşteri Memnuniyeti (C12): Müşteri memnuniyetini göstermektedir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en düşük, 10 en yüksek memnuniyeti ifade etmektedir.
- Talep (C13): Ürünlere gösterilen talebi ifade etmektedir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en düşük, 10 en yüksek talebi ifade etmektedir.

#### Ekonomi (C2)

- Ürün Birim Maliyeti (C21): Üretim için gerekli girdilerin birim çıktı başına toplam maliyeti ifade etmektedir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en yüksek, 10 en düşük maliyeti ifade etmektedir.
- Ürün Birim Kârı (C22): Birim başına elde edilen kâr miktarını göstermektedir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en düşük, 10 en yüksek kârı ifade etmektedir.
- Üretim İçin Harcanan Birim Zaman (C23): Toplam çıktı / Harcanan toplam zaman olarak hesaplanmaktadır. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en yüksek, 10 en düşük birim zamanı ifade etmektedir.

#### Sağlık (C3)

- Biyolojik Etkileri (C31): Ürünün çevreye sağladığı yararlı biyolojik etkileri göstermektedir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en düşük, 10 en yüksek faydayı ifade etmektedir.
- Toprak ve Su Gereksinimi (C32): Birim başına su ve toprak gereksinimini göstermektedir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en yüksek, 10 en düşük su ve toprak gereksinimini ifade etmektedir.
- Kimyasal Etkileri (C33): Birim başına kullanılan kimyasal zirai ilaç miktarını göstermektedir. 1-10 arasında değerlendirilmiştir. 1 en yüksek zirai ilaç kullanımını, 10 en düşük zirai ilaç kullanımını ifade etmektedir.

Yöntemin ilk adımında B-AHS için üç adet uzmandan oluşan karar verme grubu ikili karşılaştırmalar yapmıştır. Karşılaştırmalar dilsel ifadeler kullanılarak yapılmış, daha sonra Tablo 1'den faydalanılarak üçgen bulanık sayılara çevrilmiştir. İkili karşılaştırma tabloları ve grup karar matrisi Tablo 3, 4, 5 ve 6'da verilmektedir.



**Tablo 3.** Bir numaralı karar vericinin ikili karşılaştırma tablosu

KV-1	C1			C2			C3		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
C1	1	1	1	1/4	1/3	1/2	1	1	1
C2	2	3	4	1	1	1	1	1	1
C3	1	1	1	1	1	1	1	1	1

**Tablo 4.** İki numaralı karar vericinin ikili karşılaştırma tablosu

KV-2	C1			C2			C3		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
C1	1	1	1	1/4	1/3	1/2	2	3	4
C2	2	3	4	1	1	1	2	3	4
C3	1/4	1/3	1/2	1/4	1/3	1/2	1	1	1

**Tablo 5.** Üç numaralı karar vericinin ikili karşılaştırma tablosu

KV-3	C1			C2			C3		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
C1	1	1	1	1	1	1	1/4	1/3	1/2
C2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C3	2	3	4	1	1	1	1	1	1

**Tablo 6.** Grup kararı ikili karşılaştırma tablosu

Grup Kararı	C1			C2			C3		
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>
C1	1,00	1,00	1,00	0,40	0,48	0,63	0,79	1,00	1,26
C2	1,59	2,08	2,52	1,00	1,00	1,00	1,26	1,44	1,59
C3	0,79	1,00	1,26	0,63	0,69	0,79	1,00	1,00	1,00

Grup kararı için tutarsızlık oranı  $CR = 0,024$  olarak hesaplanmıştır. Bu değer, grup karar matrisinin tutarlı olduğunu göstermektedir. Alt kriterlerin grup karar matrisleri için de CR değeri hesaplanmış ve tüm grup karar matrislerinde tutarlı sonuçlar elde edilmiştir ( $CR \leq 0,1$ ). B-AHS'nin adımları takip edilerek Şekil 2'deki hiyerarşik yapıya uygun olarak tüm kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan ağırlıklar Tablo 7'de verilmektedir.

**Tablo 7.** Kriter ağırlık tablosu

Ana Kriter	Ağırlık	Alt Kriter	Yerel Ağırlıklar	Genel Ağırlıklar
C1	0,254110	C11	0,480766	0,122167
		C12	0,236105	0,059997
		C13	0,283129	0,071946
C2	0,460290	C21	0,276093	0,127083
		C22	0,561702	0,258546
		C23	0,162205	0,074661
C3	0,285600	C31	0,131795	0,037641
		C32	0,705681	0,201542
		C33	0,162524	0,046417

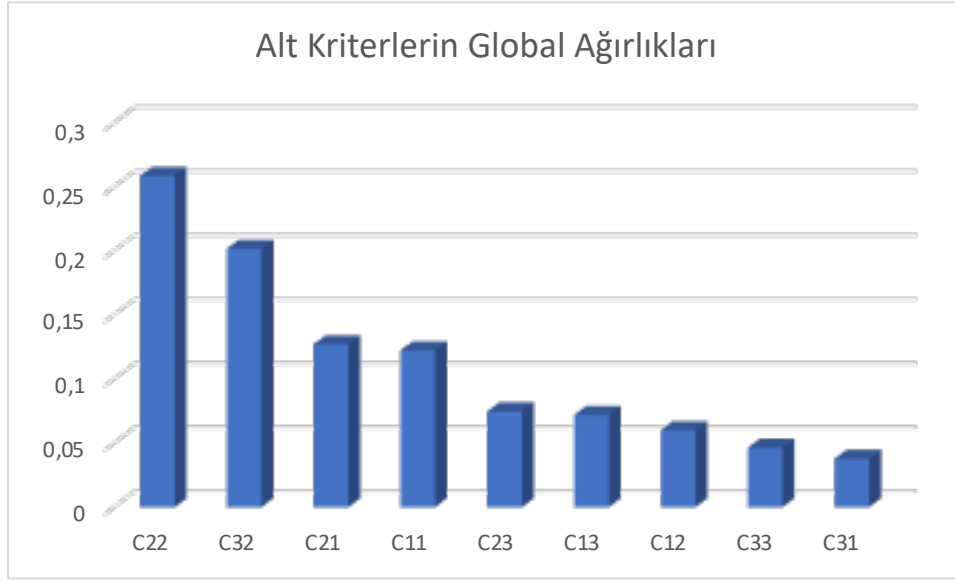
Alt kriterlerin global ağırlıklarının grafiksel gösterimi şekil 3'de verilmektedir. Buna göre en yüksek ağırlığın C22'de (Ürün Birim Kârı) olduğu görülmektedir. Bunu sırası ile C32 (Toprak ve Su Gereksinimi), C21 (Ürün Birim Maliyeti) ve C11 (Ürün Kalitesi) izlemektedir. En düşük önem ise karar vericiler tarafından C31 (Biyolojik Etkileri) olarak belirlenmiştir.

Önerilen melez yaklaşımın ikinci şamasında VIKOR yöntemi uygulanmıştır. Tarım alternatifi olarak üç alternatif seçilmiş ve başlangıç matrisi uzmanların ortak kararına göre düzenlenmiştir. Başlangıç matrisi Tablo 8'de verilmektedir. Çalışmada kullanılan alternatifler sırası ile aşağıda verilmektedir.

A1= Organik tarım

A2= Endüstriyel Tarım

A3= Genetiği değiştirilmiş tarım



Şekil 3. Alt Kriterlerin global ağırlık grafiği

Tablo 8. VIKOR başlangıç matrisi

Ağırlık	0,122167	0,059997	0,071946	0,127083	0,258546	0,074661	0,037641	0,201542	0,046417
Kriter/ Alternatif	C11	C12	C13	C21	C22	C23	C31	C32	C33
A1	10	10	9	8	9	7	10	7	10
A2	8	7	7	9	8	8	7	6	2
A3	6	5	5	10	9	9	2	8	5
$f^*$	10	10	9	10	9	9	10	8	10
$f^-$	6	5	5	8	8	7	2	6	2

VIKOR yönteminin adımları takip edildiğinde, öncelikle Eşitlik 11 ve 12 kullanılarak  $S_j$  ve  $R_j$  değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 9'de verilmektedir. Ardından Eşitlik 14-17 kullanılmış,  $S^* = 0,303$ ,  $S^- = 0,755$ ,  $R^* = 0,122$  ve son olarak  $R^- = 0,259$  olarak bulunmuştur. VIKOR yönteminde  $v$  değeri literatürde genellikle 0,5 olarak seçilmektedir. Ancak bu çalışmada yapılan duyarlılık analizi kapsamında farklı grup faydası ve karşıt görüş pişmanlığının ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu değerler Eşitlik 13'de yerine konularak  $Q_j$  değerleri hesaplanmış ve Tablo 9'de verilmiştir.

Tablo 9.  $Q_j$  değerleri ve duyarlılık analizi

	$S_j$	$R_j$	$v=0$	$v=0,1$	$v=0,2$	$v=0,3$	$v=0,4$	$v=0,5$	$v=0,6$	$v=0,7$	$v=0,8$	$v=0,9$	$v=1$
A1	0,303	0,127	0,036	0,032	0,029	0,025	0,022	0,018	0,014	0,011	0,007	0,004	0,000
A2	0,755	0,259	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
A3	0,321	0,122	0,000	0,004	0,008	0,012	0,016	0,020	0,024	0,028	0,032	0,036	0,040

Hesaplanan  $Q_j$  değerleri için uygunluk koşulları kontrol edilmiş ve tüm alternatif senaryoların uygunluk koşullarını sağladığı görülmüştür. Elde edilen değerlere göre alternatiflerin sıralaması Tablo 10'da verilmektedir.

Tablo 10. Alternatiflerin sıralaması ve duyarlılık analizi

$v$ / Alternatifler	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
A1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
A2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
A3	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2

Bu sıralamaya göre grup faydası 0 - 0,4 arasında iken en uygun alternatifin genetiği değiştirilmiş tarım olduğu görülmüştür. Ancak grup faydası artırıldığında en uygun alternatif organik tarım olmaktadır.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada, tarım ürünü seçim problemi için B-AHS ve VIKOR melez yapısı kullanılmıştır. Önerilen melez ÇKKV yaklaşımı, kriterlerin değerlendirilmesi sürecinde klasik AHS yapısına göre daha fazla dilsel ifade esnekliği sağlamaktadır. Çalışmanın uygulama bölümüne, önerilen B-AHS ve VIKOR melez yöntemi bir tarım yöntemi seçim problemine uyarlanmıştır. Problemden üç ana kriter ve üç alternatif çözüm bulunmaktadır. Kriterler, karar vericiler tarafından sıralanmıştır ve en iyi çiftçilik tarım yöntemi seçilmiştir.

Çalışmada ele alınan problem için bulanık kümelerin sürece dahil edilmesi, tek başına geleneksel yöntemlerle elde edilmesi oldukça zor olan bileşenlerin hem önceliğini hem de boyutunu ortaya çıkartmış ve daha avantajlı sonuçlara yol açmıştır. Nitel ve nicel verilerin birleştirilmesi ile hem mevcut rekabet ortamını hem de uzun vadeli büyüme için kritik olan tarımsal üretim sonucu elde edilen ürünün çeşitli yönlerini ayrıntılı olarak incelemek mümkün olmuştur. Tarımsal üretim sonucu elde edilen ürün kıyaslaması konusunda kapsamlı araştırmalar yapılmış ve yeni sonuçlar keşfedilmiştir.

Çalışmanın bir diğer önemli sonucu, alternatifler arasındaki farklılıkları belirginleştiren ve subjektif bir tarım ortamında en iyi seçeneği öneren seçim yaklaşımıdır. Kullanılan grup karar verme yaklaşımı ve bulanık kümeler belirsizlik açısından parametrik ve kararlı sonuçlar üretmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda alternatiflerin ve kriterlerin sayısını artırılabilir. B-AHS VIKOR melez yaklaşımı diğer ÇKKV yöntemleri ile karşılaştırılabilir. TOPSIS, PROMETHEE ve diğerleri gibi diğer ÇKKV metodları bulanık kümelere genişletilebilir ve küresel bulanık AHS bu yöntemlerle karşılaştırılabilir.

## Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Yavuz Selim Özdemir yöntemin yazılmasında, uygulanmasında ve makale yazımında ve Şeyda Savalan literatür taramasında, kriterlerin ve alternatiflerin seçiminde ve genel makale yazımında katkı sağlamışlardır.

## Teşekkür

Makalenin daha iyi bir hale gelmesine katkı sunan hakemlere teşekkür ederiz.

## Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## Kaynaklar

Akhmetshina, L., Sergeev, A., & Mottaeva, A. (2019). Influence of organic agriculture on the development of green economy. In E3S Web of Conferences (Vol. 91). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199106008>

Alem, S. (2021). Special Agriculture Production Selection Using Interval Type-2 Fuzzy AHP. In Advances in Intelligent Systems and Computing (Vol. 1197 AISC, pp. 557–566). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51156-2\\_64](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51156-2_64)

Arvas, Y. E., & Kaya, Y. (2019). Potential impact of genetically modified plants on biodiversity. Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 29(1), 168–177. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.468218>

Ataseven, Y., & Güneş, E. (2008). Türkiye’de İşlenmiş Organik Tarım Ürünleri Üretimi ve Ticaretindeki Gelişmeler. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 22(2), 25–33. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/154075>

Atsan, T., & Erem Kaya, T. (2008). Genetiği Değiştirilmiş Organizmaların (GDO) Tarım ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. Cilt (Vol. 22). Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ziraatuludag/issue/16752/174160>

- Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3), 233–247. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(85\)90090-9](https://doi.org/10.1016/0165-0114(85)90090-9)
- Demirel, N. Ç., Yücenur, G. N., Demirel, T., & Muşdal, H. (2012). Risk-Based Evaluation of Turkish Agricultural Strategies using Fuzzy AHP and Fuzzy ANP. *Human and Ecological Risk Assessment*, 18(3), 685–702. <https://doi.org/10.1080/10807039.2012.672902>
- Eraslan, E., & İç, Y. T. (2011). A multi-criteria approach for determination of investment regions: Turkish case. *Industrial Management and Data Systems*. <https://doi.org/10.1108/02635571111144964>
- Fabris, M., Abbriano, R. M., Pernice, M., Sutherland, D. L., Commault, A. S., Hall, C. C., ... Ralph, P. J. (2020). Emerging Technologies in Algal Biotechnology: Toward the Establishment of a Sustainable, Algae-Based Bioeconomy. *Frontiers in Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00279>
- Fan, Z. P., & Liu, Y. (2010). A method for group decision-making based on multi-granularity uncertain linguistic information. *Expert Systems with Applications*, 37(5), 4000–4008. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.11.016>
- Firdaus, A., Adiprasetyo, T., & Suhartoyo, H. (2021). A Multicriteria Decision Making and Fuzzy-AHP Approach for Formulating Strategy to Develop Organic Agriculture in Bengkulu Province, Indonesia. In *Proceedings of the International Seminar on Promoting Local Resources for Sustainable Agriculture and Development (ISPLRSAD 2020)* (Vol. 13). <https://doi.org/10.2991/absr.k.210609.034>
- James, C. (2017). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 years. *ISAAA Brief*, (Brief 53), 1–143. Retrieved from <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/53/download/isaaa-brief-53-2017.pdf>
- Khazaeni, G., Khanzadi, M., & Afshar, A. (2012). Fuzzy adaptive decision making model for selection balanced risk allocation. *International Journal of Project Management*, 30(4), 511–522. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.10.003>
- Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., & Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 296(5573), 1694–1697. <https://doi.org/10.1126/science.1071148>
- Mokarram, M., Rangzan, K., Moezzi, A., & Baninemeh, J. (2010). Land suitability evaluation for wheat cultivation by fuzzy theory approach as compared with parametric method. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives* (Vol. 38). Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.448.5713&rep=rep1&type=pdf>
- Muller, A., Schader, C., El-Hage Scialabba, N., Brüggemann, J., Isensee, A., Erb, K. H., ... Niggli, U. (2017). Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01410-w>
- Nasiri, H., Alavipanah, S. K., Matinfar, H. R., Azizi, A., & Hamzeh, M. (2012). Implementation of agricultural ecological capability model using integrated approach of PROMETHEE II and Fuzzy-AHP in GIS environment (case study: Marvdasht county). *Journal of Environmental Studies*, 38(63), 109–122. Retrieved from <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=290231>
- Onder, E. (2014). VIKOR Method for Ranking Logistic Villages in Turkey. *Journal of Management and Economics Research*, (23), 293–293. <https://doi.org/10.11611/jmer236>
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European Journal of Operational Research*, 178(2), 514–529. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.01.020>
- Özdemir, Y. S., & Üsküdar, A. (2020). Strategy selection by using interval type-2 fuzzy mcdm and an application. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*, 8(3). <https://doi.org/10.36909/JER.V8I3.8176>

- Pilevar, A. R., Matinfar, H. R., Sohrabi, A., & Sarmadian, F. (2020). Integrated fuzzy, AHP and GIS techniques for land suitability assessment in semi-arid regions for wheat and maize farming. *Ecological Indicators*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105887>
- Piya, S., Shamsuzzoha, A., Azizuddin, M., Al-Hinai, N., & Erdebilli, B. (2022). Integrated Fuzzy AHP-TOPSIS Method to Analyze Green Management Practice in Hospitality Industry in the Sultanate of Oman. *Sustainability* (Switzerland), 14(3). <https://doi.org/10.3390/su14031118>
- Pourkhabbaz, H. R., Javanmardi, S., & Faraji Sabokbar, H. A. (2014). Suitability analysis for determining potential agricultural land use by the multi-criteria decision making models SAW and VIKOR-AHP (case study: Takestan-Qazvin plain). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(5), 1005–1016. Retrieved from <https://jast.modares.ac.ir/article-23-4889-en.pdf>
- Ren, C., Li, Z., & Zhang, H. (2019). Integrated multi-objective stochastic fuzzy programming and AHP method for agricultural water and land optimization allocation under multiple uncertainties. *Journal of Cleaner Production*, 210, 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.348>
- Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. *Education*, 1–11. <https://doi.org/10.3414/ME10-01-0028>
- Saputri, V. H. L., Sutopo, W., Hisjam, M., & Ma'aram, A. (2019). Sustainable agri-food supply chain performance measurement model for GMO and Non-GMO using data envelopment analysis method. *Applied Sciences* (Switzerland), 9(6). <https://doi.org/10.3390/app9061199>
- Tai, W. S., & Chen, C. T. (2009). A new evaluation model for intellectual capital based on computing with linguistic variable. *Expert Systems with Applications*, 36(2 PART 2), 3483–3488. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.02.017>
- Tashayo, B., Honarbakhsh, A., Azma, A., & Akbari, M. (2020). Combined Fuzzy AHP–GIS for Agricultural Land Suitability Modeling for a Watershed in Southern Iran. *Environmental Management*, 66(3), 364–376. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01310-8>
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- Vanbergen, A. J., Aizen, M. A., Cordeau, S., Garibaldi, L. A., Garratt, M. P. D., Kovács-Hostyánszki, A., ... Young, J. C. (2020). Transformation of agricultural landscapes in the Anthropocene: Nature's contributions to people, agriculture and food security. In *Advances in Ecological Research* (Vol. 63, pp. 193–253). <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2020.08.002>
- Yang, Y. T., & Chen, B. (2016). Governing GMOs in the USA: Science, law and public health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6), 1851–1855. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7523>
- Zandi, P., Rahmani, M., Khanian, M., & Mosavi, A. (2020). Agricultural risk management using fuzzy topsis analytical hierarchy process (Ahp) and failure mode and effects analysis (fmea). *Agriculture* (Switzerland), 10(11), 1–28. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110504>