Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi
Van Yüzüncü Yıl University The Journal of Social Sciences Institute
e-ISSN: 2822 – 3136
Yıl / Year: 2026 - Sayı / Issue: 72

Bal Kalitesinin Değerlendirilmesinde Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinin Uygulanması

Using Multi Criteria Decision Making Techniques for Honey Quality Evaluation

Erhan ORAKÇI

Asist. Prof., Hakkari University, FEAS, Department of Business, Hakkari, Turkey
Dr. Öğretim Üyesi, Hakkari Ünversitesi, İİBF, İşletme Bölümü, Hakkari, Türkiye
ORCID: 0000-0001-8468-5710 erhanorakci@hakkari.edu.tr

Article Information/Makale Bilgisi

Cite as/Atıf: Orakçı, E. (2026). Using Multi Criteria Decision Making Techniques for Honey Quality Evaluation. *Van Yüzüncü Yıl University the Journal of Social Sciences Institute,* 72, 29-48
Orakçı, E. (2026). Bal Kalitesinin Değerlendirilmesinde Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinin Uygulanması. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 72, 29-48

Article Types / Makale Türü: Research Article/Araştırma Makalesi
Received/Geliş Tarihi: July 29, 2025 /29 Temmuz 2025
Accepted/Kabul Tarihi: April 21, 2026/21 Nisan 2026
Published/Yayın Tarihi: June 30, 2026/30 Haziran 2026
Pub Date Season/Yayın Sezonu: June/Haziran
Issue/Sayı: 72
Pages/Sayfa: 29-48
Plagiarism/İntihal: This article has been reviewed by at least two referees and scanned via a plagiarism software./ Bu makale, en az iki hakem tarafından incelendi ve intihal içermediği teyit edildi.
Published by/Yayıncı: Van Yüzüncü Yıl University of Social Sciences Institute/Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
Ethical Statement/Etik Beyan: It is declared that scientific and ethical principles have been followed while carrying out and writing this study and that all the sources used have been properly cited/ Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur (Erhan Orakçı).
Telif Hakkı ve Lisans/Copyright & License: Yazarlar dergide yayınlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0lisansı altında yayımlanmaktadır/ Authors publishing with the journal retain the copyright to their work licensed under the CC BY-NC 4.0.

Öz

Bal, insan sağlığı ve beslenmesinde önemli rol oynayan doğal bir ürün olmasına rağmen, son yıllarda artan tağşiş uygulamaları ve kalite sorunları nedeniyle tüketici güvenini zedelemektedir. Bu çalışma, bal kalitesinin değerlendirilmesinde geleneksel yöntemlere alternatif olarak Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinin kullanımını araştırmaktadır. Çalışmada kullanılan veriler, Güzel ve Bahçeci (2020) tarafından yapılan araştırmadan alınmış olup, nem, HMF, diastaz sayısı, elektriksel iletkenlik gibi 8 temel kalite parametresi kullanılarak analiz edilmiş ve CODAS-Sort, MEREC ağırlıklandırma ile Gri İlişkisel Analiz (GİA) teknikleriyle değerlendirilmiştir. Sonuçlar, diastaz sayısı, HMF ve kül içeriğinin bal kalitesinin belirlenmesinde en kritik parametreler olduğunu göstermiştir. MEREC tekniğiyle hesaplanan ağırlıklandırmalara göre diastaz sayısı %43.29, HMF %23.97 ve kül içeriği %20.48 ağırlık değerleriyle öne çıkmıştır. CODAS-Sort ve GİA-MEREC entegrasyonu, balların sınıflandırılmasında yüksek tutarlılık göstermiş ve özellikle yüksek HMF, düşük diastaz aktivitesi ve uygunsuz serbest asitlik değerlerine sahip örneklerin tağşiş şüphesi taşıdığı belirlenmiştir. Bu çalışma, ÇKKV tekniklerinin bal sektöründe hızlı, ekonomik ve güvenilir bir kalite kontrol mekanizması olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle arıcılık kooperatifleri, gıda denetim kurumları ve kalite kontrol laboratuvarları için pratik bir rehber niteliğindedir.

Anahtar Kelimeler:

Bal kalitesi, tağşiş tespiti, ÇKKV, CODAS-Sort, MEREC, GİA

Abstract

Honey is a natural product that plays a significant role in human health and nutrition. However, in recent years, increasing adulteration practices and quality issues have undermined consumer confidence. This study investigates the use of Multi-Criteria Decision Making (MCDM) techniques as an alternative to traditional methods for evaluating honey quality. The data used in this study were obtained from the research conducted by Güzel and Bahçeci (2020). The honey samples were analyzed using eight key quality parameters, including moisture content, HMF, diastase number, and electrical conductivity, and were evaluated using CODAS-Sort, MEREC weighting, and Grey Relational Analysis (GRA) methods. The results indicate that diastase number, HMF, and ash content are the most critical parameters in determining honey quality. According to the weights calculated by the MEREC method, diastase number (43.29%), HMF (23.97%), and ash content (20.48%) emerged as the most significant factors. The integration of CODAS-Sort and GRA-MEREC showed high consistency in classifying honey samples, particularly identifying those with high HMF levels, low diastase activity, and inappropriate free acidity values as potentially adulterated. This study demonstrates that MCDM methods can serve as a rapid, cost-effective, and reliable quality control mechanism in the honey industry. The findings provide practical guidance for beekeeping cooperatives, food regulatory agencies, and quality control laboratories.

Keywords:

Honey quality, adulteration detection, MCDM, CODAS-Sort, MEREC, GRA

Giriş

Bal, insan beslenmesinde önemli bir yere sahip, benzersiz besinsel özellikleri ve terapötik (tedavi edici/iyileştirici) etkileri ile öne çıkan stratejik bir tarım ürünüdür (Samarghandian vd., 2017, s. 121). Özellikle göz hastalıkları, diyabet, sindirim sistemi problemleri, solunum yolu enfeksiyonları ve yara iyileştirme gibi sağlık sorunlarının çözümünün yanı sıra Ayurvedik tıp gibi geleneksel tedavi sistemlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Krell, 1996). Doğal bir gıda maddesi olan bal, üretiminden tüketime kadar geçen süreçte çeşitli faktörlerden etkilenmekte ve kalitesi değişebilmektedir. İklim değişikliğinin yanı sıra hastalıklar, parazitler, yırtıcılar, virüsler ve pestisit kullanımı arıları büyük ölçüde etkilemektedir (Verceli, 2021, s.227). Bunun doğal sonucu olarak bal üretimi de etkilenmektedir. Günümüzde, küresel iklim değişikliğinin arıcılık faaliyetleri üzerindeki olumsuz etkileri, artan üretim maliyetleri ve azalan bal verimi gibi faktörler nedeniyle yaşanan arz-talep dengesizliği, piyasada sahte ve tağşişli bal ürünlerinin artmasına neden olmaktadır (Neumann ve Straub, 2023, s. 964).

Bal piyasasındaki bu olumsuz gelişmeler, bal piyasasını derinden etkilemektedir. Kaliteli ve doğal bal üreten işletmeler, piyasadaki ucuz ve tağşişli ürünlerle rekabet etmekte zorlanmakta, bu durum hem ekonomik sürdürülebilirliklerini tehlikeye atmakta hem de sektörde haksız rekabet koşulları oluşturmaktadır. Diğer yandan, bal tüketicileri de satın aldıkları ürünlerin kalitesi ve güvenilirliği konusunda endişe duymakta, yüksek fiyat ödedikleri halde düşük kaliteli veya tağşişli bal ürünlerine maruz kalabilmektedir (Bose ve Padmavati, 2024; Moškrič vd., 2021; Cabańero vd., 2006, s. 9719).

Kasıtlı tağşiş işlemlerinin yanı sıra, bal hasadı sırasında yapılan hatalar, uygun olmayan üretim ve depolama koşulları, bilinçsiz arıcılık uygulamaları da mevcuttur. Özellikle olgunlaşmamış balın erken hasadı, aşırı ısıl işlem uygulamaları, uygunsuz depolama koşulları ve çeşitli katkı maddelerinin ilavesi gibi uygulamalar, balın doğal yapısını bozmakta ve kalitesini düşürmektedir (Siddiqui vd., 2017). Bu durum hem bal işletmelerinin itibarını zedelemekte hem de tüketicilerin sağlığını tehdit etmektedir. Tağşişli bal tüketenlerde kan şekerinin artığı buna bağlı olarak göbek çevresini yağlandırdığı ve aynı zamanda diyabete ve obeziteye neden olduğu belirtilmiştir (Fakhlaei, vd., 2020, s. 1538).

Bal kalitesinin değerlendirilmesinde ve tağşiş yapılıp yapılmadığına dair kullanılan geleneksel yöntemler ve tağşişi engelleyebilecek mevcut yasal düzenlemeler, günümüz bal piyasasındaki karmaşık sorunları çözmekte yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, bal kalitesinin ve tağşişin belirlenmesinde daha kapsamlı bilimsel yöntemlerin kullanılması hem üreticiler hem de tüketiciler açısından büyük önem taşımaktadır. Balda yapılan tağşişleri tespit etmek için kromatografik (TLC, HPLC), spektroskopik (NMR, Raman, IR) ve biyosensör tabanlı analitik yöntemler kullanılmaktadır (Se vd., 2019: Ayton vd., 2019). Bu yöntemler çeşitli avantajlara sahip olmakla beraber, yüksek ekipman maliyetleri, uzman personel gereksinimi, örnek hazırlama süreçleri ve uzun analiz süreleri gibi kısıtlamaları bulunmaktadır (Bogdanov ve Martin, 2002). Bu nedenlerden dolayı bal kalitesinin değerlendirilmesi ve tağşişli olabilecek balların belirlenmesinde daha pratik ve ekonomik yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla, bal örneklerinin kaliteleri çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri kullanılarak değerlendirilecek ve sınıflandırılacaktır. ÇKKV teknikleri, birden fazla kriterin eş zamanlı olarak değerlendirilmesine olanak sağlayarak, bal kalitesinin daha objektif ve kapsamlı bir şekilde belirlenmesine imkan tanıyacak ve tağşişli olabilecek balların belirlenmesinde farklı ve ekonomik bir yol olacaktır.

Çalışmamız, bal kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan fizikokimyasal parametrelerin (nem içeriği, HMF (hidroksimetilfurfural), diastaz sayısı (DS), elektriksel iletkenlik, pH, serbest asitlik, kül içeriği ve toplam şeker "G+F") ÇKKV teknikleri ile analiz edilmesini ve bal örneklerinin sınıflandırılmasını içermektedir. Bu analiz sonuçları, bal işletmelerinin kalite kontrol süreçlerini optimize etmelerine, tüketicilerin kaliteli bal ürünlerini ayırt etmelerine ve sektördeki düzenleyici kurumların daha etkin kontrol mekanizmaları geliştirmelerine yardımcı olacak pratik bir rehber niteliğindedir. ÇKKV teknikleri ile yapılan sınıflandırma, bal sektöründeki paydaşlar arasında ortak bir kalite anlayışının oluşmasına, standardizasyonun sağlanmasına ve bal piyasasındaki güven ortamının güçlendirilmesine katkıda bulunarak hem bal işletmelerinin sürdürülebilirliğini hem de tüketici memnuniyetini artırmayı hedeflemektedir.

Yapılan literatür taramasında, ÇKKV tekniklerinin bal seçimi ve sınıflandırılmasına yönelik doğrudan uygulandığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla birlikte, ÇKKV tekniklerinin arıcılık sektöründe farklı alanlarda başarıyla kullanıldığı görülmektedir. Örneğin, Shaharudin vd. (2023) meliponikültürde bal verimi ve kalitesini etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla AHP, FAHP ve WSM tekniklerini uygulamış ve bu tekniklerin etkili faktör sıralamasında başarılı sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Sarı vd. (2020) Konya'da arıcılığa uygun alanların belirlenmesi için AHP, TOPSIS ve VIKOR tekniklerini karşılaştırmalı olarak kullanmış ve TOPSIS'in %91 uyum oranıyla en başarılı teknik olduğunu belirlemiştir. Cotrina-Sanchez vd. (2023) ise Peru'nun kuzeybatısında biyofiziksel ve sosyoekonomik kriterlere dayalı olarak ÇKKV tekniğiyle arıcılık için optimal alanları belirlemiş ve bu yaklaşımın kırsal kalkınmadaki stratejik rolünü vurgulamıştır.

Balın otantikliği ve kalite kontrolüne yönelik çalışmalarda da önemli sonuçlar elde edilmiştir. Ropciuc vd. (2023) emisyon-eksitasyon spektrumları ve SVM algoritması kullanarak tağşişli balların tespitinde %98 doğruluk oranına ulaşmış ve bu yöntemin rutin analizlerdeki etkinliğini kanıtlamıştır. Aykas (2023) FT-IR spektroskopisi ile yaptığı çalışmada ticari bal örneklerinde yüksek sukroz ve HMF seviyelerini tespit ederek bu parametrelerin tağşiş belirteci olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Tağşişin küresel boyutu ve etkileri konusunda Ahmad ve Khairatun (2021) yaptıkları araştırmada ekonomik motivasyonlar ve izlenebilirlik eksikliğinin bal sahteciliğini tetikleyen temel faktörler olduğunu ortaya koymuştur.

Balın köken doğrulama ve kalite değerlendirme çalışmaları da önemli bulgular sunmaktadır. Tsagkaris vd. (2021) kromatografik yöntemlerin botanik ve coğrafi köken doğrulamada en önemli standart olduğunu, kemometrik analizlerle desteklendiğinde daha güvenilir sonuçlar alındığını belirlemiştir. Zhang ve Abdulla (2022) endüstriyel ölçekte hiperspektral görüntülemenin özellikle sahada hızlı tarama yapabilme avantajı nedeniyle gelecek vaat ettiğini vurgulamıştır. Walker vd. (2022) ise NMR ve IRMS gibi ileri tekniklerin yorumlanmasında standardizasyon eksikliğinin çözülmesi gereken önemli bir sorun olduğuna dikkat çekmiştir.

Kalite kontrol çalışmaları kapsamında Güzel ve Bahçeci (2020) Çorum ballarının çoğunun Türk Gıda Kodeksi'ne uygun olduğunu, ancak bazı örneklerde HMF limit aşımları tespit etmiştir. Pećanac vd. (2023) Sırbistan piyasasındaki ballarda diastaz aktivitesindeki düşüklüğün ısıl işlem veya depolama hatalarına işaret ettiğini belirlemiştir. Yücel ve Sultanoğlu (2013) Hatay ballarında PCA ve hiyerarşik kümeleme yöntemlerinin floral kaynak ayrımında etkili olduğunu kanıtlayarak kemometrik yöntemlerin pratik uygulanabilirliğini göstermiştir.

İklim değişikliğinin arıcılık üzerindeki etkilerini inceleyen Neumann ve Straub (2023) artan koloni kayıplarının endişe verici boyutlara ulaştığını ve acil adaptasyon stratejileri geliştirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Vercelli vd. (2021) İtalyan arıcıların iklim şoklarına karşı dayanıklılık geliştirdiğini, ancak kurumsal destek eksikliğinin sürdürülebilirliği tehdit ettiğini belirtmiştir. Sağlık açısından yapılan araştırmalarda Fakhlaei vd. (2020) tağşişli balların organ hasarı ve metabolik bozukluklara yol açabileceği uyarısında bulunurken, Morariu vd. (2024) pestisit ve ağır metal kontaminasyonunun halk sağlığı için ciddi risk oluşturduğunu ortaya koymuştur. Samarghandian vd. (2017) ise balın antienflamatuar ve antimikrobiyal özelliklerinin çeşitli hastalıkların tedavisinde terapötik potansiyel taşıdığını belirtmiştir.

Balın kalite parametrelerinin belirlenmesinde karşılaşılan zorluklar ve çözüm önerileri de araştırmacılar tarafından ele alınmıştır. Zábrodská ve Vorlová (2015) ise giderek karmaşıklaşan tağşiş yöntemlerinin mevcut kalite parametreleriyle tespit edilmesindeki zorlukları vurgulayarak, bu parametrelerin güncellenmesi ve yeni belirteçlerin geliştirilmesi gerekliliğine dikkat çekmiştir. Yapılan literatür taraması sonucunda, bal kalitesinin değerlendirilmesinde evrensel olarak kabul görmüş ve sıklıkla kullanılan temel parametreler belirlenmiştir. Bunlar arasında nem içeriği, HMF seviyesi, DS, elektriksel iletkenlik, pH değeri, serbest asitlik, kül içeriği ve toplam şeker miktarı öne çıkan kriterler olarak tespit edilmiştir. Her bir parametre, balın doğallığı, işleme tekniği ve depolama koşulları hakkında kritik bilgiler sunmaktadır. Bu parametreler ilişkin temel özellikler sonraki bölümde detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

1. Bal ve Kalite Parametreleri

1.1. Balın Tanımı ve Özellikleri

Bal, bal arıları (Apis mellifera L.) tarafından bitkilerin nektarlarından veya bitkilerin canlı kısımlarından salgılanan maddelerin toplandıktan sonra, enzimatik aktivite, nem azaltma ve petek gözlerinde olgunlaştırma gibi süreçlerle dönüştürülmesiyle üretilen doğal bir gıda maddesidir (Alvarez-Suarez vd., 2010, s.15). Temel olarak fruktoz ve glikoz şekerlerinden oluşan bal, aynı zamanda enzimler, organik asitler, mineraller, vitaminler, amino asitler ve antioksidan bileşikler gibi biyoaktif maddeleri de içermektedir (Eteraf-Oskouei ve Najafi, 2013).

Balın kompleks yapısı, fiziksel özellikleri bakımından viskozite, kristalleşme eğilimi ve renk çeşitliliği gösterirken, kimyasal kompozisyonu karbonhidratlar, proteinler, organik asitler ve minerallerden oluşmaktadır. Bu zengin içeriği sayesinde antimikrobiyal, antioksidan ve enzim aktivitesi gibi biyolojik özellikler sergileyen bal, aynı zamanda karakteristik aroma bileşenleri ve tat profili ile de dikkat çekmektedir. Balın tüm bu özellikleri, botanik ve coğrafi orijin, üretim sezonu, iklim koşulları ve işleme yöntemlerine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir.

1.2. Bal Kalitesini Etkileyen Faktörler

Bal kalitesini etkileyen faktörler, balın üretiminden tüketiciye ulaşana kadar geçen süreçte, ürünün fizikokimyasal özelliklerini ve besin değerini etkileyen çeşitli parametrelerden oluşmaktadır. Bu faktörler, arıcılık uygulamalarından hasat tekniklerine, işleme yöntemlerinden depolama koşullarına kadar geniş bir yelpazede değerlendirilmektedir. Özellikle son yıllarda artan bal tağşişi ve kalite sorunları, bu faktörlerin sistematik bir şekilde incelenmesini ve kontrol altına alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, bal kalitesini etkileyen faktörlerin doğru anlaşılması hem üreticiler hem de tüketiciler açısından büyük önem taşımaktadır. (Tablo 1)'de bal kalitesini etkileyen temel sorunlar ve uygulamalar verilmiş ve bu sorun ve uygulamaların bala olan etkisi detaylı bir şekilde sınıflandırılmıştır (Soares vd., 2017; Bogdanov ve Martin, 2002; Kerkvliet ve Meijer, 2000).

Tablo 1.

Bal Kalitesini Etkileyen Faktörler

Kategori	Alt Kategori	Sorunlar/ Uygulamalar	Bal Kalitesine Etkisi
TAĞŞİŞ	Şeker İlaveleri	Glikoz/Fruktoz Nişasta bazlı şeker Yapay tatlandırıcı	Doğal bal bileşimi bozulur. Enzim aktivitesi değişir. HMF değeri artar.
HASAT	Zamansız Hasta	Olgunlaşmamış bal hasadı Erken petek hasadı	Nem oranı yükselir. Fermantasyon başlar.
	Hatalı Hasat	Uygunsuz Ekipman Hijyensiz Ortam	Fiziksel kirlenme olur. Mikrobiyal aktivite artar.
UYGULAMA ve ÜRETİM	Beslenme Hataları	Fazla şeker şurubu Yanlış beslenme zamanı	Doğal nektar azalır. Doğal yapı bozulur.
	Isı Hataları	Aşırı ısıtma Hatalı Pastörizasyon	HMF seviyesi yükselir. Enzimler bozulur.
	Depolama Hataları	Yanlış sıcaklık Nemli ortam	Kalite düşer. Fermente olur.

(Tablo 1)'de görüldüğü üzere bal kalitesini etkileyen faktörler üç ana kategoride sınıflandırılmıştır. Tağşiş uygulamaları balın doğal yapısını bozarken, yanlış hasat uygulamaları özellikle nem içeriği ve kontaminasyon riskini artırmaktadır. Üretim sürecindeki hatalar, özellikle ısıl işlem ve depolama koşulları ile ilgili sorunlar, balın temel kalite parametrelerini olumsuz etkilemektedir. Arıcılık uygulamalarında yapılan hatalar ise hem balın doğal özelliklerini bozmakta hem de kalıntı riskini artırmaktadır. Bu sorunların önlenmesi için üretimden tüketime kadar olan tüm aşamalarda gerekli kontrollerin yapılması ve standartlara uyulması gerekmektedir.

Balın botanik kökeni bal kalitesi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Balın bileşimi, arıların nektarı toplamak için kullandığı çiçek kaynağına, mevsimsel ve çevresel faktörlere ve işleme bağlıdır (Anklam, 1998, s. 554). Balın botanik kaynağı fiyatı ile yakından bağlantılıdır ve bu nedenle üreticiler karı artırmak için onu bozmaya eğilimlidir. Aynı derecede önemli olan, bal farklılaşması ve ticari değer açısından önemli bir parametre olan coğrafi kökenin belirlenmesidir. Coğrafi kökene, çevreye ve kovanların bulunduğu alana bağlı olarak bal farklı özellikler ve özellikler kazanabilir (Soares vd., 2017).

1.3. Bal Kalite Parametreleri

Bal kalite parametreleri, balın doğallığını, besleyici değerini ve güvenilirliğini belirlemede kullanılan, ulusal ve uluslararası standartlarla belirlenmiş fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerdir. Bu çalışmada incelenen temel kalite parametreleri; nem içeriği, HMF, DS, elektriksel iletkenlik, pH, serbest asitlik, kül içeriği ve toplam şeker (G+F) değerleridir. (Tablo 2)'de bal kalite parametrelerinin sahip olduğu özellikler gösterilmiştir.

Tablo 2.

Bal Kodeksine Göre Temel Kalite Parametreleri ve Limit Değerleri

Kalite Parametresi	Alt Limit	Üst Limit	Birim	Açıklama
Nem İçeriği	-	20	%	Genel ballarda maksimum değer
HMF	-	40	mg/kg	Taze ballarda maksimum değer
DS	8	-	Schade	Minimum değer
Elektriksel İletkenlik		0.8*	mS/cm	Çiçek balı için maksimum değer
pH	3.4	6.1	-	Kabul edilen aralık
Serbest Asitlik	-	50	meq/kg	Mak. değer
Kül İçeriği	-	0.6**	%	Çiçek balları için mak değer
Toplam Şeker (Glikoz+Fruktoz)	60	-	%	Min değer

*Çiçek balı için geçerlidir. (Salgı ve kestane balı için ≥ 0.8 olmalıdır.

**Salgı ballarında bu değer daha yüksek olabilir

Kaynak: Türk Gıda Kodeksi Bal tebliği, 2020

1.3.1. Nem İçeriği

Balın nem içeriği, içerdiği su miktarını ifade eder ve balın stabilitesi ile raf ömrünü etkileyen en önemli parametrelerdir. Codex Alimentarius ve Türk Gıda Kodeksi'ne göre balda maksimum nem içeriği %20 olmalıdır. Yüksek nem içeriği, özellikle osmotolerant mayaların gelişmesine bağlı olarak mikrobiyal bozulmayı tetikler ve fermantasyona neden olabilir. Buna bağlı olarak balın raf ömrü kısalır. Nem içeriği düşük olan ballar daha uzun raf ömrüne sahiptir (Singh vd., 2022, s. 622; Afendi ve Shah, 2022, s.1).

1.3.2. HMF

HMF değeri, balın tazeliğinin ve ısıl işlem görmüşlüğünün önemli bir göstergesidir. Taze ve ısıl işlem görmemiş ballarda düşük olan HMF değeri, depolama süresi ve sıcaklığına bağlı olarak artış gösterir (Shapla vd., 2018, s.13). Baldaki HMF değeri bal arılarının yaşamını tehdit eder ve aynı zamanda insan sağlığı üzerine de çeşitli etkileri mevcuttur (Alaerjani vd., 2022, s. 9). Uluslararası standartlara göre balda maksimum HMF değeri 40 mg/kg olmalıdır. Bogdanov vd. (2004, s. 7), taze balda HMF bulunmadığını bu nedenle balların botanik olarak sınıflandırılmasında HMF değerinin bir kriter olarak kullanılmaması gerektiğini belirtmiş ayrıca ısıtılmamış ve taze olan baldaki HMF değerinin 15 mg/kg'dan daha düşük olması gerektiğini belirtmişlerdir. Dolayısıyla, HMF değerinin yüksek olması, balın aşırı ısıtıldığını veya uzun süre uygun olmayan koşullarda depolandığını gösterir.

1.3.3. DS

Diastaz enzimi aktivitesi, balın tazeliğinin ve doğallığının önemli bir göstergesidir (Raweh vd., 2023, s. 8). Diastaz aktivitesinin belirlenmesinde kullanılan ilk yöntem Schade tekniğidir. DS minimum 8 Schade birimi olmalıdır (Schade vd., 1958). Düşük diastaz aktivitesi, balın ısıl işlem gördüğünü veya uzun süre depolandığını gösterir. Diastaz enzimi aktivitesi, balın botanik orijinine göre de değişiklik gösterebilir (Bogdanov vd., 2004).

1.3.4. Elektriksel İletkenlik

Balın elektriksel iletkenliği, içerdiği kül, organik asitler, proteinler ve bazı kompleks şekerlerle doğrudan ilişkilidir. Bal tipinin (çiçek/salgı) belirlenmesinde kullanılan önemli bir parametredir (Belay, 2013, s. 3390). Salgı ballarında minimum 0.8 mS/cm olması gerekirken, çiçek ballarında bu değer genellikle daha düşüktür. Yüksek elektriksel iletkenlik değeri, yüksek mineral içeriğinin göstergesidir. Mineral içeriği fazla olan balların daha koyu olduğu belirtilmiştir (Ceylan vd., 2019, s.33).

1.3.5. pH

Balın pH değeri, balda bulunan organik asit miktarı ile bağlantılıdır (Raweh vd. 2023, s.11). Balın antimikribiyal aktivitesi oldukça karmaşıktır ve hala tam olarak tanımlanmamasına rağmen balın içinde bulunan birkaç bileşenin bu aktiviteyi etkilediği belirtilmiştir (Cilia vd., 2020, s. 2). Bu bileşenlerden biri olan pH mikrobiyal stabiliteyi etkileyen önemli bir parametredir. Düşük pH, mikroorganizmaların gelişimini engelleyerek balın korunmasına katkı sağlar (da Silva 2016, s.318). pH değeri, balın botanik

orijinine göre farklılık gösterebilir bu nedenle pH değeri balın orijinini belirlemede önemli bir belirteç olduğu belirtilmektedir. (Acquarone vd., 2007, s.702)

1.3.6. Serbest Asitlik

Serbest asitlik, balın fermantasyonunun ve tazeliğinin önemli bir göstergesidir. Maksimum değeri 50 meq/kg olmalıdır (Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği No: 2005/49). Yüksek serbest asitlik değeri, fermentasyon sürecinin başladığını veya balın bozulmaya başladığını göstermektedir. Organik asitlerin varlığı, coğrafi faktörler ve hasat zamanına bağlı olarak değişebilmektedir (da Silva vd., 2016).

1.3.7. Kül İçeriği

Kül içeriği, balın mineral madde içeriğinin bir göstergesidir. Botanik ve coğrafi orijin belirlemede kullanılmaktadır (Karabagias vd., 2014, s.550). Kül içeriği, baldaki mineral madde içeriğini göstermekte ve buna bağlı olarak elektriksel iletkenlik ile yüksek korelasyon tespit edilmiştir (Solayman vd., 2016, s. 226). Çiçek ballarında genellikle %0.6'dan az, salgı ballarında ise daha yüksektir.

1.3.8. Toplam Şeker (G+F)

Balın şeker profilini şekillendiren temel etkenler, nektarın toplandığı bitki türü ve coğrafi bölgedir. Bunun yanı sıra hava koşulları, balın işlenme süreci ve depolanma koşulları da kompozisyonda daha sınırlı değişikliklere yol açmaktadır (Escuredo vd., 2014, s.87). Glikoz ve früktoz toplamı, balın temel şeker bileşenlerini oluşturur ve minimum %60 olmalıdır. Bu oran balın kristalleşme eğilimini, tatlılık derecesini ve enerji değerini belirlemektedir. Toplam şeker içeriği, balın saflığının ve besleyici değerinin önemli bir göstergesidir. Ayrıca baldaki fruktoz miktarının glikoza oranı, kristalleşme hızını belirleyen önemli bir faktördür, oran 1'in üzerindeyken kristalleşme yavaş, altındayken hızlı gerçekleşmektedir (Alghamdi vd., 2020, s. 3723).

2. Metadoloji

2.1. ÇKKV Tekniklerinin Genel Özellikleri

ÇKKV, karar problemlerinde birbiriyle çelişen birden fazla kriterin varlığında en uygun kararı vermeyi amaçlayan sistematik yaklaşımları içermektedir. Roy (1996), ÇKKV problemlerini üç temel kategoride incelemiştir: seçim (α), sıralama (γ) ve sınıflandırma (β). ÇKKV tekniklerinin temel özellikleri, çoklu kriterleri eş zamanlı değerlendirebilme, nitel ve nicel verileri birlikte analiz edebilme ve karar sürecini şeffaf hale getirme olarak sıralanabilir (Zeleny, 1982). Bu özellikler, tekniklerin farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Seçim ve sıralama problemleri, ÇKKV'nin en yaygın uygulama alanlarıdır. AHP (Saaty, 1980), TOPSIS (Hwang ve Yoon, 1981) ve PROMETHEE (Brans ve Vincke, 1985) gibi klasik teknikler, bu problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bouyssou vd. (2000)'e göre, her sıralama problemi aslında bir seçim problemi olarak değerlendirilebilir, çünkü sıralama sonucunda en iyi alternatif otomatik olarak seçilmiş olmaktadır. ÇKKV literatüründe sınıflandırma (SORT) teknikleri, klasik tekniklerin ötesinde yeni bir bakış açısı getirmiştir. ELECTRE-TRI (Yu, 1992), alternatifleri önceden tanımlanmış kategorilere atayan ilk sistematik sınıflandırma tekniğidir. Bu yaklaşımın başarısı, yeni sınıflandırma tekniklerinin geliştirilmesine öncülük etmiştir. Bunu takiben, TOPSIS-Sort (Chen ve Li, 2011), AHP-Sort (Ishizaka vd., 2012) ve CODAS-Sort (Keshavarz-Ghorabaee vd., 2018) gibi teknikler geliştirilmiştir. Sınıflandırma teknikleri, temel olarak alternatifleri referans profillerle karşılaştırarak uygun sınıflara atama prensibine dayanır. Bu yaklaşım, karmaşık karar problemlerinin daha sistematik bir şekilde ele alınmasını sağlamaktadır. Özellikle çok sayıda alternatifin değerlendirilmesi gereken durumlarda, sınıflandırma teknikleri etkili çözümler sunmaktadır.

2.2. Kullanılan ÇKKV Teknikleri

Gri İlişkisel Analiz (GİA), belirsizlik içeren ve eksik bilginin bulunduğu sistemlerde etkin bir şekilde kullanılan çok kriterli karar verme yaklaşımıdır. Deng (1982) tarafından geliştirilen bu teknik, karmaşık sistemlerin modellenmesinde ve analiz edilmesinde kullanılan gri sistem teorisine dayanmaktadır. Tekniğin temel prensibi, alternatiflerin performansını ideal referans serisi ile karşılaştırarak değerlendirme yapmasıdır. İdeal referans serisi, kriterlerin optimize edilmek istenen değerlerinden oluşan ve alternatiflerin karşılaştırılmasında temel alınan bir vektördür. GİA, her bir alternatifi bu referans serisi ile karşılaştırarak gri ilişkisel katsayıları hesaplar ve bu katsayılar üzerinden gri ilişki derecesini belirler (Liu ve Lin, 2010). Bu yaklaşım, özellikle sistem davranışının tam olarak belirlenemediği ve sınırlı veri ile çalışılması gereken durumlarda güvenilir sonuçlar sağlar. CODAS-Sort (Combinative Distance-based Assessment-Sort) tekniği, Keshavarz-Ghorabaee vd. (2018) tarafından geliştirilen ve alternatiflerin önceden tanımlanmış sınıflara atanmasını sağlayan sistematik bir sınıflandırma yaklaşımıdır.

Önceden tanımlanan sınıflar profiller, Öklid mesafesi ve Hamming mesafesi olmak üzere iki farklı mesafe metriğini entegre ederek kapsamlı bir değerlendirme çerçevesi sunar.

GİA tekniğinin tercih edilmesinin temel sebepleri ideal referans serisi ile sistematik karşılaştırma yapabilme yeteneği, normalizasyon ve ağırlıklandırma süreçlerini etkin kullanabilme ve hesaplama kolaylığı sunmasıdır. CODAS-Sort tekniğinin tercih edilme nedenleri ise iki farklı mesafe metriğini bir arada kullanması, referans profillerle karşılaştırma imkanı sunması ve sistematik bir sınıflandırma yapısına sahip olmasıdır.

Objektif ağırlıklandırma teknikleri arasında olan MEREC, kriterlerin önemini belirlemek için her bir kriterin kaldırılmasının alternatiflerin performansına etkisini ölçen objektif bir ağırlıklandırma tekniğidir. Diğer objektif ağırlıklandırma tekniklerinden olan Entropi (Shannon, 1948) ve CRITIC (Diakoulaki vd., 1995) farkı, kriterlerin doğrudan etkisini ölçerek daha dinamik bir sonuç vermesidir (Keshavarz-Ghorabaee vd., 2021).

CODAS Sort ve GİA teknikleri kullanılarak elde edilen alternatif sıralamaları arasındaki benzerlikleri Rand İndeks ve Adjujted (düzeltilmiş) Rand İndeks kullanılarak belirlenecektir.

Rand İndex (RI), kümeleme (clustering) veya sınıflandırma (classification) algoritmalarının performansını ölçmek için kullanılan bir benzerlik ölçüsüdür. İki farklı kümeleme sonucunu karşılaştırarak ne kadar uyumlu olduklarını 0 (hiç uyum yok) ile 1 (tam uyum) arasında bir değerle ifade eder (Rand, 1971). RI, şans eseri oluşabilecek benzerlikleri dikkate almadığı için Adjusted Rand Index (ARI) geliştirilmiştir. ARI, -1 ile 1 arasında değer alır. Burada 1 mükemmel uyumu, 0 rastgele eşleşmeyi ve negatif değerler ise beklenenden daha kötü uyumu ifade etmektedir (Hubert ve Arabie, 1985). Rand indeksin işlem adımları aşağıda kısaca açıklanmış ve bir örnek üzerinden hesaplanmıştır.

Adım 1: Toplam ikili sayılarının belirlenmesi

A ve B n elemandan oluşan iki farklı kümeleme olsun. Bu durumda oluşabilecek ikili sayısı eşitlik 1'de verilmiştir.

$$N = \binom{n}{2} = \frac{n(n-1)}{2} \quad (1)$$

Adım 2: a ve b değerlerinin elde edilmesi

Adım 1'de elde edilen her elaman çifti için aşağıda verilen durumlar kontrol edilerek a ve b değerleri elde edilir.

a: Hem A'da hem B'de aynı kümeye düşen çift sayısı (iki kümelemede de birlikte kalanlar)

b: hem A'da hem B'de farklı kümelere düşen çift sayısı (iki kümelemede de ayrı kalanlar)

Yani $a + b$, iki kümelemenin aynı kararı verdiği çiftlerin toplamıdır.

Adım 3: Rand İndeks değerlerinin elde edilmesi

Rand indeks değeri eşitlik 2'de verilenformülle elde edilir.

$$RI = \frac{a+b}{\binom{n}{2}} \quad (2)$$

işlem adımları aşağıda kısaca örneklendirilmiştir.

A ve B, İki farklı kümeleme olmak üzere;

- A kümelemesi: {1,2}, {3,4}
- B kümelemesi: {1,2,3}, {4}

Toplam ikililerin sayısı eşitlik 1 ile elde edilir. Bu durumda 4 elemandan, (1,2), (1,3), (1,4), (2,3), (2,4), (3,4) olmak üzere 6 olası çift oluşur.

Adım 2'de olası çiftlerin A ve B kümelemelerinde bulunma ve bulunmama durumlarına bakılır. Durumlar incelendiğinde;

- Aynı kümeye birlikte düşen çift: (1,2),
- Her iki kümede de ayrı kalan çiftler: (1,4), (2,4),

- Farklı karar verilen çiftler: (1,3), (2,3), (3,4).

Kısacası (1,2) ikilisi her iki kümelemede aynı, (1,4) ve (2,4) ikilileri de her iki kümelemede farklı kümelerde olduğundan Rand İndeks değeri;

$RI = \frac{a+b}{\binom{n}{2}} = \frac{1+2}{6} = 0{,}5$ olarak elde edilir.

Tablo 3.
Çalışmada Kullanılan Teknikler

CODAS-Sort	MEREC	Gri İlişkisel Analiz
Karar matrisinin oluşturulması $X = [X_{ij}]_{mxn}$	Karar matrisinin oluşturulması $X = [X_{ij}]_{mxn}$	Karar matrisinin oluşturulması $X = [X_{ij}]_{mxn}$
Limit profilleri matrisinin oluşturulması: l limit ve m kriterden oluşan matris aşağıda gösterilmiştir. $Y = [Y_{kj}]_{lxm}$ Burada şayet 3 sınıflandırma (iyi, orta, kötü) yapılacaksa 2 limit profilinin belirlenmesi lazım. Kaç sınıf oluşturulacaksa 1 eksiği kadar profil değerinin belirlenmesi gerekir.	Normalizasyon işlemi: Fayda veya maliyet kriterine göre normalizasyon işlemi uygulanır ve değerlerin [0,1] aralığına dönüştürülmesi sağlanır. Fayda ve maliyet yönlü kriterler için normalizasyon işlemi aşağıda sırasıyla verilmiştir. $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_j)}, r_{ij} = \frac{\min(x_j)}{(x_j)}$	Normalizasyon işlemi: Farklı birimlerdeki kriterleri [0,1] aralığına dönüştürme işlemidir. Fayda kriterleri için büyük değerler, maliyet kriterleri için küçük değerler tercih edilir. Fayda ve maliyet yönlü kriterler için aşağıda sırasıyla verilmiştir. $x_{ij}^* = \frac{(x_{ij} - minx_{ij})}{(max\ x_{ij} - minx_{ij})}, x_{ij}^* = \frac{(maxx_{ij} - x_{ij})}{(max\ x_{ij} - minx_{ij})}$
Negatif ideal çözümlerin belirlenmesi: $ns_j = \min_i x_{ij}$ $ms_j = \min_k y_{kj}$	Alternatiflerin Genel Performansının Hesaplanması: Tüm kriterler dikkate alınarak her bir alternatifin performansı hesaplanır. $S_i = \ln\left(1 + \left(\frac{1}{m}\sum_j \left|\ln\left(r_{ij}\right)\right|\right)\right)$	Referans serisinin belirlenmesi: Her kriter için ideal referans değerlerinin belirlenmesidir. Fayda kriterleri için maksimum, maliyet kriterleri için minimum değerler alınır. $x_{0j} = max\{x_{ij}^*\}, \quad x_{0j} = min\{x_{ij}^*\}$
Öklid ve Taxicab Mesafelerinin belirlenmesisi: Alternatif ve limitler için negatif ideal çözüme olan Öklid ve Taxicab mesafeleri hesaplanır. $E_{ai} = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}(x_{ij} - ns_j)^2}\ ve\ E_{bk} = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}(y_{kj} - ms_j)^2}$ $T_{ai} = \sum_{j=1}^{m}\left\|x_{ij} - ns_j\right\|\ ve\ T_{bk} = \sum_{j=1}^{m}\left\|y_{kj} - ms_j\right\|$	Kriterlerin Sırayla Kaldırılması ve Etkilerinin Ölçülmesi: Her bir kriter j sırasıyla çıkarılır ve yeni performans skorları hesaplanır: $S_i^{(j)} = \ln\left(1 + \left(\frac{1}{m}\sum_{k,k\neq j}\left|\ln(r_{ik})\right|\right)\right)$	Mutlak değer matrisini oluşturulması: Referans seri ile diğer serilerin normalize edilmiş değerleri arasındaki mutlak farkı gösterir. $\Delta_{0i}(j) = \left\|x_{0j} - x_{ij}^*\right\|$
Göreceli değerlendirme matrisinin oluşturulması: Göreceli değerlendirme matrisi $h(a_i, b_k)$ hesaplanır. $h(a_i, b_k) = [E_{ai} - E_{bk}] + (\vartheta[E_{ai} - E_{bk}] * [T_{ai} - T_{bk}])$	Kriterin Kaldırılmasının Etkisi Ölçümü: $E_j = \sum_{i=1}^{m}\left\|S_i^{(j)} - S_i\right\|$	Gri ilişkisel katsayı hesaplanması: Her bir değerin referans değere olan benzerlik derecesini gösterir. ζ ayırıcı katsayısı genellikle 0.5 alınır. $\omega_i(j) = \frac{(\Delta_{min} + \zeta\Delta_{max})}{(\Delta_{0i}(j) - \zeta\Delta_{max})}$
Göreli değerlendirme matrisi: İki mesafe ölçüsünün birleştirilmesiyle elde edilen değerlendirme skorunun (S_i) hesaplanması: Bütün alternatifler için göreli değerlendirme skorları hesaplandıktan sonra genellikle 0.02 olarak kabul edilen ψ (psi) eşik değeri kullanılarak alternatifler belirlenen sınıflara atanır. İki alternatifin göreli değerlendirme skorları S_i ve S_k olmak üzere, bu iki skor arasındaki fark ψ eşik değerinden küçükse iki alternatif aynı sınıfa atanır. İki skor arasındaki fark ψ eşik değerinden büyük veya eşitse farklı sınıflara atanır. Matematiksel gösterimleri aşağıda verilmiştir. $\|\boldsymbol{S_i} - \boldsymbol{S_k}\| < \psi$ ise aynı sınıfa atanır. $\|\boldsymbol{S_i} - \boldsymbol{S_k}\| \geq \psi$ ise ayrı sınıfa atanır.	Kriter ağırlıklarının hesaplanması: Her kriterin ağırlığı, etki değerine göre heseplanır. $w_j = \frac{E_j}{\sum_{k=1}^{n} E_k}$	Gri ilişki derecesi hesaplanması: Her bir alternatifin referans seriye olan toplam benzerlik derecesini gösterir. Kriter ağırlıkları da (varsa) bu aşamada hesaba katılır. $\Gamma_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \omega_i(j)$

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Bal Örneklerinin Analiz Sonuçları

Çalışmada kullanılan bal örneklerine ait veriler Güzel ve Bahçeci (2020) çalışmasından alınmıştır. Bu çalışmada Çorum iline ait 47 bal örneği ele alınmış ve bu balların Türk Gıda Kodeksi'ne uygunluğu araştırılmıştır. Bu çalışmadaki veriler derlenerek bal kalite değerlendirmesi için yaygın olarak kullanılan 8 kriter üzerinden analiz edilmiştir. Bal örneklerine ait başlangıç karar matrisi (Tablo 4)'te verilmiştir.

Tablo 4.

Bal Örneklerine Ait Başlangıç Karar Matrisi

Örnek	Nem	pH	Serbest Asitlik	HMF	Kül	Elektriksel İletkenlik	DS	G+F
1	15,9	3,89	34,1	3,5	0,23	0,412	21,7	65,1
2	18,3	3,81	34,9	2,3	0,33	0,444	16	64
3	19	3,75	35,2	7,7	0,13	0,396	17,4	64,4
4	17,8	3,76	35,2	3,7	0,12	0,397	21,3	66,4
5	17,1	3,6	35,1	1	0,14	0,333	20,6	67
6	16,8	3,69	40,4	1,1	0,19	0,452	27,3	66,9
7	15,8	3,8	35	1,2	0,19	0,42	17	68,6
8	17,5	3,67	37,6	3	0,02	0,285	32,2	63,6
9	15,9	3,76	35,1	4,2	0,12	0,299	20,7	62,1
10	15,6	3,77	37,3	4,2	0,15	0,302	18	65
11	16,3	3,8	33,1	2,7	0,05	0,259	20	67,3
12	16,3	3,73	32	2,9	0,07	0,298	16	62,2
13	14,8	3,55	29,6	7	0,06	0,205	8,7	60,9
14	16,1	3,71	31,1	4,1	0,1	0,294	11,6	63,5
15	15,8	3,9	47,8	0,5	0,26	0,48	23,1	64,8
16	17,6	3,93	33,7	10,8	0,22	0,435	3,5	63,9
17	17,1	3,9	21,1	6,3	0,02	0,242	0,1	67,9
18	16,8	3,88	25,9	36,5	0,08	0,214	4	62,2
19	17,9	3,63	33,3	1,7	0,08	0,31	24,4	66,4
20	16,9	3,99	38,3	4,2	0,28	0,561	19,2	66,6
21	16,8	3,96	33,5	1,6	0,21	0,416	18,1	66,8
22	17	3,88	40	0,6	0,15	0,431	23,3	70,6
23	21,7	3,77	36,1	0,5	0,12	0,334	19,7	57,5
24	16	3,9	26,5	1,9	0,17	0,298	11,1	67,3
25	17,7	3,6	31,8	8,7	0,1	0,264	15,4	65,6
26	16,2	3,74	46,3	1	0,15	0,4	17,2	65,5
27	15,7	3,85	32,3	1,7	0,11	0,294	23,2	63,5
28	16,5	3,92	28,6	0,3	0,2	0,271	14,4	69,6
29	16,8	3,93	27,9	0,9	0,17	0,523	19,8	62,5
30	17,1	3,73	28,7	4,6	0,13	0,281	14,6	66,5
31	15,8	4,2	29,2	0,4	1,58	0,367	14,4	65
32	16,6	3,93	25,3	0,3	0,13	0,302	18,7	65,8
33	17,3	3,86	35	0,3	0,12	0,337	11	64,6
34	15,6	3,92	30,8	4,2	0,16	0,361	14,5	64,2
35	15,8	3,94	24,9	3,4	0,04	0,265	9,5	66,5
36	17,9	3,85	32	0,4	0,1	0,288	21,2	67,1
37	17,1	3,8	27,5	1,5	0,02	0,271	14	65
38	16,7	3,83	47,3	2,9	0,23	0,411	19	68,6
39	16,4	3,79	37	5	0,09	0,364	20,3	66,7
40	16,1	4,13	21,5	1,5	0,57	0,674	16,3	64,2
41	17,6	3,87	25,2	0,5	0,13	0,327	9,1	69,9
42	17,3	3,93	25,3	1,1	0,18	0,313	9,6	67
43	16,1	3,91	26,1	1,7	0,18	0,307	15,8	68,4

44	17,7	3,74	32,4	2,3	0,22	0,415	17,4	66,4
45	17,1	3,91	21,4	1,6	0,23	0,355	9,5	65,6
46	18	3,78	29,7	0,8	0,05	0,285	12,7	67,9
47	14,5	3,9	25	4,6	0,11	0,261	18	73,4

(Tablo 4)'teki verilerin analizi için MS EXCEL programı kullanılmıştır. MEREC ağırlıklandırma tekniği kullanılarak elde edilen kriter ağırlıkları (Tablo 5)'te verilmiştir.

Tablo 5.

Bal Kalite Kriterleri Ağırlıklandırması

	Nem	pH	Serbest Asitlik	HMF	Kül	Elektriksel İletkenlik	DS	G+F
Ağırlık	0,0198	0,0070	0,0321	0,2397	0,2048	0,0532	0,4329	0,01020

(Tablo 5)'e göre önem derecesi en yüksek olan ilk 3 kriter sırasıyla; DS, HMF ve kül kriterleri olmuştur. HMF önemli bir bal kalite kriteridir ve balın tazeliğinin ve aşırı ısıtılmasının bir göstergesidir. Taze ballarda neredeyse hiç HMF bulunmazken pH değerine ve balın depolama sıcaklığına bağlı olarak artar (Bogdanov, 2015, s.66). White (1994, s.104) aşırı ısıl işlem ve uzun süre depolamanın en önemli göstergesinin HMF kriteri olduğunu belirtmiştir ancak DS ve HMF değerleri balın maruz kaldığı ısıtma değerlerini gösterdiği ve balın tazeliğinin bir göstergesi olduğu için birlikte kullanılması gerektiği literatürde sıkça belirtilmiş ve çalışmalarda birlikte ele alınmıştır (Tosi, 2005, s. 883). Bununla beraber Anklam (1998, s. 557) saf ve sahte balllarda kül ve HMF değerinin anlamlı bir korelasyon gösterdiğini belirtmiştir. Dolayısıyla DS, HMF ve kül kriterlerinin balın kalitesinin belirlenmesinde önemli kriterler olduğu literatür tarafından da desteklenmektedir.

MEREC, CODAS-Sort ve GİA tekniklerinin birlikte kullanılması ile elde edilen bal örneklerine ait sınıflandırma (Tablo 6)'da verilmiştir.

Tablo 6.

Analiz Sonuçları

Örnek	CODAS- Sort	MEREC-CODAS Sort	GİA	GİA*	MEREC -GİA	MEREC-GİA*	Örnek	CODAS- Sort	MEREC-CODAS Sort	GİA	GİA*	MEREC -GİA	MEREC -GİA*
B1	S4	S2	35	S3	24	S2	**B25**	S4	S2	18	S2	39	S4
B2	S3	S2	44	S4	42	S4	**B26**	S4	S2	30	S3	32	S3
B3	S3	S2	43	S4	41	S4	**B27**	S4	S2	13	S2	3	S1
B4	S4	S2	32	S3	19	S2	**B28**	S1	S2	10	S1	13	S2
B5	S4	S2	7	S1	9	S1	**B29**	S4	S2	36	S3	20	S2
B6	S1	S2	21	S2	4	S1	**B30**	S4	S3	19	S2	30	S3
B7	S4	S2	27	S3	25	S3	**B31**	S1	S2	45	S4	45	S4
B8	S1	S1	3	S1	1	S1	**B32**	S1	S1	11	S1	6	S1
B9	S4	S2	24	S2	14	S2	**B33**	S1	S2	33	S3	28	S3
B10	S4	S2	28	S3	27	S3	**B34**	S3	S3	31	S3	37	S4
B11	S1	S2	6	S1	7	S1	**B35**	S4	S3	8	S1	18	S2
B12	S4	S2	20	S2	16	S2	**B36**	S1	S2	16	S2	5	S1
B13	S4	S3	2	S1	34	S3	**B37**	S1	S2	9	S1	10	S1
B14	S4	S3	23	S2	33	S3	**B38**	S4	S2	39	S4	40	S4
B15	S1	S2	38	S4	23	S2	**B39**	S4	S2	29	S3	22	S2
B16	S2	S4	47	S4	46	S4	**B40**	S4	S2	40	S4	44	S4
B17	S1	S3	4	S1	38	S4	**B41**	S4	S2	14	S2	21	S2

B18	S4	S3	41	S4	47	S4	**B42**	S4	S3	26	S3	31	S3
B19	S1	S2	5	S1	2	S1	**B43**	S4	S2	12	S1	15	S2
B20	S3	S2	46	S4	43	S4	**B44**	S4	S2	34	S3	35	S3
B21	S4	S2	37	S4	29	S3	**B45**	S2	S3	22	S2	36	S3
B22	S1	S2	25	S3	8	S1	**B46**	S2	S2	15	S2	12	S1
B23	S1	S2	42	S4	17	S2	**B47**	S2	S2	1	S1	11	S1
B24	S4	S3	17	S2	26	S3							

*: ÇKKV tekniği ile elde edilen sıralama sonuçlarının sınıflandırılması

(Tablo 6)'da analiz sonuçları için Rand İndeks ve Düzeltilmiş (Adjusted) Rand İndeks değerleri hesaplanmıştır. Sınıflandırmaların karşılaştırılabilir olması için GİA ve GİA-MEREC bütünleşik yaklaşımı da kendi arasında 4 grup; S1(1-12), S2(13-24), S3(25-36) ve S4(37-47) şeklinde sınıflandırılmıştır. Rand İndex ile elde edilen sonuçlar (Tablo 7)'de verilmiştir.

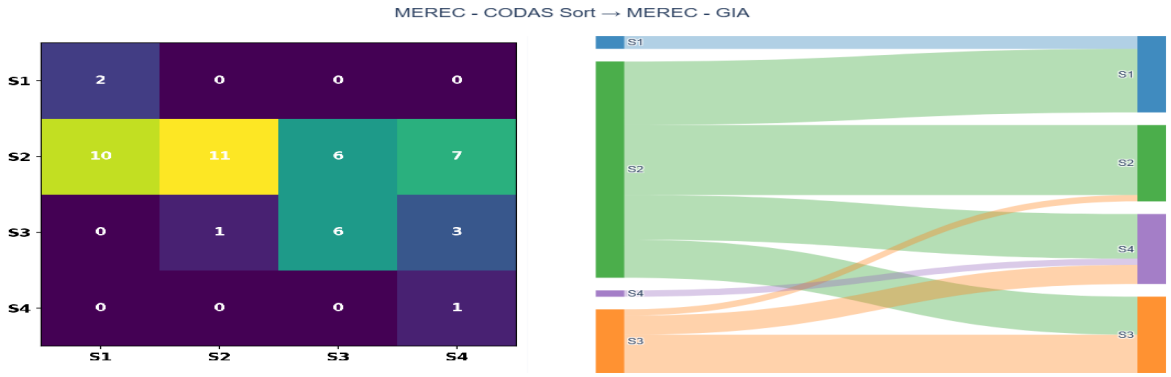
Tablo 7.

Rand İndex Sonuçları

Karşılaştırma	RI	ARI
CODAS Sort ve GİA	0,5903	0,0603
GİA ve MEREC-GİA	0,6927	0,1337
MEREC-CODAS Sort ve MEREC- GİA	0,4879	0,0187
CODAS Sort ve MEREC-CODAS Sort	0,5107	0,0398

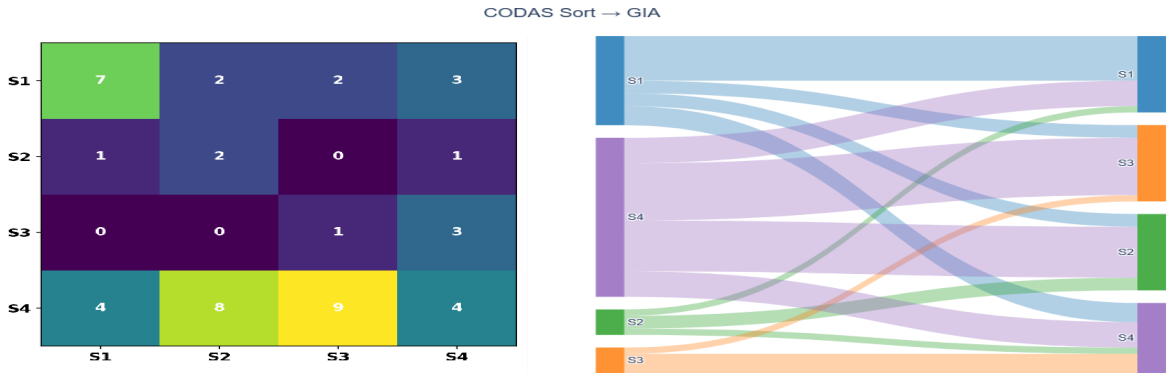
(Tablo 7)'ye göre alternatiflerin sınıflandırılması RI değerlerinin düşük olması ve ARI değerlerinin 0'a yakın olması nedeniyle raslantısal olarak ortaya çıktığı söylenebilir.

(Tablo 6)'da elde edilen analiz sonuçlarının daha iyi yorumlanabilmesi için sonuçlar ikili olarak karşılaştırılarak, geçiş matrisi ve Sankey diyagramı ile gösterilmiştir.



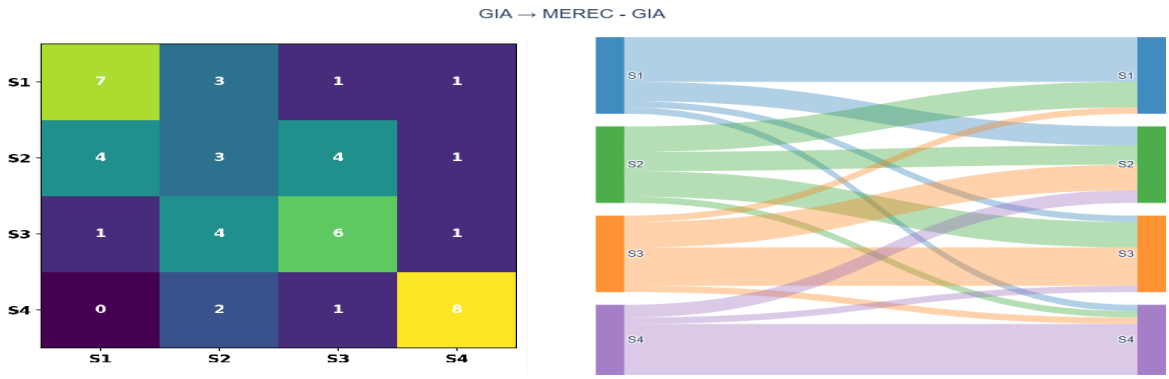
Şekil 1: MEREC CODAS Sort → MEREC GİA için geçiş matrisi ve Sankey diyagramı

(Şekil 1)'de , CODAS Sort ve GİA tekniklerinin ağırlıklandırılmış kriterlerle yapılan analizlerinde, küme yapılarının diğer karşılaştırmalara göre daha benzer olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, küme geçişlerinin tamamen ortadan kalkmadığı ve sınıflandırmaların tam olarak örtüşmediği de görülmektedir. Elde edilen Rand İndeksi (RI = 0,4879) ve düzeltilmiş Rand İndeksi (ARI = 0,0187) değerleri, iki ağırlıklandırılmış teknik arasında beklenenden daha düşük bir yapısal uyum bulunduğunu ve benzerliğin rastlantısal bir seviyeye yakın olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, ağırlıklandırma yapıldıktan sonra bile teknik farklılıklarının sınıflandırma sonuçlarını etkilemeye devam ettiğini ortaya koymaktadır.



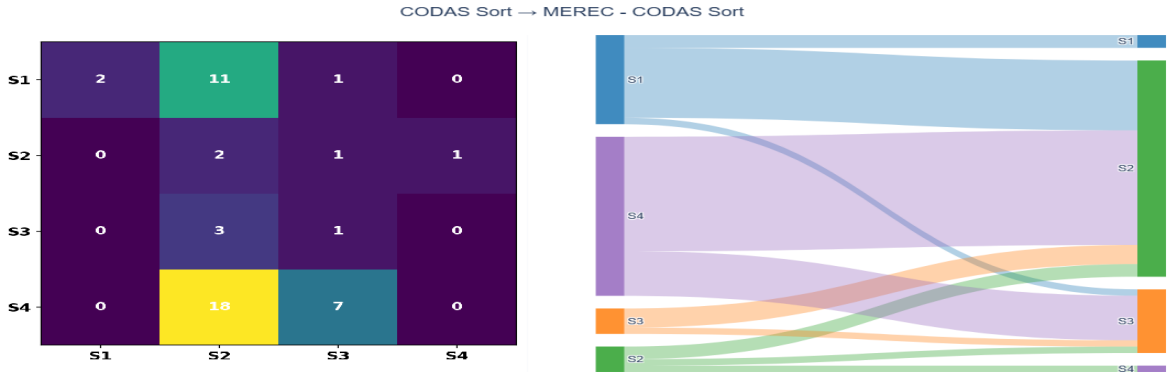
Şekil 2: CODAS Sort → GİA için geçiş matrisi ve Sankey diyagramı

(Şekil 2)'de verilen karşılaştırma, aynı veri seti kullanılmasına rağmen her iki tekniğin farklı küme yapıları oluşturduğunu göstermektedir. Özellikle orta ve yüksek kümeler arasında belirgin geçişler olsa da, tamamen kopuk bir sınıflandırma yapısı ortaya çıkmamıştır. Bu durum, CODAS'ın mesafe tabanlı yapısı ile GIA'nın göreceli üstünlük yaklaşımının farklı karar verme mekanizmalarına dayandığını göstermektedir. Rand İndeksi (RI = 0,5903) ve düzeltilmiş Rand İndeksi (ARI = 0,0603) değerleri, iki teknik arasında çok zayıf bir yapısal uyum ve sınırlı bir benzerlik olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, tekniklerdeki değişiklik, küme yapısında kayda değer bir farklılaşmaya yol açmıştır.



Şekil 3: GİA → MEREC GİA için geçiş matrisi ve Sankey diyagramı

(Şekil 3'teki karşılaştırma, küme geçişlerinin daha dengeli olduğunu ve kümelerin belirli bir ölçüde korunduğunu göstermektedir. Özellikle bazı kümelerdeki alternatiflerin aynı sınıflarda kalması, tekniklerin ağırlık değişikliklerine karşı belirli bir istikrar sergilediğine işaret etmektedir. Ancak Rand İndeksi (RI = 0,6927) ve düzeltilmiş Rand İndeksi (ARI = 0,1337) değerleri, iki sınıflandırma arasında yalnızca düşük ile orta düzey arasında bir uyum bulunduğunu ve yapısal benzerliğin sınırlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla GIA tekniği CODAS'a kıyasla daha istikrarlı görünse de, MEREC ağırlıklandırması küme yapısı üzerinde hala önemli bir etkiye sahiptir.



Şekil 4: CODAS Sort → MEREC- CODAS Sort için geçiş matrisi ve Sankey diyagramı

(Şekil 4)'teki karşılaştırma, küme geçişlerinin özellikle S4 ve S1 kümelerinden S2 kümesine yoğunlaştığını göstermektedir. Bu durum, MEREC ağırlıklandırmasının CODAS sınıflandırma yapısını değiştirdiğine işaret etmektedir. Küme yapısındaki bu değişiklik, iki sınıflandırma arasındaki uyumun oldukça düşük olduğunu ortaya koymaktadır. Nitekim Rand İndeksi (RI = 0,5107) ve düzeltilmiş Rand İndeksi (ARI = 0,0398) değerleri, kümeler arasında yalnızca zayıf bir yapısal benzerlik bulunduğunu ve uyumun büyük ölçüde rastlantısal olduğunu göstermektedir. Özetle, MEREC ağırlıklandırmasının CODAS sınıflandırmasını önemli ölçüde değiştirdiği ve küme yapısında kayda değer değişikliklere yol açtığı söylenebilir.

Bu çalışmada bal kalite kriterlerinin ağırlıklandırılması, alternatiflerin sıralanması ve sıralanmasının yanı sıra, Rand indeks ve düzeltilmiş Rand indeks değerleri hesapalanarak sonuçlar arasındaki yapısal benzerlikler araştırılmıştır. Sonuçlar, analiz edilen veri seti için MEREC ağırlıklandırmasının CODAS sınıflandırması üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğini, GIA tekniğinin ise ağırlık değişikliklerine göre nispeten daha dengeli bir yapı sergilediğini göstermektedir. Bununla birlikte, genel olarak düşük ARI değerleri, küme yapıları arasında sınırlı bir benzerlik olduğunu ve teknik ile ağırlıklandırma seçimlerinin sınıflandırma sonuçlarını etkileyebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu sonuçların tek bir veri setine ve belirli bir uygulama bağlamına dayandığını ve genelleştirilmemesi gerektiğini belirtmek önemlidir. Tekniklerin davranışı farklı veri setlerinde, kriter yapılarında ve karar verme ortamlarında değişebileceğinden, bu bulgular yalnızca incelenen örnek bağlamında yorumlanmalıdır. Bu bağlamda, bal seçimi gibi çok kriterli karar problemlerine sınıflandırma ve sıralama tekniklerinin birlikte uygulanması, alternatiflerin göreceli konumlarının daha kapsamlı bir analizini sağlayabilir ve karar vericilere tamamlayıcı bilgiler sunabilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, bal kalitesinin değerlendirilmesinde ÇKKV tekniklerinin uygulanabilirliğini incelemiştir. Bu amaçla MEREC ağırlıklandırma tekniği ile kriterlerin önem ağırlıkları belirlenmiş, CODAS-Sort ve GIA teknikleri kullanılarak kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, ÇKKV tekniklerinin özellikle incelenen veri seti için bal kalitesinin değerlendirilmesinde etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Analiz sonuçlarına göre, MEREC ağırlıklandırma tekniği ile hesaplanan ağırlık değerleri açısından kuru madde içeriği (DS, %43,29), HMF (%23,97) ve kül içeriği (%20,48) parametreleri belirgin şekilde öne çıkmıştır. Bu üç kriterin toplam ağırlığının %87,74 gibi yüksek bir değere ulaşması, sınıflandırma ve sıralama sonuçlarını önemli ölçüde etkilemiştir. Bu sonuç literatürle uyumludur: Bogdanov (2004) ve White (1994) diastaz aktivitesi ve HMF içeriğinin balın tazeliği ve işleme geçmişi için güvenilir göstergeler olduğunu vurgularken, Anklam (1998) kül içeriğini balın saflığı ve mineral bileşimi için kritik bir parametre olarak belirtmiştir.

Bu çalışmada, özellikle yüksek HMF değerine (>10 mg/kg) ve düşük diastaz aktivitesine (<10 Schade) sahip numuneler tağşiş açısından şüpheli olarak sınıflandırılmıştır. Bu sonuçlar Türk Bal Tebliği'nin sınır değerleri ile uyumlu bulunmuştur. Farklı teknik ve ağırlıklandırma stratejileri ile elde edilen sınıflandırmaların yapısal benzerliği Rand İndeksi ve düzeltilmiş Rand İndeksi kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar, incelenen veri seti için sınıflandırmaların genel olarak düşük yapısal uyum gösterdiğini ortaya koymuştur (RI ≈ 0,49–0,69; ARI ≈ 0,02–0,13). Özellikle düzeltilmiş Rand İndeksi'nin düşük değerleri, sınıflandırma sonuçlarının benzerliğinin oldukça sınırlı olduğunu ve daha önce yapılan çalışmalarda da belirtildiği üzere, teknik ile ağırlıklandırma seçiminin küme yapısını etkileyebildiğini göstermektedir.

Bu çalışmanın sonuçları, bal seçimi ve kalite değerlendirmesinde sınıflandırma ve sıralama tekniklerinin birlikte kullanılmasının, alternatiflerin göreli konumlarının daha kapsamlı bir şekilde analiz edilmesine katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Bu tür yaklaşımlar, bal kalite kontrolü ve tağşiş tespitine yönelik karar süreçlerinde yardımcı araç olarak kullanılabilir. Ancak teknikler veri yapısı ve karar ortamına göre farklılık gösterebileceğinden, sonuçların genellenebilirliğini test etmek için daha büyük veri setleri ve farklı uygulama koşulları altında çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Bu bağlamda, bal sektöründe ÇKKV dayalı değerlendirme yaklaşımlarının kullanılması, kalite güvencesi, tüketici güveni ve sürdürülebilir arıcılık açısından potansiyel faydalar sunmaktadır. Özellikle bu tekniklerin resmi kontrol mekanizmalarında analitik bir araç olarak kullanılması, tağşişin önlenmesine ve kalite odaklı üretimin teşvik

edilmesine katkı sağlayabilir. Gelecekteki çalışmalar, farklı coğrafi bölgelerden daha büyük örneklemlerle analizler yapmalı ve ÇKKV tekniklerinin botanik köken ve coğrafi işaret belirlenmesindeki etkinliğini araştırmalıdır.

Kaynakça | References

Acquarone, C., Buera, P., & Elizalde, B. (2007). Pattern of pH and electrical conductivity upon honey dilution as a complementary tool for discriminating geographical origin of honeys. *Food chemistry*, *101*(2), 695-703. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.058

Afendi, N. A., & Shah, N. N. A. K. (2022). Impact of UV-C assisted drying treatment on the quality of Malaysian stingless bee honey. Advances in Agricultural and Food Research Journal, 3(2). https://doi.org/10.36877/aafrj.a0000306

Ahmad, N. N., & Khairatun, S. N. (2021). Exploring fraudulent honey cases from readily available food fraud databases. GATR Global Journal of Business Social Sciences Review, 9(2), 99-113. https://doi.org/10.35609/gjbssr.2021.9.2(1)

Alaerjani, W. M. A., Abu-Melha, S., Alshareef, R. M. H., Al-Farhan, B. S., Ghramh, H. A., Al-Shehri, B. M. A., ... & Mohammed, M. E. A. (2022). Biochemical reactions and their biological contributions in Honey. Molecules, 27(15), 4719. https://doi.org/10.3390/molecules27154719

Alghamdi, B. A., Alshumrani, E. S., Saeed, M. S. B., Rawas, G. M., Alharthi, N. T., Baeshen, M. N., ... & Suhail, M. (2020). Analysis of sugar composition and pesticides using HPLC and GC–MS techniques in honey samples collected from Saudi Arabian markets. Saudi Journal of Biological Sciences, 27(12), 3720-3726. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.08.018

Alvarez-Suarez, J. M., Tulipani, S., Romandini, S., Bertoli, E., & Battino, M. (2010). Contribution of honey in nutrition and human health: a review. Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism, 3(1), 15-23. DOI: 10.1007/s12349-009-0051-6

Anklam, E. (1998). A review of the analytical methods to determine the geographical and botanical origin of honey. Food chemistry, 63(4), 549-562. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00057-0

Aykas, D. P. (2023). Determination of possible adulteration and quality assessment in commercial honey. Foods, 12(3), 523. https://doi.org/10.3390/foods12030523

Ayton, J., Redfern, L., Robinson, K., Pritchard, M., Corkrey, R., & Barnes, S. (2019). *Australian honey bee industry: Vol. 19-052. Future insights for the Australian honey bee industry* (Final Report No. 19-052). AgriFutures Australia.

Belay, A., Solomon, W. K., Bultossa, G., Adgaba, N., & Melaku, S. (2013). Physicochemical properties of the Harenna forest honey, Bale, Ethiopia. Food chemistry, 141(4), 3386-3392. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.035

Bogdanov, S., & Martin, P. (2002). Honey authenticity: a review. Mitt. Lebensm. Hyg, 93, 232-254.

Bogdanov, S., Lüllmann, C., Martin, P., Von Der Ohe, W., Russmann, H., Vorwohl, G., ... & Vit, P. (1999). Honey quality and international regulatory standards: review by the International Honey Commission. Bee world, 80(2), 61-69. https://doi.org/10.1080/0005772X.1999.11099428

Bogdanov, S., Ruoff, K., & Oddo, L. P. (2004). Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: a review. Apidologie, 35(Suppl. 1), S4-S17. DOI: 10.1051/apido:2004047

Bose, D., & Padmavati, M. (2024). Honey Authentication: A review of the issues and challenges associated with honey adulteration. Food Bioscience, 61, 105004. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105004

Bouyssou, D., Marchant, T., Pirlot, M., Perny, P., Tsoukias, A., & Vincke, P. (2000). Evaluation and Decision Models: A Critical Perspective. Springer Science & Business Media.

Brans, J. P., & Vincke, P. (1985). A preference ranking organisation method: The PROMETHEE method for multiple criteria decision-making. Management Science, 31(6), 647-656.

Cabańero AI, Recio JL, Rupérez M (2006). Liquid chromatography coupled to isotope ratio mass spectrometry:A new perspective on honey adulteration detection. J Agric Food Chem 54: 9719-9727

Ceylan, D. A., Uslu, N., Gül, A., Özcan, M. M. ve Özcan, M. M. (2019). Effect of honey types on physico-chemical properties, electrical conductivity and mineral contents of honeys. J. Agroaliment. Process. Technol, 25, 31-35. http://journal-of-agroalimentary.ro/

Chen, T. Y., & Li, C. H. (2011). Objective weights with intuitionistic fuzzy TOPSIS-Sort method. Expert Systems with Applications, 38(9), 12163-12170.

Cilia, G., Fratini, F., Marchi, M., Sagona, S., Turchi, B., Adamchuk, L., ... & Kačániová, M. (2020). Antibacterial activity of honey samples from Ukraine. Veterinary sciences, 7(4), 181. https://doi.org/10.3390/vetsci7040181

Codex, A.C. Codex Alimentarius Commission: Revised Codex Standard for Honey Codex Stan 12-1981, Rev. 1 (1987), Rev. 2 (2001). Codex Stand. 2001, 12, 1–7.

Cotrina-Sanchez, A., García, L., Calle, C., Sari, F., Bandopadhyay, S., Rojas-Briceño, N. B., ... & Oliva, M. (2023). Multicriteria analysis in apiculture: A austainable tool for rural development in communities and conservation areas of northwest Peru. Land, 12(10), 1900. https://doi.org/10.3390/land12101900

da Silva, P. M., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Honey: Chemical composition, stability and authenticity. Food chemistry, 196, 309-323. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.051

Deng, J. L. (1982). Control problems of grey systems. Systems & Control Letters, 1(5), 288-294. https://doi.org/10.1016/S0167-6911(82)80025-X

Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The CRITIC method. Computers & Operations Research, 22(7), 763-770.

Escuredo, O., Dobre, I., Fernández-González, M., & Seijo, M. C. (2014). Contribution of botanical origin and sugar composition of honeys on the crystallization phenomenon. Food chemistry, 149, 84-90. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.097

Eteraf-Oskouei, T., & Najafi, M. (2013). Traditional and modern uses of natural honey in human diseases: a review. Iranian journal of basic medical sciences, 16(6), 731.

Fakhlaei, R., Selamat, J., Khatib, A., Razis, A. F. A., Sukor, R., Ahmad, S., & Babadi, A. A. (2020). The toxic impact of honey adulteration: A review. Foods, 9(11), 1538. http://dx.doi.org/10.3390/foods9111538

Güzel, N. ve Bahçeci, K. S. (2020). Çorum yöresi ballarinin bazi kimyasal kalite parametrelerinin değerlendirilmesi. Gıda, 45(2), 230-241. doi: 10.15237/gida.GD19129

Hubert, L., & Arabie, P. (1985). Comparing partitions. Journal of classification, 2(1), 193-218.

Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Springer-Verlag, New York.

Ishizaka, A., Pearman, C., & Nemery, P. (2012). AHPSort: An AHP-based method for sorting problems. International Journal of Production Research, 50(17), 4767-4784. https://doi.org/10.1080/00207543.2012.657966

Karabagias, I. K., Badeka, A., Kontakos, S., Karabournioti, S., & Kontominas, M. G. (2014). Characterisation and classification of Greek pine honeys according to their geographical origin based on volatiles, physicochemical parameters and chemometrics. Food chemistry, 146, 548-557. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.105

Kerkvliet, J. D., & Meijer, H. A. (2000). Adulteration of honey: relation between microscopic analysis and $\delta^{13} $ C measurements. Apidologie, 31(6), 717-726.

Keshavarz-Ghorabaee, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2018). A dynamic fuzzy approach based on the EDAS method for multi-criteria subcontractor evaluation. Information, 9(3), 68. https://doi.org/10.3390/info9030068

Krell, R. (1996). Value-added products from beekeeping (No. 124). Food & Agriculture Org..

Liu, S., & Lin, Y. (2010). Grey Systems: Theory and Applications. Springer-Verlag, Berlin. http://dx.doi.org/10.1108/GS-04-2015-0016

Morariu, I. D., Avasilcai, L., Vieriu, M., Lupu, V. V., Ioniuc, I., Morariu, B. A., ... & Trandafir, L. (2024). A comprehensive narrative review on the hazards of bee honey adulteration and contamination. Journal of Food Quality, 2024(1), 3512676. https://doi.org/10.1155/2024/3512676

Moškrič, A., Mole, K., & Prešern, J. (2021). EPIC markers of the genus Apis as diagnostic tools for detection of honey fraud. Food control, 121, 107634. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107634

Neumann, P., & Straub, L. (2023). Beekeeping under climate change. Journal of Apicultural Research, 62(5), 963-968. https://doi.org/10.1080/00218839.2023.2247115

Pećanac, B., Golić, B., Kasagić, D., & Knežević, D. (2023, March). Quality of honey and suspicion of honey adulteration. In Proceedings of the VIII International Congress Engineering, Environment and Materials in Process Industry, Jahorina, Bosnia and Hercegovina (pp. 20-23).

Piekarz, I., Sorocki, J., Delmonte, N., Silvestri, L., & Bozzi, M. (2025). Low-cost honey adulteration detection platform with a plug-and-measure microwave sensor. Measurement, 246, 116692. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.116692

Rand, W. M. (1971). Objective criteria for the evaluation of clustering methods. Journal of the American Statistical association, 66(336), 846-850.

Raweh, H. S., Badjah-Hadj-Ahmed, A. Y., Iqbal, J., & Alqarni, A. S. (2023). Physicochemical composition of local and imported honeys associated with quality standards. Foods, 12(11), 2181. https://doi.org/10.3390/foods12112181

Ropciuc, S., Dranca, F., Pauliuc, D., & Oroian, M. (2023). Honey authentication and adulteration detection using emission–excitation spectra combined with chemometrics. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 293, 122459. https://doi.org/10.1016/j.saa.2023.122459

Roy, B. (1996). Multicriteria Methodology for Decision Aiding. Kluwer Academic Publishers.

Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.

Samarghandian, S., Farkhondeh, T., & Samini, F. (2017). Honey and health: A review of recent clinical research. Pharmacognosy research, 9(2), 121. DOI: 10.4103/0974-8490.204647

Sarı, F., Ceylan, D. A., Özcan, M. M., & Özcan, M. M. (2020). A comparison of multicriteria decision analysis techniques for determining beekeeping suitability. Apidologie, 51(4), 481-498. http://dx.doi.org/10.1007/s13592-020-00736-7

Schade, J. E., Marsh, G. L., & Eckert, J. E. (1958). Diastase activity and hydroxy-methyl-furfural in honey and their usefulness in detecting heat alteration. Journal of Food Science, 23(5), 446-463.

Se, K. W., Wahab, R. A., Yaacob, S. N. S., & Ghoshal, S. K. (2019). Detection techniques for adulterants in honey: Challenges and recent trends. Journal of Food Composition and Analysis, 80, 16-32. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.04.001

Shaharudin, N. A., Rahman, S. A., Benjamin, A. M., Omar, M. F., & Man, M. (2023). On the use of multi-criteria decision making model for selecting the important criteria in meliponiculture. Univers. J. Agric. Res., 11(2), 336-343. 10.13189/ujar.2023.110211

Shapla, U. M., Solayman, M., Alam, N., Khalil, M. I., & Gan, S. H. (2018). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products: effects on bees and human health. Chemistry Central Journal, 12(1), 1-18. https://doi.org/10.1186/s13065-018-0408-3

Siddiqui, A. J., Musharraf, S. G., & Choudhary, M. I. (2017). Application of analytical methods in authentication and adulteration of honey. Food Chemistry, 217, 687-698. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.001

Singh, I., Sukhmeet, S., Hans, V. S., & Singh, J. (2022). Development of inclined plate honey moisture reduction system. Journal of Food Science and Technology, 59(2), 615-624. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05049-w

Soares, S., Amaral, J. S., Oliveira, M. B. P., & Mafra, I. (2017). A comprehensive review on the main honey authentication issues: Production and origin. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 16(5), 1072-1100. doi: 10.1111/1541-4337.12278

Soares, S., Amaral, J. S., Oliveira, M. B. P., & Mafra, I. (2017). A comprehensive review on the main honey authentication issues: Production and origin. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 16(5), 1072-1100. doi:10.1111/1541-4337.12278

Solayman, M., Islam, M. A., Paul, S., Ali, Y., Khalil, M. I., Alam, N., & Gan, S. H. (2016). Physicochemical properties, minerals, trace elements, and heavy metals in honey of different origins: a comprehensive review. Comprehensive reviews in food science and food safety, 15(1), 219-233. doi:10.1111/1541-4337.12182

T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı. (2005). Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği (Tebliğ No: 2005/49). Resmî Gazete, 26026 (17 Aralık 2005).

Tosi, E., Martinet, R., Ortega, M., Lucero, H. A., & Ré, E. (2008). Honey diastase activity modified by heating. Food Chemistry, 106(3), 883-887. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.025

Tsagkaris, A. S., Koulis, G. A., Danezis, G. P., Martakos, I., Dasenaki, M., Georgiou, C. A., & Thomaidis, N. S. (2021). Honey authenticity: Analytical techniques, state of the art and challenges. RSC advances, 11(19), 11273-11294. DOI: 10.1039/d1ra00069a

Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği. (2020). Tebliğ No: 2020/7, T.C. Resmi Gazete, 31107, 22 Nisan 2020.

Vercelli, M., Novelli, S., Ferrazzi, P., Lentini, G., & Ferracini, C. (2021). A qualitative analysis of beekeepers' perceptions and farm management adaptations to the impact of climate change on honey bees. Insects, 12(3), 228. https://doi.org/10.3390/insects12030228

Walker, M. J., Cowen, S., Gray, K., Hancock, P., & Burns, D. T. (2022). Honey authenticity: the opacity of analytical reports-part 1 defining the problem. NPJ science of food, 6(1), 11. https://doi.org/10.1038/s41538-022-00126-6

White, J. W. (1994). The role of HMF and diastase assays in honey quality evaluation. Bee World, 75(3), 104-117. https://doi.org/10.1080/0005772X.1994.11099213

Yu, W. (1992). ELECTRE TRI: Aspects méthodologiques et manuel d'utilisation. Document du LAMSADE, 74.

Yücel, Y., & Sultanog, P. (2013). Characterization of honeys from Hatay Region by their physicochemical properties combined with chemometrics. Food Bioscience, 1, 16-25. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2013.02.001

Zábrodská, B., & Vorlová, L. (2015). Adulteration of honey and available methods for detection–a review. Acta Veterinaria Brno, 83(10), 85-102. doi:10.2754/avb201483S10S85

Zeleny, M. (1982). Multiple Criteria Decision Making. McGraw-Hill, New York

Zhang, G., & Abdulla, W. (2022). On honey authentication and adulterant detection techniques. Food Control, 138, 108992. DOI: 10.1016/j.foodcont.2022.108992