

# Gıdalarda Çözücü Olarak Kullanılan Etil Alkol: Alternatif Yöntemler ve Kaynaklar\*

Hatice Feyza AKBULUT<sup>1</sup>, Mehmet AKBULUT<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Selçuk Üniversitesi, Çumra Meslek Yüksekokulu, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bölümü, Konya, Türkiye

<sup>2</sup> Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

## Öz

Etil alkol, gıdalarda aroma ve gıda katkı maddelerini çözündürmek ve bitkilerde bulunan fenolik asitler, flavonoidler, karotenoidler, alkoloidler vb biyoaktif bileşenleri özütlemek gibi çeşitli amaçlar için kullanılan polar organik bir alkol çeşididir. Diğer metanol gibi çözücülere göre toksik olmaması, kullanım kolaylığı, maliyetinin düşük olması ve çözücü olarak uygun fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmasından dolayı çokça tercih edilmektedir. Etil alkol İslam inancına göre tüketilmesi yasaklanmıştır. Gıdalarda kullanılan aroma maddelerini çözündürmek ve vanilya gibi doğal aromaların etkisini artırmak amacıyla kullanılan etil alkol aromalarla birlikte gıdalarında yapısına dahil olmalarından dolayı İslam inancına sahip bireylerin bu gıdaları tüketmelerinde şüpheler oluşturmaktadır. Aynı zamanda bitkilerden etken maddeler ekstrakte edildikten sonra her ne kadar çözücü olarak etil alkol evaporatif ve süblimatif yöntemlerle uzaklaştırıldığı düşünülse de bir miktar kalıntı olarak kaldığı yapılan araştırmalarda tespit edilmiş durumdadır. Bu açıdan yukarıda sayılan çeşitli amaçlar için kullanılan etil alkole toksik olmayan uygun bir alternatif çözücü arayışlarına girilmiş ve aynı zamanda bitkilerdeki biyoaktif maddelerin ekstraksiyonunda çözücü kullanılmayan yeni tekniklerin arayışları başlamıştır. Aroma çözücü olarak etil alkole alternatif propilen glikol gibi bazı çözücüler zayıf etkilerine rağmen günümüzde kullanılmaktadır. Bu gibi çözücüler zayıf etkilerinden ve insan sağlığı üzerine olumsuz etkilerinden ve kullanımı sınırlı düzeyde olmasından dolayı çözücü kullanılmadan etkili olabilecek alternatif yöntemler araştırılmaktadır. Aroma ve bazı gıda katkı maddelerinin gıdalarda emülsiyer formatında kullanımı yaygınlaşmıştır. Bitkilerden sağlık amaçlı biyoaktif bileşenlerin çıkarılmasında ise suyu ve karbondioksiti etkili şekilde kullanan yeni ekstraksiyon teknikleri veya herhangi bir çözgen kullanımına gerek duyulmayan ekstraksiyon teknikleri kullanılabilir. Ultrason destekli ekstraksiyon, süperkritik akışkan ekstraksiyonu, mikrodalga destekli ekstraksiyon, subkritik su ekstraksiyonu ve enzim destekli ekstraksiyon teknikleri bu amaçla günümüzde laboratuvar ve endüstriyel ölçekte başarılı bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Sonuç olarak, bazı katkı maddelerinin çözündürülmesinde ve bitkilerden biyoaktif bileşenlerin çıkarılmasında etil alkol alternatifi çözücüler ve ekstraksiyon teknikleri bulunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Etil alkol, çözücüler, biyoaktif bileşenler, ekstraksiyon, ekstraksiyon teknikleri

<sup>1</sup> [haticefeyza@selcuk.edu.tr](mailto:haticefeyza@selcuk.edu.tr)

<sup>2</sup> **Corresponding Author:** [makbulut@selcuk.edu.tr](mailto:makbulut@selcuk.edu.tr)

\* Bu çalışma 17-19 Mayıs 2024 tarihleri arasında düzenlenen Uluslararası Helal Kongresi'nde sunulmuştur.

**Gönderilme/Recieved:** 24 June 2024

**Kabul/Accepted:** 27 June 2024

**Yayınlanma/Published:** 30 June 2024

## **Ethyl Alcohol Used as a Solvent in Foods: Alternative Methods and Sources**

### **Abstract**

Ethyl alcohol is a type of polar organic alcohol used for various purposes such as dissolving flavorings and food additives in foods and extracting bioactive components such as phenolic acids, flavonoids, carotenoids, alkaloids, etc. found in plants. It is widely preferred because it is non-toxic compared to other solvents such as methanol, easy to use, low cost and has suitable physical and chemical properties as a solvent. Consumption of ethyl alcohol is prohibited according to Islamic belief. Ethyl alcohol, which is used to dissolve flavoring substances used in foods and to increase the effect of natural flavors such as vanilla, creates doubts in the consumption of these foods by individuals of Islamic faith because it is included in the structure of foods along with flavors. At the same time, although ethyl alcohol as a solvent is thought to be removed by evaporative and sublimative methods after the active ingredients are extracted from the plants, it has been determined in research that it remains as a residue. In this respect, a search has been made for a suitable non-toxic alternative solvent to ethyl alcohol, which is used for various purposes listed above, and at the same time, searches have begun for new techniques that do not use solvents in the extraction of bioactive substances in plants. Some solvents such as propylene glycol, which are alternatives to ethyl alcohol as flavor solvents, are used today despite their weak effects. Since the use of such solvents is limited due to their weak effects and negative effects on human health, alternative methods that can be effective without the use of solvents are being investigated. The use of flavors and some food additives in emulsion format in foods has become widespread. New extraction techniques that use water and carbon dioxide effectively or extraction techniques that do not require the use of any solvents can be used to extract bioactive compounds from plants for health purposes. Ultrasound-assisted extraction, supercritical fluid extraction, microwave-assisted extraction, subcritical water extraction and enzyme-assisted extraction techniques have now begun to be used successfully for this purpose on a laboratory and industrial scale. As a result, ethyl alcohol alternative solvents and extraction techniques are available to dissolve some additives and extract bioactive components from plants.

**Keywords:** Ethyl alcohol, solvents, bioactive compounds, extraction, extraction techniques

### **1. Giriş**

Ekstraksiyon, arzu edilen doğal ürünleri ham maddelerden ayırmanın ilk adımıdır. Ekstraksiyon yöntemleri, ekstraksiyon prensibine göre solvent ekstraksiyonu, damıtma yöntemi, presleme ve süblimasyonu içerir. Çözücü ekstraksiyonu en yaygın kullanılan yöntemdir. Doğal ürünlerin ekstraksiyonu şu aşamalardan geçerek ilerler: (1) solvent katı matrisin içine nüfuz eder; (2) çözünen madde çözücüler içinde çözünür; (3) çözünen katı matrisin dışına yayılır; (4) ekstrakte edilen çözünenler toplanır ve (5) çözgen ekstraktlardan uzaklaştırılır. Bu ekstraksiyon adımlarında yayılmayı ve çözünürlüğü artıran herhangi bir faktör, ekstraksiyonu kolaylaştıracaktır. Ekstraksiyon solventinin özellikleri, ham maddelerin parçacık boyutu, solvent-katı oranı, ekstraksiyon sıcaklığı ve ekstraksiyon süresi ekstraksiyon verimliliğini etkilemektedir (Li ve ark. 2008; Li ve ark. 2014; Yi ve ark. 2012; Zhou ve ark. 2012; Du ve ark. 2011). Çözücünün seçimi, çözücü ekstraksiyonu için oldukça önemlidir. Çözücü seçiminde seçicilik, çözünürlük, maliyet ve güvenlik dikkate alınmalıdır. Benzerlik ve karışabilirlik yasasına (benzer benzeri çözer) dayanarak, polarite değeri çözünen maddenin polaritesine yakın olan solventlerin daha iyi performans göstermesi muhtemeldir ve bunun tersi de geçerlidir. Etil alkol ve metilalkol gibi alkoller, fitokimyasal araştırmalar için solvent ekstraksiyonunda en çok tercih edilen çözücülerdir. Genel olarak parçacık boyutu ne kadar küçükse ekstraksiyon o kadar iyi sonuç verir. Ekstraksiyon verimliliği, solventlerin artan nüfuzu ve çözünen maddelerin difüzyonu nedeniyle küçük parçacık boyutuyla artırılmaktadır. Bununla birlikte, çok ince parçacık boyutu, çözünen maddenin katı içinde aşırı emilmesine ve daha sonraki filtrasyonun zorlaşmasına neden olmaktadır. Yüksek sıcaklıklar çözünürlüğü ve difüzyonu artırır. Ancak çok yüksek sıcaklıklar solventlerin kaybolmasına neden olabilir, bu da istenmeyen yabancı maddelerin ekstraktına ve ısıya dayanıklı bileşenlerin ayrışmasına yol açabilir. Belirli bir zaman aralığında ekstraksiyon süresinin artmasıyla ekstraksiyon verimliliği de artmaktadır. Katı maddenin içinde ve dışında çözünen maddenin dengesine ulaşıldıktan sonra zamanın artması ekstraksiyonu etkilememektedir. Çözücü-katı oranı ne kadar büyük olursa ekstraksiyon verimi de o kadar yüksek olur; ancak çok yüksek bir solvent-katı oranı aşırı ekstraksiyon

solventine neden olur ve konsantrasyon için uzun bir süre gerektirir. Maserasyon, süzme ve geri akış ekstraksiyonunu içeren geleneksel ekstraksiyon yöntemlerinde genellikle organik solventler kullanılır ve büyük miktarda solvent ve uzun ekstraksiyon süresi gerektirir. Süper kritik sıvı ekstraksiyonu, basınçlı sıvı ekstraksiyonu ve mikrodalga destekli ekstraksiyon gibi bazı modern veya daha yeşil ekstraksiyon yöntemleri de doğal ürünlerin ekstraksiyonunda uygulanmıştır ve daha düşük organik solvent tüketimi, daha kısa ekstraksiyon süresi ve daha yüksek seçicilik gibi bazı avantajlar sunmaktadırlar. Ancak süblimleştirme, ekspeller presleme ve enfeurage (esansiyel yağları yakalamak için kokusuz yağlar kullanarak çiçeklerden koku çıkarma işlemi) gibi bazı ekstraksiyon yöntemleri mevcut fitokimyasal araştırmalarda nadiren kullanılmaktadır. Doğal ürünler için kullanılan çeşitli ekstraksiyon yöntemlerinin kısa bir özeti Tablo 1'de gösterilmektedir (Zang ve ark. 2018).

## 2. Biyoaktif Bileşenlerin Ekstraksiyonu

Bitkiler, antioksidanlar, flavonoidler, polifenoller ve alkaloidler dahil olmak üzere insan sağlığı üzerine olumlu özelliklere sahip çeşitli biyoaktif bileşikler açısından zengin bir kaynaktır. Bu bileşiklerin bitki materyalinden verimli bir şekilde ekstrakte edilmesi, solventlerin ve ekstraksiyon yöntemlerinin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir. Sağlık üzerine çeşitli yararlı etkileri bulunan bu biyoaktif bileşiklerin bitkilerden ekstraksiyonu için yaygın olarak kullanılan çeşitli solventler ve ekstraksiyon yöntemleri bulunmaktadır.

### 2.1. Bitkilerde Bulunan Biyoaktif Bileşiklerin Ekstraksiyonunda Kullanılan Çözücüler

**Su:** Su, kaynatma, infüzyon ve maserasyon gibi ekstraksiyon yöntemlerinde yaygın olarak kullanılan çok yönlü bir çözücüdür. Özellikle fenolik bileşikler ve polisakkaritler gibi polar bileşikler için son derece uygun bir çözücü olup yaygın şekilde biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonunda kullanılmaktadır (Petigny ve ark. 2015; Akbulut & Akbulut, 2023).

**Tablo 1.** Bazı ekstraksiyon yöntemleri, özellikleri ve kullanılan çözücüler

| Yöntem                        | Çözücü                                                                                  | Sıcaklık                              | Basınç     | Zaman | Tüketilen Organik çözücü hacmi | Ekstrakte edilen doğal ürünlerin polaritesi |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------|-------|--------------------------------|---------------------------------------------|
| Maserasyon                    | Su, sulu ve susuz çözücüler                                                             | Oda sıcaklığı                         | Atmosferik | Uzun  | Çok                            | Ekstraksiyon çözücüsüne bağlı               |
| Perkolasyon                   | Su, sulu ve susuz çözücüler                                                             | Oda sıcaklığı, nadiren ısıtma altında | Atmosferik | Uzun  | Çok                            | Ekstraksiyon çözücüsüne bağlı               |
| Dekoksasyon                   | Su                                                                                      | Isı altında                           | Atmosferik | Orta  | Hiç                            | Polar bileşikler                            |
| Reflux ekstraksiyon           | Sulu ve susuz çözücüler                                                                 | Isı altında                           | Atmosferik | Orta  | Orta                           | Ekstraksiyon çözücüsüne bağlı               |
| Soxhlet ekstraksiyon          | Organik çözücüler                                                                       | Isı altında                           | Atmosferik | Uzun  | Orta                           | Ekstraksiyon çözücüsüne bağlı               |
| Basınçlı sıvı ekstraksiyonu   | Su, sulu ve susuz çözücüler                                                             | Isı altında                           | Yüksek     | Kısa  | Az                             | Ekstraksiyon çözücüsüne bağlı               |
| Süperkritik sıvı ekstraksiyon | Süperkritik akışkan (genellikle S-CO <sub>2</sub> ), bazen modifiye edicilerle birlikte | Oda sıcaklığına yakın                 | Yüksek     | Kısa  | Hiç ya da az                   | Polar olmayan ila orta polar bileşikler     |

|                                          |                             |                                                    |            |      |                |                                      |
|------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|------------|------|----------------|--------------------------------------|
| Ultrason destekli ekstraksiyon           | Su, sulu ve susuz çözücüler | Oda sıcaklığı veya ısı altında                     | Atmosferik | Kısa | Orta           | Ekstraksiyon çözücüsüne bağlı        |
| Mikrodalga destekli ekstraksiyon         | Su, sulu ve susuz çözücüler | Oda sıcaklığı                                      | Atmosferik | Kısa | Hiç ya da orta | Ekstraksiyon çözücüsüne bağlı        |
| Vurgulu elektrik alan ekstraksiyonu      | Su, sulu ve susuz çözücüler | Oda sıcaklığı veya ısı altında                     | Atmosferik | Kısa | Orta           | Ekstraksiyon çözücüsüne bağlı        |
| Enzim destekli ekstraksiyon              | Su, sulu ve susuz çözücüler | Oda sıcaklığı veya enzim uygulaması sonrası ısıtma | Atmosferik | Orta | Orta           | Ekstraksiyon çözücüsüne bağlı        |
| Hidro destilasyonu ve buhar destilasyonu | Su                          | Isı altında                                        | Atmosferik | Uzun | Hiç            | Esansiyel yağ (genellikle non-polar) |

**Etanol:** Etanol, fenolikler, flavonoidler ve alkaloitler de dahil olmak üzere geniş bir yelpazedeki biyoaktif bileşikleri özütleme yeteneği sayesinde yaygın olarak kullanılır. Aynı zamanda insan tüketimi için de toksik özelliği bulunmayan güvenli kabul edilebilir bir çözücüdür (Akbulut ve ark. 2024).

**Metanol:** Metanol, çoğu fitokimyasalları verimli bir şekilde çıkaran başka bir polar çözücüdür. Bitkilerdeki biyoaktif bileşenlerin ekstraksiyonunda da en çok kullanılan çözücüler arasında yer almaktadır (Lezoul ve ark. 2020). Ancak toksisitesi nedeniyle insan sağlığı açısından oldukça riskli olmasından ötürü gıda ve farmasötik uygulamalarda kullanımı gittikçe azalmaktadır (Joshi & Adhikari, 2019).

**Aseton:** Aseton, karotenoidler ve klorofiller gibi lipofilik bileşiklerin ekstraksiyonuna uygun, polar olmayan bir solventtir. Kapsamlı ekstraksiyon için sıklıkla diğer solventlerle birlikte kullanılır (Sezer ve ark. 2017).

**Hekzan:** Hekzan, lipitler ve uçucu yağlar gibi polar olmayan bileşiklerin ekstraksiyonu için ideal, polar olmayan bir solventtir. Ancak güvenlik endişeleri nedeniyle kullanımı sınırlıdır.

## 2.2. Bitki Biyoaktif Bileşiklerinin Ekstraksiyonunda Kullanılan Ekstraksiyon Teknikleri

**Maserasyon:** Maserasyon, bileşiğin ekstraksiyonunu kolaylaştırmak için bitki materyalinin uzun süre bir solvent içinde ıslatılmasını içerir. Küçük ölçekli ekstraksiyonlara uygun, basit ve uygun maliyetli bir yöntemdir (Ćujić ve ark. 2016).

**Soxhlet Ekstraksiyonu:** Soxhlet ekstraksiyonu, bileşikler verimli bir şekilde ekstrakte etmek için sürekli ekstraksiyon ve damıtma döngülerini kullanır. Termolabil bileşiklerin ekstraksiyonu için özellikle faydalıdır. Bu ekstraksiyon yönteminde orta düzeyde etanol, metanol, eter, kloroform, aseton ve su gibi çözücüler kullanılmaktadır. Bu yüzden çözücüye dayalı bir ekstraksiyon yöntemidir (López-Bascón & De Castro, 2020; Akbulut ve ark. 2024).

**Ultrason Destekli Ekstraksiyon:** Ultrason destekli ekstraksiyon (UDE), ultrason dalgalarını kullanarak katı veya sıvı numunelerden bileşiklerin ekstrakte edilmesi için kullanılan bir tekniktir. Hücre duvarlarını parçalamak veya moleküler yapıları bozmak için yüksek frekanslı ses dalgalarının (genellikle 20 kHz'in üzerinde) uygulanmasını içerir ve hedef bileşiklerin solvante salınmasını kolaylaştırır. UDE, geleneksel ekstraksiyon yöntemlerine kıyasla daha kısa ekstraksiyon süreleri, daha yüksek ekstraksiyon verimleri, azaltılmış solvent tüketimi ve daha düşük enerji gereksinimleri gibi avantajları nedeniyle ilaç, gıda işleme, çevresel analiz ve doğal ürün ekstraksiyonu dahil olmak

üzere çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Chemat ve ark., 2017; Oroian ve ark., 2020; Arslan ve ark. 2021).

UDE, bitkiler, meyveler, sebzeler, şifalı bitkiler, deniz organizmaları ve mikroorganizmalar gibi çeşitli kaynaklardan fenolik bileşikler, alkaloidler, flavonoidler, uçucu yağlar, vitaminler, antioksidanlar ve biyoaktif peptitler dahil olmak üzere çok çeşitli bileşiklerin ekstraksiyonu için başarıyla uygulanmıştır (Chemat ve ark. 2017).

Sonuç olarak, UDE, çözücü penetrasyonunu arttırmak ve hücre duvarlarını bozmak için ultrasonik dalgalar kullanır, böylece ekstraksiyon verimliliğini artırır. Hızlı ve çevre dostu bir yöntemdir. Çözücü kullanılarak uygulanan etkili bir ekstraksiyon yöntemidir. Soxhlet ekstraksiyonunda kullanılan çözücüler bu yöntemde de kullanılabilir. Ancak bu ekstraksiyon yönteminde daha az çözücü kullanılarak etkin bir ekstraksiyon yapılabilir.

**Süperkritik Akışkan Ekstraksiyonu:** Süperkritik akışkan ekstraksiyonu, ekstraksiyon solventi olarak süperkritik akışkanlar kullanılarak katı veya sıvı matrislerden bileşiklerin ekstraksiyonu için kullanılan bir tekniktir. Süperkritik akışkanlar, belirli sıcaklık ve basınç koşulları altında hem sıvıların hem de gazların özelliklerini sergiler, bu da gelişmiş çözme gücü ve kütle transfer özellikleriyle sonuçlanır. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), orta kritik sıcaklığı (31,1°C) ve basıncı (73,8 atm) ve düşük toksisitesi nedeniyle en yaygın kullanılan süperkritik akışkandır. Süperkritik akışkan ekstraksiyonunda, süperkritik akışkan, bir ekstraksiyon kabındaki numune materyalinin içinden geçirilir. Sıvı numuneyle etkileşime girdikçe hedef bileşikler çözülür. Ortaya çıkan karışımın basıncı düşürülür veya soğutulur, bu da süperkritik akışkanın gaz haline dönmesine neden olur ve geride ekstrakte edilmiş bileşikler kalır (King 2002; Reverchon & De Marco, 2006; McHugh & Krukoniş, 2013).

Bu teknik, aşağıda da belirtilen çeşitli avantajları nedeniyle ilaç, gıda, kozmetik ve çevre analizi gibi çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Reverchon & De Marco, 2006; Shi ve ark. 2007):

- Sıcaklığı ve basıncı ayarlayarak, süperkritik akışkanın solvent özelliklerini, belirli bileşikler seçici olarak ekstrakte edecek şekilde uyarlamak mümkündür.
- Süperkritik sıvı ekstraksiyondan sonra gaz halindeki duruma döndüğünde, ekstrakte edilen malzemede minimum kalıntı kalır veya hiç kalmaz.
- CO<sub>2</sub> toksik değildir, yanıcı değildir ve kolaylıkla temin edilebilir; bu da onu geleneksel organik solventlere kıyasla çevre dostu bir solvent seçimi haline getirir.
- Süperkritik akışkan ekstraksiyonu nispeten düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilir ve bu da ısıya duyarlı bileşiklerin termal bozunma riskini en aza indirir.

Sonuç olarak, yüksek basınç ve sıcaklık koşulları altında bileşikler çıkarmak için karbondioksit gibi süperkritik akışkanları kullanır. Yüksek seçicilik sunar ve metanol, etil alkol gibi organik solventlerin kullanımını önler.

**Mikrodalga Destekli Ekstraksiyon:** Mikrodalga destekli ekstraksiyon, solvent penetrasyonunu ve difüzyonunu artırarak ekstraksiyon sürecini hızlandırmak için mikrodalga enerjisinden yararlanır. Büyük ölçekli ekstraksiyonlara uygun, hızlı ve etkili bir yöntemdir. Mikrodalga destekli ekstraksiyon, ekstraksiyon işlemi kolaylaştırmak için mikrodalga radyasyonu kullanarak çeşitli örneklerden bileşiklerin ekstrakte edilmesi için kullanılan bir tekniktir. Daha az ekstraksiyon süresi, daha yüksek ekstraksiyon verimliliği ve daha düşük solvent tüketimi gibi geleneksel ekstraksiyon yöntemlerine göre avantajları nedeniyle popülerlik kazanmıştır. Mikrodalga destekli ekstraksiyonda numune kapalı bir kaptaki uygun bir solvent ile karıştırılır ve karışımı ısıtmak için mikrodalga enerjisi uygulanır. Mikrodalga radyasyonunun neden olduğu hızlı ısıtma, kap içindeki sıcaklığı ve basıncı artırarak hedef bileşiklerin numune matrisinden solvente salınmasını teşvik eder. Bu işlem tipik olarak geleneksel ekstraksiyon yöntemlerinden daha hızlıdır çünkü mikrodalga enerjisi numuneye verimli bir şekilde nüfuz eder ve onu hızla ısıtır. Mikrodalga destekli ekstraksiyonun verimliliğini etkileyen parametreler arasında mikrodalga gücü, ekstraksiyon süresi, sıcaklık, solvent türü ve numune-çözücü oranı yer alır. Bu parametrelerin optimizasyonu, ısıya duyarlı bileşiklerin bozulmasını en aza indirirken maksimum ekstraksiyon verimliliği elde etmek için gereklidir (Chemat ve ark. 2012).

Mikrodalga destekli ekstraksiyon, gıda, ilaç, çevre analizi, doğal ürün ekstraksiyonu ve biyoyakıt üretimi dahil olmak üzere çeşitli alanlarda uygulanmıştır. Antioksidanlar, aromalar, kokular, uçucu yağlar, farmasötikler, pestisitler ve çevresel kirleticiler dahil olmak üzere çok çeşitli bileşiklerin ekstraksiyonunda kullanılmıştır (Filly ve ark. 2014; da Rosa ve ark. 2019).

Çeşitli çalışmalar mikrodalga destekli ekstraksiyonun geleneksel ekstraksiyon teknikleriyle karşılaştırıldığında etkinliğini göstermiştir. Örneğin Filly ve ark. (2014), aromatik bitkilerden uçucu yağların ekstraksiyonu için mikrodalga destekli ekstraksiyonu geleneksel katı-sıvı ekstraksiyonla karşılaştırmış ve mikrodalga destekli ekstraksiyonun daha kısa ekstraksiyon süresinde daha yüksek verimle sonuçlandığını bulmuştur. Benzer şekilde da Rosa ve ark. (2019), mikrodalga destekli ekstraksiyon kullanarak zeytin yapraklarından biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonunu araştırmış ve geleneksel ekstraksiyon yöntemlerine kıyasla daha yüksek ekstraksiyon verimliliği bildirmiştir.

Avantajlarına rağmen mikrodalga destekli ekstraksiyonun ayrıca numunenin aşırı ısınma potansiyeli, sınırlı ölçeklenebilirlik ve özel ekipman ihtiyacı gibi bazı sınırlamaları ve zorlukları da vardır. Ek olarak, her numune türü için gerekli olan özel koşullar farklılık gösterebilir ve bu durum, her uygulama için optimizasyon gerektirebilir (Filly ve ark. 2014; da Rosa ve ark. 2019).

Sonuç olarak, mikrodalga destekli ekstraksiyon, çeşitli örneklerden bileşiklerin ekstraksiyonu için umut verici bir tekniktir ve daha düşük ekstraksiyon süresi, daha yüksek ekstraksiyon verimliliği ve daha düşük solvent tüketimi gibi avantajlar sunar.

**Subkritik Su Ekstraksiyonu:** Subkritik (kritik altı) su, yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlı suyu ifade eder. Subkritik su, suyun benzersiz ve kullanışlı bir özelliği, sıcaklığın artmasıyla polaritesinin önemli ölçüde azalabilmesidir. Bu nedenle kritik altı su, metanol veya etanole benzer davranabilir. Bu, kritik altı suyu çeşitli organik türler için kullanılan yeşil bir ekstraksiyon sıvısı haline getirir. Çıkarılan malzemeler arasında tıbbi ve aromatik bitkiler, sebzeler, meyveler, gıda yan ürünleri, algler, çalılar, çay yaprakları, tahıllar ve tohumlar bulunur. Alkaloidler, karbonhidratlar, uçucu yağlar, flavonoidler, glikozitler, lignanlar, organik asitler, polifenolikler, kinonlar, steroidler ve terpenler gibi çok çeşitli doğal ürünler kritik altı su kullanılarak ekstrakte edilmektedir. Sıcaklığın subkritik su ekstraksiyonu verimliliği üzerinde en önemli etkiye sahip olduğu ve bu nedenle optimize edilebileceği çok açıktır. Yukarıda belirtilen doğal ürünlerin ekstraksiyonu için optimum sıcaklık 130 ila 240 °C arasındadır. Doğal ürünlerin subkritik su ekstraksiyonunun en büyük avantajı suyun toksik olmaması ve bu nedenle şifalı bitki, sebze ve meyvelerin ekstraksiyonu için daha uygun olmasıdır. Diğer bir avantaj ise subkritik su ekstraksiyonu sonrasında herhangi bir sıvı atık bertarafına gerek kalmamasıdır. Organik solventlerle karşılaştırıldığında, kritik altı su yalnızca ekoloji, ekonomi ve güvenlik açısından avantajlara sahip olmakla kalmaz, aynı zamanda yoğunluğu, iyon ürünü ve dielektrik sabiti sıcaklıkla ayarlanabilir. Bu ayarlanabilir özellikler, kritik altı suyun, daha düşük sıcaklıklarda polar bileşiklerin ve daha yüksek sıcaklıklarda daha az polar bileşenlerin çıkarılması gibi sınıf seçici ekstraksiyonlar gerçekleştirmesine olanak tanır. Subkritik su ekstraksiyonu, bitkisel ilaç hazırlamak için geleneksel bitkisel kaynatmayı taklit edebilir ve daha yüksek ekstraksiyon verimliliğine sahip olabilir. Subkritik su ekstraksiyonu yüksek sıcaklık ve yüksek basınç kullandığından, güvenli çalışma için çok dikkatli olunması gerekir. Subkritik su ekstraksiyonunun uygulanmasındaki diğer bir zorluk, yüksek sıcaklık koşulları altında potansiyel organik bozunmadır (Cheng ve ark. 2021).

**Enzim Destekli Ekstraksiyon:** Enzim destekli ekstraksiyon, biyoaktif bileşiklerin bitki materyallerinden veya diğer biyolojik kaynaklardan ekstraksiyonunu kolaylaştırmak için enzimlerin kullanılmasını içerir. Enzimler hücre duvarlarının ve diğer yapısal bileşenlerin parçalanmasına yardımcı olur, böylece istenen bileşiklerin salınımı artar. Enzim destekli ekstraksiyon, gıda, ilaç, kozmetik ve biyoyakıt gibi çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Enzimler biyolojik katalizör görevi görerek karmaşık moleküllerin daha basit formlara parçalanmasını hızlandırır. Ekstraksiyon işlemlerinde enzimler, bitki hücre duvarlarındaki spesifik bağları hedef alarak hedef bileşiklerin salınmasını kolaylaştırır. Enzim destekli ekstraksiyonun çeşitli avantajları bulunmaktadır. Bunlar; (1) Enzimler biyoaktif bileşiklerin salınımını artırarak daha yüksek ekstraksiyon verimi sağlar. (2) Enzimler

substrat özelliklerine göre seçilebilir ve böylece belirli bileşiklerin hedeflenen ekstraksiyonu sağlanır. (3) Enzimatik reaksiyonlar tipik olarak hafif koşullar altında (örn. orta sıcaklık ve pH) meydana gelir ve hassas bileşiklerin kalitesi korunur. (4) Enzimler biyolojik olarak parçalanabilir ve geleneksel kimyasal solventlere kıyasla çevre dostudur (Zuorro ve ark. 2019; Sivagnanam ve ark. 2024).

Enzim destekli ekstraksiyonda yaygın olarak kullanılan enzimler arasında, hedef malzemenin bileşimine bağlı olarak selülozlar, hemiselülozlar, pektinazlar, proteazlar, lipazlar ve karbohidrazlar bulunur. Bu ekstraksiyon yöntemi meyvelerden, sebzelerden, bitkilerden ve baharatlardan aromaların, renklerin, antioksidanların ve fonksiyonel bileşenlerin ekstraksiyonu amacıyla gıda endüstrisinde, ilaç geliştirme amacıyla tıbbi bitkilerden biyoaktif bileşiklerin izolasyonunu sağlamak amacıyla ilaç endüstrisinde, cilt bakımı, saç bakımı ve kişisel bakım ürünleri için doğal bileşenlerin çıkarılması amacıyla kozmetik alanında ve biyoyakıt üretim alanında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Enzim destekli ekstraksiyonun yukarıda sayılan avantajlarının yanında maliyetli olması, belirli koşullar altında aktivitelerini kaybetmeleri gibi bazı dezavantajları da söz konusudur (Sanjeewa ve ark. 2023; Zuorro ve ark. 2019; Sivagnanam ve ark. 2024).

### 3. Sonuç

Biyoaktif bileşiklerin bitkilerden verimli bir şekilde ekstraksiyonu, hedef bileşiklere ve istenen uygulamalara dayalı olarak solventlerin ve ekstraksiyon yöntemlerinin dikkatli bir şekilde seçilmesini gerektirir. Bitkilerdeki biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonunda su, etanol, metanol, aseton, kloroform, eter vb çözücüler kullanıldığı bilinmektedir. Bu çözücülerin bazıları toksik özellikte olmasından dolayı ekstraksiyonda etkili olmalarına rağmen kullanımı gittikçe azalmaktadır. Etil alkol gibi polar ve organik çözücüler sağlık üzerine olumsuz özellikleri olmamakla birlikte sarhoşluk veren etkisi bulunduğu ve ekstraksiyonda kalıntı kalma durumu söz konusu olduğu için İslam inancına göre alımının yasaklanmış olmasından dolayı buna alternatif toksik olmayan ve etkin olan çözücü arayışına girilmiştir. Aroma ve gıda katkı maddelerinin çözüldürülmesinde etil alkole alternatif olarak propilen glikol gibi solventlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Ayrıca yine gıdalarda aroma ve bazı gıda katkı maddeleri etil alkol solventi çözücü olarak kullanılmadan emülsiyon formatına getirilerek kullanılmaktadır. Tüm bunların yanı sıra bitki etken maddelerinin ekstraksiyonunda çözücü olarak suyun etkin şekilde kullanıldığı subkritik su ekstraksiyonu, ultrases ve mikrodalga destekli su ekstraksiyonu, enzim destekli su ekstraksiyonu veya süperkritik akışkan ekstraksiyonu (CO<sub>2</sub>) günümüzde hem araştırma amaçlı hem de endüstriyel amaçlı kullanılmaya başlanmış ve devam etmektedir. Ekstraksiyon tekniklerindeki bu gelişmelerden ve çözücü olarak etil alkol alternatifi maddelerin bulunmasından dolayı etil alkol kullanılmadan da belirli amaçların sağlanabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

### Kaynakça

- Akbulut, H. F., & Akbulut, M. (2023). Mineral composition, the profile of phenolic compounds, organic acids, sugar and in vitro antioxidant capacity, and antimicrobial activity of organic extracts of *Juniperus drupacea* fruits. *Food Science & Nutrition*, 11(10), 6435-6446. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3586>
- Akbulut, H. F., Almaghrebi, E., Obali, I., Vatansev, H., Vatansev, H., & Akbulut, M. (2024). Evaluation the organic acid, tocopherol and phenolic profiles of *Dracaena cinnabari* resin extracts obtained by different solvent extraction. *Latin American Applied Research* 54(2), 195-200. <https://doi.org/10.52292/j.laar.2024.2865>
- Arslan, D., Aydın, M., & Türker, S. (2021). Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Ekstraksiyon Yöntemleri, Gıdalarda Kullanımı ve Takviye Edici Gıda Alanında Değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(5), 926-936. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v9i5.926-936.4399>
- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540-560. doi: 10.1016/j.ultsonch.2016.06.035
- Cheng, Y., Xue, F., Yu, S., Du, S., & Yang, Y. (2021). Subcritical water extraction of natural products. *Molecules*, 26(13), 4004. <https://doi.org/10.3390/molecules26134004>
- Ćujić, N., Šavikin, K., Janković, T., Pljevljakušić, D., Zdunić, G., & Ibrić, S. (2016). Optimization of polyphenols extraction from dried chokeberry using maceration as traditional technique. *Food Chemistry*, 194, 135-142. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.008>

- da Rosa, G. S., Vanga, S. K., Garipey, Y., & Raghavan, V. (2019). Comparison of microwave, ultrasonic and conventional techniques for extraction of bioactive compounds from olive leaves (*Olea europaea* L.). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 58, 102234. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102234>
- Du G, Zhao HY, Song YL, Zhang QW, Wang YT. (2011). Rapid simultaneous determination of isoflavones in *Radix puerariae* using high-performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometry with novel shell-type column. *J Sep Sci*. 34(19), 2576–2585. <https://doi.org/10.1002/jssc.201100295>
- Filly, A., Fernandez, X., Minuti, M., Visinoni, F., Cravotto, G., & Chemat, F. (2014). Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: From laboratory to pilot and industrial scale. *Food chemistry*, 150, 193-198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.139>
- Joshi, D. R., & Adhikari, N. (2019). An overview on common organic solvents and their toxicity. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 28(3), 1-18. <https://doi.org/10.9734/jpri/2019/v28i330203>
- King, J. W. (2002). Supercritical fluid extraction: present status and prospects. *Grasas y Aceites*, 53(1), 8-21. <https://doi.org/10.3989/gya.2002.v53.i1.286>
- Lezoul, N. E. H., Belkadi, M., Habibi, F., & Guillén, F. (2020). Extraction processes with several solvents on total bioactive compounds in different organs of three medicinal plants. *Molecules*, 25(20), 4672. <https://doi.org/10.3390/molecules25204672>
- Li P, Xu G, Li SP, Wang YT, Fan TP, Zhao QS, Zhang QW. (2008). Optimizing ultra performance liquid chromatographic analysis of 10 diterpenoid compounds in *Salvia miltiorrhiza* using central composite design. *J Agric Food Chem*. 56(4),1164–1171. <https://doi.org/10.1021/jf073020u>
- Li P, Yin ZQ, Li SL, Huang XJ, Ye WC, Zhang QW. (2014). Simultaneous determination of eight flavonoids and pogostone in *Pogostemon cablin* by high performance liquid chromatography. *J Liq Chromatogr Relat Technol*. 37(12), 1771–1784. <https://doi.org/10.1080/10826076.2013.809545>
- López-Bascón, M. A., & De Castro, M. L. (2020). Soxhlet extraction. In *Liquid-phase extraction* (pp. 327-354). Elsevier.
- McHugh, M., & Krukonis, V. (2013). *Supercritical fluid extraction: principles and practice*. Elsevier.
- Oroian M, Dranca F, Ursachi F. 2020. Comparative evaluation of maceration, microwave and ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds from propolis. *Journal of Food Science and Technology*, 57(1): 70-78. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04031-x>
- Petigny, L., Özel, M. Z., Périno, S., Wajsman, J., & Chemat, F. (2015). Water as green solvent for extraction of natural products. *Green extraction of natural products: Theory and practice*, Wiley Online Library, pp 237-264. <https://doi.org/10.1002/9783527676828.ch7>
- Reverchon, E., & De Marco, I. (2006). Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter. *The Journal of Supercritical Fluids*, 38(2), 146-166. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2006.03.020>
- Sanjeewa, K. A., Herath, K. H. I. N. M., Kim, Y. S., Jeon, Y. J., & Kim, S. K. (2023). Enzyme-assisted extraction of bioactive compounds from seaweeds and microalgae. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 117266. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117266>
- Sezer, Y. Ç., Süfer, Ö., & Sezer, G. (2017). Extraction of phenolic compounds from oven and microwave dried mushrooms (*Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus*) by using methanol, ethanol and acetone as solvents. *Indian J. Pharm. Educ. Res*, 51(3), S393-S397. [doi: 10.5530/ijper.51.3s.55](https://doi.org/10.5530/ijper.51.3s.55)
- Shi, J., Kassama, L. S., & Kakuda, Y. (2007). Supercritical fluid technology for extraction of bioactive components. In *Functional food ingredients and nutraceuticals processing technologies*. CRP Press.
- Sivagnanam, S. P., Alaydi, H., Cabral, E. M., Poojary, M. M., Karuppusamy, S., & Tiwari, B. K. (2024). Ultrasound, microwave and enzyme-assisted multiproduct biorefinery of *Ascophyllum nodosum*. *Food Chemistry*, 433, 137259. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137259>
- Yi Y, Zhang QW, Li SL, Wang Y, Ye WC, Zhao J, Wang YT. (2012). Simultaneous quantification of major flavonoids in “Bawanghua”, the edible flower of *Hylocereus undatus* using pressurised liquid extraction and high performance liquid chromatography. *Food Chem*. 135(2), 528–533. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.010>
- Zhang, QW., Lin, LG., Ye, WC. (2018). Techniques for extraction and isolation of natural products: A comprehensive review. *Chinese medicine*, 13, 1-26. <https://doi.org/10.1186/s13020-018-0177-x>
- Zhou YQ, Zhang QW, Li SL, Yin ZQ, Zhang XQ, Ye WC. (2012). Quality evaluation of semen oroxyli through simultaneous quantification of 13 components by high performance liquid chromatography. *Curr Pharm Anal*. 8(2), 206–213.
- Zuorro, A., Lavecchia, R., González-Delgado, Á. D., García-Martínez, J. B., & L'Abbate, P. (2019). Optimization of enzyme-assisted extraction of flavonoids from corn husks. *Processes*, 7(11), 804. <https://doi.org/10.3390/pr7110804>