GIDA
THE JOURNAL OF FOOD
E-ISSN 1309-6273, ISSN 1300-3070

Derleme/*Review*
GIDA (2026) 51 (3) 596-614
doi:10.15237/gida.GD26013

VAKUMLU EMDİRİM TEKNİĞİ VE ET ÜRÜNLERİNDE KULLANIMI

Hatice Nur ERKOÇ[1], Elif AYKIN DİNÇER[1], Cüneyt DİNÇER[2,3]*

[1]Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye
[2]Akdeniz Üniversitesi Finike Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Antalya, Türkiye
[3]Akdeniz Üniversitesi, Gıda Güvenliği ve Tarımsal Araştırmalar Merkezi, Antalya, Türkiye

Received / Geliş: 07.01.2026; *Accepted* / Kabul: 07.05.2026; *Published online* /Online baskı: 31.05.2026

ÖZ

Vakumlu emdirim (VE) son dönemde gıda teknolojisinde adından söz ettiren bir marinasyon yöntemidir. Basınç farklılıklarına dayanan bu teknik, çözelti içerisine daldırılan gıdanın gözeneklerinden istenilen bileşiklerin geçmesi olayıdır. Ürün kalitesini iyileştirebilmekte, ön işlem olarak uygulanabilmekte ve gıdalara yeni özellikler kazandırabilmektedir. Isıl işlem olmaması ve gıda bütünlüğünü koruması sağladığı avantajlar arasında yer almaktadır. Farklı tekniklerle (ultrases, ohmik ısıtma, yüksek basınçlı işleme mikroperforasyon, darbeli elektrik alan, elektron ışınlama) kombine uygulanıp verim artırılabilmektedir. Meyve ve sebzeler için oldukça yaygın olan VE, et ürünlerinde daha çok tuzlama amacıyla kullanılmıştır. Emdirim çözeltisi olarak salamura dışında soğan suyu, çeşitli asitler, fenolik maddeler, vitaminler ve enzimler bakımından zengin çözeltiler başarıyla uygulanmıştır. Bu derleme çalışması vakumlu emdirim teknolojisinin mekanizmasını, uygulama alanlarını, et ve et ürünlerinin fonksiyonelliğini geliştirmedeki potansiyelini ayrıntılı bir şekilde inceleyip özetlemeyi hedeflemektedir.

Anahtar kelimeler: Biyoaktif zenginleştirme, kombine işleme teknolojileri, et marinasyonu, vakumlu emdirim

VACUUM IMPREGNATION TECHNIQUE AND ITS USE IN MEAT PRODUCTS

ABSTRACT

Vacuum Impregnation (VI) has emerged as a prominent marination technique in recent food technology applications. This pressure-differential-based method facilitates the infusion of desired compounds into the porous structure of food matrices submerged in a solution. VI significantly improves product quality, serves as an effective pre-treatment, and imparts novel functionalities to food products. Its primary advantages include being a non-thermal process and preserving the structural integrity of the matrix. Furthermore, its efficiency can be synergistically enhanced when combined with emerging technologies such as ultrasound, ohmic heating, high-pressure processing, microperforation, pulsed electric fields, and electron beam irradiation. While VI is extensively utilized in fruit and vegetable processing, its application in meat products has traditionally focused on salting. However, beyond conventional brines, solutions enriched with onion juice, organic acids, phenolic compounds, vitamins, and enzymes have been successfully implemented. This comprehensive review aims to provide a detailed analysis and summary of the mechanism of VI technology, its application areas, and its potential for enhancing the functionality of meat and meat products.

Key words: Bioactive enrichment, combined processing technologies, meat marination, vacuum impregnation

Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author: Cüneyt DİNÇER
ORCID No: 0000-0002-9160-4242 **E-posta:** cdincer@akdeniz.edu.tr

Gıda Dergisi Creative Commons Atıf-Gayri Ticari 4.0 (CC BY-NC 4.0) Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.
The Journal of FOOD is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0).

GİRİŞ

Gıda ürünlerini zenginleştirmek ve sağlıklı ürün elde etmek için pek çok teknoloji geliştirilmiş olup vakumlu emdirim (VE) geliştirilen tekniklerden biridir (Günel, 2022). VE sistemleri kapiler yapılara sahip gıdalarda zenginleştirme, ozmotik dehidrasyon (OD), esmerleşme önleme, pH düşürme, yumuşatma gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Emdirilmek istenen solüsyon, içerisine daldırılan gıdaya vakum ile atmosfer basıncı değişimi sayesinde nüfuz eder ve bu durumda gıdanın yapısı korunarak istenilen özelliklere sahip ürünler elde edilir. Herhangi bir ısıl işlem uygulamasının olmamasına rağmen kuru madde içeriğinin artırılabilmesi bir ön işlem olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Kurutma öncesinde uygulandığında ise, kurutma süresini kısaltabilmektedir. Yaygın olarak meyve ve sebzelerde amino asitler, vitaminler, mineraller, antimikrobiyal maddeler, fenolikler, enzimler, esmerleşme inhibitörleri, probiyotikler, aromalar, pH düşürücü maddeler ve organik asitler gibi bileşenlerle zenginleştirme amacıyla kullanılan VE, et ürünlerinde genellikle tuzlama amacıyla kullanılmış ve son dönemde fenolikler, antioksidan ve antimikrobiyal maddeler ile antosiyanin ve karotenoidler gibi renk maddeleri ile zenginleştirme çalışmalarında da kullanılmaya başlanmıştır (Alolga vd., 2021; Demir vd., 2022; Aykın-Dinçer ve Dinçer, 2023; Durán-Castañeda vd., 2024; Saleena vd., 2024; Dinçer vd., 2024).

Et, yapısında bulunan bağ doku, miyofibriller ve sarkoplazmik proteinler ve bunların dağılımına bağlı olarak farklı tekstürel yapı sergilemektedir. Et ürünlerinin tüketiminde lezzet ve yumuşaklık/gevreklik önemli faktörlerdir. Et ürünlerinin lezzetinin geliştirilmesi, yumuşatılması ve bu ürünlere katma değer kazandırmak amacıyla genellikle marinasyon işlemi uygulanmaktadır. Et ürünlerinde marinasyon için yaygın olarak kullanılan yöntemler masaj, tamburlama, enjeksiyon ve statik daldırmadır. Ancak masaj, tamburlama ve enjeksiyon gibi marinasyon yöntemlerinde gıdaya uygulanan darbeler, sürtünme ve mekanik hasar nedeniyle et dokusunun bütünlüğü zarar görmektedir. Ayrıca enjeksiyon yönteminde marinatın belirli bölgelerde sınırlı kalması, et dokusunda heterojen bir dağılıma neden olmakla birlikte enjektör delikleri nihai üründe tekstürel düzensizliklere yol açmaktadır. Geleneksel bir yöntem olan daldırma işleminde ise, fonksiyonel bileşiklerin ete geçişi için uzun işlem süresi gereklidir. Yeni bir marinasyon yöntemi olan VE tekniği ile bu dezavantajlar nispeten ortadan kaldırılabilmektedir (Demir vd., 2021; Dinçer vd., 2024: Grau vd., 2022). Bu çalışmadaki amaç; VE tekniğini, mekanizmasını ve gıdaların biyoaktif bileşiklerce zenginleştirilmesinde tekniğin kullanımı hakkında edinilmiş bilgileri derlemektir.

VAKUMLU EMDİRİM TEKNİĞİ VE UYGULAMALARI

Vakumlu Emdirim Tekniği

Amerikan Vakum Derneği (American Vacuum Society) bir sistemin içindeki gazın basıncının atmosfer basıncından daha düşük olmasını vakum olarak tanımlamıştır. Vakum aracılığı ile emdirim tekniği ilk olarak Fito (1994) tarafından ortaya atılmıştır. Tekniğin ortaya çıkma amacı, ozmotik dehidrasyon (OD) sürecindeki kütle aktarım hızını artırmaktır. OD, hipertonik bir çözeltiye gıdanın daldırılmasıyla aralarında kütle transferi gerçekleşmesi sonucu gıdanın kuru madde miktarının artırılması veya gıdadaki suyun uzaklaştırılması işlemi olarak özetlenebilir (Akyüzlü, 2024). Kısaca VE, OD işlemini hızlandırma amacıyla başlayıp zenginleştirme işlemi ile uygulama alanı genişleyen bir tekniktir (Akyüzlü, 2024).

Tekniğin etkinliği, işlem sırasında veya sonrasında uygulanan farklı yöntemlerle artırılabilmektedir. Ultrasonik ses dalgaları, ohmik ısıtma, darbeli elektrik alan ve yüksek basınçlı işleme teknolojisi bu yöntemlerden bazılarıdır. Farklı tekniklerle kombinasyon imkânı ve çeşitli gıdalarda geniş uygulama alanına sahip olması VE yönteminin umut vadeden bir teknoloji olduğunu ortaya koymaktadır (Medeiros vd., 2022; Saleena vd., 2024; Vinod vd., 2024).

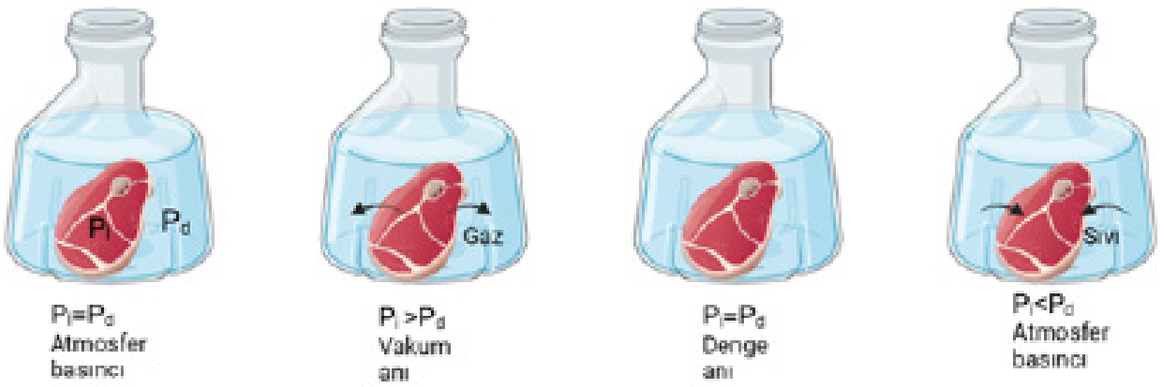
VE, gözenekli yapıya sahip gıdalardaki gazların vakum uygulamasıyla uzaklaştırılması ve bu boşlukların emdirim çözeltisi ile doldurulması sürecidir. Literatürde, uygulanan vakum basıncının genellikle 5 ila 86.66 kPa aralığında olduğu bildirilmektedir (Derossi vd., 2012). Vakum basıncı, ürünün nihai özelliklerini doğrudan etkileyerek farklı sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Yapılan çalışmalarda, vakum şiddetinin artmasıyla genel olarak verimin arttığı bildirilse de işlem süresi ve ürünün özelliklerine bağlı olarak olumsuz etkilerde gözlenebilmektedir. Vakum basıncının yüksek olması gıdada doku bütünlüğünün bozulmasına, bileşen kaybına, mikroyapısal değişikliklere ve pigment degradasyonunu hızlandırarak renk değişimlerine yol açabilmektedir. Dokuda gerçekleşen minimal parçalanmalar hücrelerden daha fazla su sızmasına dolayısıyla pişirme esnasında daha yüksek bileşen kayıplarına neden olabilmektedir. Bu kapsamda vakum parametrelerinin gıda matrisine özgü şekilde optimize edilmesi önem taşımaktadır (Aykın-Dinçer, 2021; Liu vd., 2022; Vinod vd., 2024; Wahid vd., 2024).

Vakumlu emdirim (VE) prosesi, sunduğu operasyonel avantajların yanı sıra bazı teknik ve ekonomik kısıtlamaları da

beraberinde getirmektedir. Süreç için elzem olan yüksek vakum pompaları ve hassas barometreler gibi donanım gereksinimleri, başlangıç yatırım ve işletme maliyetlerini artırabilmektedir. Özellikle gıda matrisinin özelliklerine bağlı olarak basınç artırılması veya proses ölçeğinin büyütülmesi (scale-up), maliyeti arttırabilmektedir. Gerekli vakum derecesinin artması veya VE işleminin diğer tekniklerle kombine edilmesi, birim ürün başına düşen enerji tüketimini doğrudan etkileyen bir diğer dezavantajdır. Ayrıca, işlem sonrası açığa çıkan atık çözeltilerinin bertarafı ve yönetimi de problem teşkil edebilmektedir. Özellikle meyve-sebze ekstraktları gibi biyoaktif bileşenlerce zengin çözeltilerin geri dönüştürülememesi, hem ekonomik bir kayba yol açabilir hem de yüksek organik yükü nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik açısından risk oluşturabilmektedir (de Medeiros vd., 2016; Gautam vd., 2024; Saleena vd., 2024).

Vakumlu Emdirim Tekniğinin Mekanizması

Vakumun tek bir döngü veya belirli döngüler halinde uygulanması ile gıdaya çözelti emdirimi gerçekleştirilebilmektedir. VE iki aşamada gerçekleşir, bu aşamalarda hidrodinamik mekanizma (HDM) ve deformasyon-gevşeme (DRP) mekanizmaları devreye girmektedir. En başta gıda gözeneklerinin içindeki ve dışındaki basınç atmosfer basıncıyla dengededir. Vakum etkisiyle azalan ortam basıncı, gıdanın içerisinde bulunan gaz ve sıvı fazların dış ortama geçişine olanak tanır. Gazlar çıkarken gıdada deformasyona ve gevşemeye neden olmaktadır ve bu duruma DRP mekanizması denmektedir. DRP aşaması gıdanın iç ve dış basıncı eşitlenene kadar devam etmekte, gıdanın içine çözelti nufüs etmeye başlamaktadır. Çözelti gıdaya geçtikçe, gıda gözenekleri arasındaki basınç artmaktadır. Atmosfer basıncının tekrar uygulanmasıyla birlikte doku yapısında gevşeme gerçekleşirken, eş zamanlı olarak dış fazdaki çözelti atmosfer basıncının etkisiyle boşluklara dolmaya başlar ve bu durum literatürde HDM olarak tanımlanmaktadır. İçerisinden gaz ve sıvı çıkmış olan gözeneklerin hipertonik çözeltiyle dolmasıyla gıdanın iç basıncı artmaktadır (Şekil 1). Bu koşullarda, vakumun aniden kesilmesi teknik açıdan olumsuzluklara yol açabilmektedir (Mierzwa vd., 2022b; Vinod vd., 2024; Wahid vd., 2024).



Şekil 1. Vakumlu emdirim aşamaları

Vakumlu Emdirim İşlemine Etki Eden Faktörler

VE tekniğinde etkili faktörler iç ve dış olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. İç faktörler gıdanın özelliklerini kapsamakta, dış faktörler ise çözelti ve sistemsel özelliklerden oluşmaktadır. Her bir faktör son ürün ve verim için önemli etkilere sahiptir (Girgin ve Ertekin-Filiz, 2022; Sharefiabadi ve Serdaroğlu, 2023). İç ve dış faktörler Çizelge 1'de verilmiş olup, en çok üzerinde durulan faktörler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır:

Çizelge 1. VE'ye etki eden faktörler

İç Faktörler	Dış Faktörler
Gıdanın çeşidi, türü	Vakum basıncı
Gıdanın kalınlığı	Vakum süresi
Gözenek sıklığı	Dinlenme (restorasyon) süresi
Gözenek şekli, boyutu	Emdirim çözeltisinin konsantrasyonu
Gıdanın yüzey alanı	Emdirim çözeltisindeki çözgenin özellikleri
Gözenekteki gaz çeşidi	Emdirim çözeltisinin viskozitesi
	Sıcaklık
	Karıştırma
	Çözelti ve gıdanın oranı

Yöntemin etkinliğinde önemli oranda etkili olan parametrelerden biri sıcaklıktır. Kullanılan gıda ve emdirim çözeltisinin içerdiği bileşenlerin sıcaklığa duyarlılığı, optimum çalışma sıcaklığını belirlemede büyük önem taşımaktadır. Vakumlu emdirim sürecinde sıcaklık, kütle transfer verimliliği, ürün kalitesi ve mikrobiyal stabilite üzerinde kritik etkiye sahiptir. Et ürünlerinde, uzun dinlenme süreleri boyunca mikrobiyal stabilitenin korunması amacıyla düşük sıcaklıklar (<5°C) tercih edilmektedir. Sıcaklık artışı çözelti viskozitesini düşürüp dokunun viskoelastik özelliklerini değiştirerek difüzyon hızını artırmaktadır. Bu doğrultuda, özellikle ısıya duyarlı bileşenlerin korunması ve kütle transferinin optimize edilmesi arasında bir denge kuran 20-40°C aralığındaki ılıman sıcaklıklar hem çözünürlüğü artırmakta hem de sıvı akışkanlığını iyileştirerek toplam işlem verimliliğini arttırmaktadır (Aykın-Dinçer vd., 2024; Panayampadan, 2022; Saleena vd., 2024). Mezgit balığı filetolarına farklı sıcaklıklarda VE uygulanan bir araştırmada sıcaklık parametresinin etkileri incelenmiştir. Çalışmada küp (1.5 cm^3) şeklinde kesilen filetolar VE ve ultrases destekli VE olmak üzere iki grupta salamura çözeltisine (%4 w/w) daldırılmıştır. Her iki grup için 5, 15 ve 25°C sıcaklıklarında 3 saat (10 dk vakum, 10 dk bekleme/restorasyon) VE uygulanmıştır. Sıcaklık 5°C'den 25°C'ye yükseldikçe, örneklerin tuz içeriğinin arttığı belirlenmiştir. Çalışmada sıcaklık artışının salamuranın viskozitesini azaltmış ve kas dokusunun geçirgenliğini arttırarak tuz içeriğini arttırmış olabileceği belirtilmiştir (Aykın-Dinçer vd., 2024).

VE tekniğinin temeli basınç farklılığına dayandığından, basınç oldukça etkili bir faktördür. Yüksek basınç farklılığı daha iyi emdirim sağlayabilmektedir (Schulze vd., 2012). Gao vd. (2021) yaptıkları çalışmada, 25 g ağırlığında elma parçalarına %0.05'lik kırmızı pigment solüsyonunu emdirmişlerdir. VE'ye ek olarak farklı yüksek basınç uygulamaları yapmışlardır. Kontrol grubu olarak elma parçalarına 1 kPa basınçta 25°C sıcaklıkta 1 dk vakum uygulanmıştır. Yüksek hidrostatik basınç uygulamaları ise 100, 200, 400 ve 600 MPa basınç ve 25°C'de gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 100 MPa basınç uygulamasının genel olarak emdirim verimliliğini artırdığı bununla birlikte basınç değerlerinin artışı ile hücresel hasarlar meydana geldiği belirtilmiştir. Bu kapsamda 30 dk VE ve 100 MPa basınç kombinasyonu en etkili uygulama olarak önerilmiştir. Öte yandan, tek başına VE'in pigment geçişini sağlayabildiği ve tekstürel özelliklerinde değişime neden olduğu gözlemlenmiştir. Elma ile yapılan bir başka çalışmada ise, hibiskus ekstraktının emdirilmesi farklı vakum basıncı (20 ila 60 kPa), emdirim süresi (2-10 dk) ve restorasyon süresi (1-3 dk) faktörleri dikkate alınarak optimize edilmiştir (Anaya-Esparza vd., 2024). Vakum basıncındaki artış elmalardaki toplam fenol oranına doğrudan etki etmiş ve optimum parametreler 40 kPa vakum basıncı, 6.73 dk emdirim süresi ve 3 dk restorasyon süresi olarak bulunmuştur. Guz vd. (2020) ise, silindir (h:20 mm, d:17 mm) şeklinde kesilmiş elmalara, %2'lik metilen menekşe boyası içeren su emdirmiştir. Proses 20°C'de yürütülmüş ve 1, 5, 10 tekrar vakum döngüsü uygulanmıştır. VE işlemi 3 farklı (5, 10 ve 30 kPa/s) basınç değişim oranında ve 5 kPa basınçta uygulanmıştır. Çalışmada, basınç kadar basınç değişim hızının etkili olduğu gözlemlenmiş bu nedenle çok hızlı ya da çok yavaş olmasının prosesi olumsuz etkileyebileceği bildirilmiştir. Kamjijam vd. (2021) VE'nin, özellikle glutamik asit ile zenginleştirilmiş çözeltiler kullanıldığında, pirinçlerde gama-aminobütirik asit (GABA) ve esansiyel amino asitlerin üretimini belirgin şekilde artırdığını rapor etmiştir. Çalışma, kısa süreli VE uygulamasının (20–40 dakika) ve uygun germinasyon süresinin (72–96 saat) pirinçlerde GABA içeriğini maksimum düzeye çıkardığını göstermektedir. Bununla birlikte, aşırı vakum süresinin (60 dakika) hücresel yapıyı bozarak germinasyon kabiliyetini ve metabolit üretimi üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği de rapor edilmiştir.

Çözeltinin viskozitesi, HDM olgusu açısından etkilidir. Yapılan çalışmalarda gıda ve çözelti arasındaki kütle transferinin, emdirim çözeltisinin viskozitesinden etkilendiği bildirilmiştir (Tappi vd., 2022). Schulze vd. (2012), elma dilimlerini

kuersetinle zenginleştirmeyi hedefledikleri çalışmalarında çözelti olarak elma kabuğundan elde edilen kuersetin glikozitleriyle %0.3 oranında zenginleştirilmiş ticari elma suyu (11.1±0.1°Brix) kullanmıştır. Elde ettikleri çözeltiyi ise farklı pektin oranlarıyla (%0, %0.8 ve %1.2) farklı viskozitelerde (6, 10, 12 mPa.s) VE için kullanmışlardır. VE işlemi 10, 20, 40, 60 ve 80 kPa basınçlarında 5 dk vakum, 10 dk restorasyon olacak şekilde oda sıcaklığında uygulanmıştır. Viskozitenin artmasıyla azalan akış hızı nedeniyle emilim miktarında azalma olduğu bildirilmiştir. Tappi vd. (2022) farklı çözeltiler (kalsiyum laktat ve askorbik asit çözeltisi) kullanarak yaptığı çalışmada, elmalara VE uygulamıştır. Elma dilimleri, kademeli artışla 20 kPa basınçta 5 dk, yine kademeli azalışla atmosfer basıncında 5 dk bekletilmiştir. Çözeltiler farklı viskozitelerde (1.47, 1.52, 1.62, 1.74 cP) olmasına karşın birbirine yakın değerlere sahip olduğundan, önemli bir farka neden olmamıştır.

VE işlemi, çözeltinin özelliklerine bağlı olarak gıdaların fonksiyonel özelliklerini zenginleştirebilmekte veya olası istenmeyen özellikleri azaltabilmektedir. Brokoli çiçeği ile yapılan VE uygulamasında, kalsiyum klorür ve askorbik asit çözeltisi emdirilmiştir. Kalsiyumun bitki dokusunda membran bütünlüğü sağlaması ve askorbik asitin antioksidan etki göstermesi nedeniyle VE uygulanan brokoli çiçeklerinin daha uzun raf ömrüne sahip olduğu bildirilmiştir (Wahid vd., 2025). Cirit vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada patates şeritlerine 4 farklı çözelti (damıtılmış su, NaCl, KCl ve $CaCl_2$) 0.1 M konsantrasyonda uygulanmıştır. VE işlemi sonrası patatesler 175°C'de ayçiçek yağında 5 dk kızartılmış ve örneklerde akrilamid oluşumu takip edilmiştir. Sonuçlar, tüm çözeltilerin akrilamid oluşumunu önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Özellikle 15 dakikalık uygulamada, KCl ve NaCl çözeltilerinin sırasıyla %95 ve %91 oranında azaltma sağladığı tespit edilmiştir. Fenolik maddelerce zenginleştirmek için üç farklı meyve suyuyla (nar suyu, karadut suyu, kara üzüm suyu) tavuk etine aynı yöntemle VE uygulandığı çalışmada ise tavukların toplam fenolik madde, antioksidan aktivite, renk bulguları birbirinden önemli seviyede farklılık göstermiştir (Dinçer vd., 2024). Li vd. (2025) çalışmalarında yutma güçlüğü çeken bireyler için mantara yumuşatma amaçlı farklı teknikler ile enzim (Flavourzyme®, Alcalase®, Viscozyme® L, Cellulase APF) uygulamışlardır. Enzimlerin tekstürel olarak farklı etkiler ortaya koyduğu rapor edilirken VE uygulaması enzim penetrasyonunu artırmış ve sertlik ile çiğnenebilirlik değerlerini azaltmıştır. VE işleminde genellikle çözelti konsantrasyonu arttıkça gıda matrisine geçen kuru madde miktarı artmaktadır. Belirli bir eşiğe ulaştığında gıdada büzüşmelere yol açabilmesi nedeniyle optimum konsantrasyonda çözelti kullanılması gerekmektedir (Panayampadan, 2022). Hibiskus ekstraktını farklı konsantrasyonlarda (1, 2, 4 °Bx) tavuğa emdirim amacıyla yapılan bir çalışmada, konsantrasyon arttıkça son üründe kuru madde, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivitenin artış gösterdiği bildirilmiştir (Aykın Dinçer ve Dinçer, 2022). Tiwari vd. (2022) yaptıkları çalışmada kızartılacak patateslere haşlama yapıldıktan sonra demir içerikli çözelti (1:4, gıda:çözelti) ile birlikte 5, 10, 15, 20 dk vakum ve 10, 15, 20 dk bekleme süreleriyle VE uygulayarak yapıyı güçlendirmeye çalışmışlardır. Kullanılan çözeltideki demir konsantrasyonu %0.025, 0.0625, 0.1 şeklinde değişkenlik göstermiştir. Artan demir konsantrasyonu ile birlikte patateslerde yağ emiliminin %17.72 oranında azaldığı, demir emiliminin ise arttığı tespit edilmiş ve akrilamid içeriğinin kontrol çözeltisine kıyasla daha az olduğu (50.34±0.42 -45.13±0.27 µg/kg) bildirilmiştir. Tekstürel olarak kontrol örneklerine göre kıyaslanabilir gevreklik (0.37-0.35 kg/sn) ve sertlik (0.39-0.38 kg/sn) değerleri ölçülmüştür.

Etkili bir emdirim işlemi için gıdanın gözeneklerinden gaz çıkışının gerçekleşmesi ve çözeltinin kapiler yapılardan geçiş yapması gerekmektedir. Basınç ve gözeneklerin genişliği birbiriyle bağlantılı olarak çözelti emilimine etki ederler. Daha geniş gözenekleri bulunan gıdalarda çözelti matrise HDM nedeniyle daha yüksek oranlarda geçmekte ve bu yapılarda gaz salınımı daha net gözlenmektedir. Gözenek yapısı dar olan gıdalarda ise çözelti geçişinin daha az olduğu ve daha az deformasyon oluştuğu çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir. Meyve sebzeler nispeten daha büyük gözeneklere sahip olduğundan emdirimin gerçekleşmesi daha kolay gerçekleşebileceği gibi diğer gıdalarda gözeneklilik çok değişken olacağından emdirim işleminin büyük oranda etkileneceği farklı çalışmalarda vurgulanmıştır (Gautam vd., 2024; Mierzwa vd., 2022b; Mierzwa vd., 2023). Gözenekliliğe ek olarak, katı matrisin yapısal bütünlüğü ve doku mimarisindeki kıvrımlı yapı, kütle aktarım verimliliğini doğrudan etkileyen temel unsurlardır. Et, balık ürünlerinde kaslar arasındaki boşluklar ve damarlar doku içine sıvı geçişinde etkili olurken; meyve ve peynir gibi gıdalarda yapıdaki gözenekler etkili olmaktadır. Özellikle sebzelerdeki kapiler damarlar HDM için kanal görevi görebilmektedir.

Vakumlu Emdirim Tekniğiyle Kombine Edilen İşlemler

VE farklı uygulamalarla beraber gıda işlemede kullanılabilen çok yönlü bir tekniktir. Yaygın olarak ön işlem olarak kullanıldığından,

diğer işlemlerle kombine edilmiştir. Bu kombinasyonlar son ürün verimliliğini artırarak olumlu sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamaktadır. VE ultrases, ohmik ısıtma, darbeli elektrik alan, yüksek basınç, elektron demeti ile ışınlama ve mikroperforasyon gibi yöntemlerle birlikte kullanılabilmektedir (Aykın Dinçer ve Dinçer, 2023; Sharefiabadi ve Serdaroğlu, 2023; Gautam vd., 2024).

Ultrases (US) Destekli VE

Et ürünlerinde ultrases uygulamasının kütle transferi üzerindeki etkisi, birkaç mekanizma ile açıklanmaktadır. Kavitasyon kabarcıklarının et yüzeyinde asimetrik olarak patlaması sonucunda oluşan mikro jetler, çözeltinin et içerisine mikro enjeksiyon şeklinde girmesini sağlar. Başka bir mekanizmada ise ultrases uygulamasıyla ortaya çıkan sünger etkisi, etin gözeneklerinde sıkışmış havanın dışarı atılmasına neden olur ve çözelti bu gözeneklere girer; ultrases uygulandığında pozitif ve negatif basınçlar aynı frekansta gerçekleşir. Böylece sünger etkisi, mikro kanalların oluşumu ve kas lifleri arasındaki mesafenin artması gibi bazı yapısal etkiler, çözeltinin ete geçişini desteklemektedir (Aykın-Dinçer, 2021). Literatürde VE ile birlikte US uygulandığında olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Aykın Dinçer ve Dinçer (2023) çalışmasında et küplerine farklı basınçlarda vakumla birlikte ultrases uygulamanın adaçayı ekstraktı emdirimine etkisini araştırmıştır. Basınç arttıkça fenolik madde miktarında artış gözlemlenmiş, ultrases işleminin VE ile kullanımı önerilmiştir. Demir vd. (2022), soğan suyu ile dana eti şeritlerinin marinasyonunda ultrases ve VE tekniğinin etkilerini incelemişlerdir. VE tekniğinin marinat absorplama üzerine istatistiksel olarak önemli bir fark yarattığını, ultrases işleminin duyusal olarak puan artışına neden olduğunu ve ultrases destekli VE'nin standart marinasyon yöntemine göre daha verimli bir teknik olduğunu bildirmişlerdir. Mierzwa vd. (2022a) kızılcık meyvesine askorbik asit emdirim için ultrases destekli VE uygulamışlardır. Kızılcığın yapısı ve kabuğunun yarattığı engeller nedeniyle yalnızca VE yetersiz kalmış ultrasesle desteklendiğinde istenilen sonuçların elde edildiği belirlenmiştir.

Ohmik Isıtma Destekli VE

Ohmik ısıtma, gıdayı doğrudan elektrik akımıyla ısıtan bir yöntem olduğundan, ürünün yapısı elektrik devresinin bir parçası haline gelir ve ısı gıdanın kendi elektriksel direnci sayesinde içeriden dışarıya doğru üretilir. Bu durum ısı transferini hızlandırırken, iç sıcaklığın homojen yükselmesini sağlar. Bu eşit ve hızlı ısınma, hücre zarlarında elektropermeabilizasyon (elektroporasyon) olarak bilinen geçirgenlik artışına neden olur. Ohmik ısıtma destekli VE çalışmalarında etken madde kazanımının ana nedeni genelde bu mekanizma ile açıklanmaktadır. Ohmik ısıtma ayrıca difüzyon katsayısını artırarak dış çözeltideki bileşenlerin hücre içine daha hızlı ve etkin şekilde taşınmasını sağlar. Elektrik alanının etkisiyle oluşan iyon hareketleri VE sırasında görülen hidrodinamik mekanizmalarla birleşerek çözelti girişini hızlandırır. Bunun yanısıra, ohmik ısıtma uygulamasında sıcaklık artışı kontrollü bir şekilde sağlandığı için, VE'deki deformasyon–gevşeme (DRP) mekanizması ile çalışarak, doku içindeki gözeneklerde çözeltinin ilerlemesini kolaylaştırır (Moreno vd., 2017).

Moreno vd., (2017) çalışmalarında elmalara geleneksel ısıtma, ohmik ısıtma ve VE ile kombinasyonları olmak üzere 4 farklı yöntem ile 30, 40, 50°C'lerde L-arginin emdirmişlerdir. Ardından L-arginin açısından zengin bir elma atıştırmalığı elde etmek için örnekler 40°C'de hava ile kurutulmuştur. Bu çalışma sonucunda, 50°C'de vakumlu emdirim/ohmik ısıtma işlemi ve ardından 40°C'de kurutma, L-arginin açısından zengin bir elma atıştırmalığı elde etmek için en iyi yöntem olarak belirlenmiştir (Moreno vd., 2017). Benzer şekilde Moreno vd. (2025) çalışmasında elma dilimlerine kriyokonsantre elde edilmiş pancar suyunu (50 °Bx) emdirmek istemiştir. Deneyler; geleneksel ısıtma, ohmik ısıtma ve bu yöntemlerin VE ile birleştirildiği dört farklı uygulama şeklinde, 30, 40 ve 50°C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. En yüksek fenolik madde oranı 50°C'de uygulanan VE destekli ohmik ısıtma işleminde saptanırken, aynı uygulamanın 40°C sıcaklığında en yüksek çözünür madde kazanımı elde edilmiştir. Ancak VE uygulanmış her sıcaklıkta diğer gruplara kıyasla sertlikte azalma olduğu ifade edilmiştir.

Darbeli Elektrik Alan Destekli VE

Darbeli elektrik alan (DEA) çevre dostu yapısı nedeniyle umut vadeden bir gıda işleme teknolojisidir. Termal olmayan bir işlem olması özellikle ısıya hassas bileşenler içeren ürünlerde kullanımını cazip kılmaktadır. İki elektrot arasına yerleştirilen gıdaya kısa süreli 0.1–100 kV/cm elektrik alan gücüne sahip darbelerin tekrar tekrar uygulanması DEA işlemi olarak tanımlanabilmektedir. Uygulanan bu elektrik akımı gıda hücre zarlarında geçici porlar oluşturarak HDM etkinliğini artırabilmektedir. Katı gıdalarda kütle transferini desteklemesi

sebebiyle ekstraksiyon, kurutma, soyma, dondurma-çözme, marinasyon ve pişirme işlemlerinden önce bir ön işlem olarak kullanılabilmektedir (Zhang vd., 2023). Shiekh vd. (2021) karideslere DEA sonrasında VE işlemi uygulayarak, graviola yaprağı özütünün örneklerde raf ömrünü uzatma potansiyelini araştırmışlardır. Yöntem sonucunda başarılı bir şekilde mikrobiyal gelişme geciktirilmiş ve renk değişimi azaltılmıştır. Midyelerin raf ömrünü iyileştirmeyi hedefleyen Singh vd. (2025), bu süreçte DEA ve ardından gelen VE uygulamalarını test etmişlerdir. Çözelti olarak farklı oranlarda (%0,5, %1 ve %2) psyllium kabuğu ve κ-karragenan beraberinde kitooligosakkarit-epigallokateşin gallat konjugatı (CEC) (%2, %3) kullanılmıştır. Çalışmada, %2 psyllium kabuğu ve %3 CEC depolama sırasında ağırlık artışı, mikrobiyal inhibisyon ve omega-3 yağ asitleri bakımından en olumlu sonuçları vermiştir. Patateslere sarımsak aroması (alliin) kazandırmak hedefiyle yürütülen başka bir çalışmada ise DEA (0, 0,250, 0625, 1,250, 1,875 kJ/kg)'a ek olarak VE (15 kPa), US (35, 130 kHz) ve daldırma kombinasyonları denenmiş ve patatesler kızartılmıştır. DEA+VE işleminde tüm gruplar kontrolden anlamlı şekilde yüksek konsantrasyon gösterirken en yüksek alliin konsantrasyonu ise 1.875 kJ/kg DEA ile elde edilmiştir. Bunun yanında DEA+US kombinasyonları daha yüksek konsantrasyonlar elde edilmesini sağlayabilmiştir (Li vd., 2022).

Yüksek Basınçlı İşleme Destekli VE

Yüksek basınç işlemi gıdaya 100 ila 800 MPa arasındaki basınç aralığı ve 20 ila 60°C sıcaklık aralığında uygulanabilmektedir. İlk olarak gıda endüstrisinde gıdaların sanitasyonu için uygulanmış olup, daha sonra enzim inaktivasyonuna yönelik çalışmalarda kullanılmış ve son dönemde yüksek basınç uygulamasının biyoaktif bileşikler üzerindeki etkisine odaklanılmıştır (Aganovic vd., 2021). Çipura balıkları üzerinde yapılan bir çalışmada limon suyu içeren çözelti VE ve yüksek basınç destekli VE uygulanarak emdirilmiştir. VE 50 kPa'da 5 dakika, yüksek basınç ise 250 MPa basınçta 6 dakika uygulanmıştır. Yalnızca VE uygulanmış balıklarla kıyaslandığında, yüksek basınç destekli VE mikrobiyolojik aktiviteyi azaltmış ve su tutma kapasitesi ve tekstürel özellikleri daha iyi korumuştur (Bou vd., 2023). Havuç parçalarına %3 pigment solüsyonu ile 1 kPa basınç 1 dk süreyle VE ve/veya farklı seviyelerde yüksek basınç (100, 200, 400, 600 MPa) uygulanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre basınç miktarındaki artışın, emilim artışında anlamlı bir etkisi olmamış aksine basınçtaki artışın gıdanın hücrelerinde tekstürel bozulmalara yol açtığı bildirilmiştir. Sonuç olarak, VE + 100 MPa yüksek basınç uygulaması önerilmiştir (Gao vd., 2023).

Elektron Demeti ile Işınlama Destekli VE

Bu teknikte, gıda ürünlerini işlemek, zararlıları ve patojen gelişimini engellemek ve raf ömrünü uzatmak için yüksek enerjili elektron demetleri kullanır. Elektron demeti ışınlaması (EI), gıdanın duyusal veya besinsel özelliklerini önemli ölçüde değiştirmez, bu durum da onu zararlı patojenleri ortadan kaldırmada avantajlı kılar (Sani vd., 2025). Yurttas vd. (2014) tarafından kalsiyum-askorbik asit çözeltisiyle VE uygulanmış mantar dilimlerinde, ışınlamanın etkisi ile esmerleşmenin azaldığı ve buna bağlı olarak örneklerin daha çok beğenildiği bildirilmiştir. Tong vd. (2018) yaptıkları çalışmada ışınlama uygulanmış yaban mersinlerine VE ile kalsiyum laktat emdirerek raf ömründeki etkilerini gözlemlemişlerdir. VE uygulanmamış sadece ışınlama yapılmış meyveler depolama sırasında yumuşama gösterirken, VE ile kalsiyum laktat uygulanmış meyveler tekstürel özelliklerini daha iyi korumuşlardır.

Mikroperforasyon Destekli VE

Lazer mikroperforasyon, lazerin bir matkap gibi davranarak gıdada mikro gözenekler oluşturduğu ve vakum emdirim ile birleştirildiğinde kütle transfer sürecini hızlandırmak için uygulanabilen bir ön işlemdir. Teknikte herhangi bir temas olmaması nedeniyle fiziksel veya mikrobiyolojik olarak güvenilir olduğu bilinmektedir (Gautam vd., 2024). Domuz silindirlerine tuz emdirmek üzere yapılan lazer mikroperforasyon destekli VE çalışmasında geleneksel tuzlama işlemine göre difüzyon süresinin %47.8 azaldığı gözlemlenmiştir (Figueroa vd., 2020). Benzer olarak tavuk eti için yapılan bir araştırmada mikroperforasyon işlemiyle vakum işlemi birleştirilmiş ve ete emdirilmek üzere tuz çözeltisi kullanılmıştır. Marinasyon süresinin %34 azaldığı bildirilmiştir (Ramirez vd., 2021). Sonuç olarak mikroperforasyon işlemi gıda dokusunda mikro kanallar oluşturarak VE anında iç fazdaki gaz ve sıvı geçişleri için gerekli difüzyon kanallarını artırmakta ve yüzey alanını genişleterek marinasyonun homojenliğini ve hızını artırmakta katkı sağlamaktadır (Figueroa vd., 2020; Ramirez vd., 2021; Gautam vd., 2024).

Et Ürünleri ve Vakumlu Emdirim Tekniği

Etin kas mikroyapısı, son ürünün kalite karakteristikleri üzerinde belirleyici bir role sahiptir; dolayısıyla uygun işleme stratejilerinin

belirlenebilmesi için kas dokusunun biyofiziksel özelliklerinin tanımlanması elzemdir. Derişim farkı ile tetiklenen kütle aktarım süreçlerinde; doku yoğunluğu ve gözeneklilik gibi mikroyapısal faktörler, ürünler arası kıyaslamada temel göstergeler olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, kas dokusunun anatomik bölgesine özgü karakteristikleri, aynı hayvanda dahi dokusal farklılıkların oluşmasına sebebiyet vermektedir. Ayrıca etin emdirim çözeltisini bünyesine alması kadar su tutma kapasitesi de nihai ürüne etki etmektedir (Baysal ve İçier, 2015; Klont vd., 1998; Zhang vd., 2022). VE tekniği et ürünlerine; raf ömrünün uzatılması, tekstürel özelliklerin geliştirilmesi, donma stabilitesinin artırılması ve biyoaktif bileşenlerce zenginleştirme gibi çeşitli amaçlarla uygulanmaktadır. Literatürdeki bu çalışmalar tuzlama ve zenginleştirme işlemleri olmak üzere iki ana grup altında değerlendirilebilir. İlgili çalışmalar materyal türüne göre kırmızı et (Çizelge 2), kanatlı eti (Çizelge 3) ve su ürünleri (Çizelge 4) olmak üzere üç grupta sunulmuştur.

Çizelge 2. VE tekniğinin kırmızı et ürünleri üzerinde kullanıldığı çalışmalar

Hammadde	Emdirim Çözeltisi	İşlem Koşulları	Sonuçlar	Kaynak
Sığır eti	%9 tuzlu soğan suyu	1:5, gıda:çözelti 20, 40, 60 dk VE (100 kPa) sonrasında 24 saat 4.3°C'de marinasyon	VE ön işlemi, etteki lipit oksidasyonu değerinde önemli düşüşe neden olmuştur ve et sertliğini %21.62 oranında azaltmıştır.	Demir vd., 2022
Sığır eti	İzotonik tuz çözeltisi	20.3 ve 71.1 kPa vakum basınçları 0.5; 2.0; 4.0 saat işlem süreleri	En yüksek emilim 71.1 kPa, 4.0 saat işlem gören etlerde %10.5 olarak hesaplanmıştır. En yüksek etkin gözeneklilik %14.0 bulunmuş, 20.3 kPa'lık basınç ve 4.0 saat sürede elde edilmiştir.	Leal-Ramos vd., 2018
Sığır eti	Adaçayı ekstraktı (1°Bx)	VE ve US+VE (10, 25, 50 kPa) 180 dk 1:8, gıda: çözelti 4°C marinasyon	Kinetik için Azuara modeli önerilmiştir. 25 ve 50 kPa arasında önemli fenolik madde değişimi olmuştur. Vakum ve ultrases uygulamaları zenginleştirme için önerilmiştir.	Aykın-Dinçer, Dinçer, 2023
Sığır eti	Papain çözeltisi (%5 w/v)	2 cm et küpleri 0.85 kPa 5 dk VE + 5 dk restorasyon, 2 döngü enzim (papain) 65°C 10 dk; 65°C 15 dk 80°C ve 4 dk haşlama	Enzimatik ön işlemli pişirme yumuşaklığı önemli ölçüde artırmıştır. Yutma güçlüğü olan bireyler için VE uygulanmış, 65°C'de 10 dk pişirilmiş etler önerilmiştir.	Grau vd., 2022
Sığır eti	İnülin çözeltisi (%2 w/v)	3 cm^3 et küpleri 10 dk 80 kPa vakum, 20 dk dinlenme 1:5, gıda:çözelti -18°C'de dondurma	İnülin emdirilmesi pH, çözme kaybı, iyon sızıntısı ve TBARS değerlerinde önemli azalmaya neden olmuştur.	Bayraktar vd., 2024
Dana eti	Tuz çözeltisi (40 g/L)	VE ve US+VE (25, 50, 75 kPa) 1.5 cm^3 et küpleri 1:10, gıda:çözelti 180 dakika VE (10 dk vakum, 10 dk restorasyon döngüleri) 20, 40, 60, 100, 140 ve 180 dk aralıklarında örnek alımı	Azuara modelinin tuz difüzyonu için uygun olduğu görülmüştür. Basınç farkı arttıkça tuz difüzyonu artmış, su kazanımı azaltmıştır.US+VE işleminin salamura süresini %44 oranında kısaltabileceği bildirilmiştir	Aykın Dinçer, 2021

Çizelge 2. Devamı

Dana eti	Asetik, sitrik, laktik asitli salamuralar Doymuş tuz çözeltisi (6 mol/L) %75 NaCl ve %25 KCl içeren çözelti	Vakum basıncı: 6.66 kPa Vakum süresi: 20 dk Gevşeme süresi: 5 saat 40 dk 1:10, gıda:çözelti	VE işlemi su kaybını %20, tuz kazanımını %15 artırmıştır. Asit ilaveli salamuralar tuz kazanımını %13-24 azaltmıştır. KCl içeren salamurada difüzyon daha hızlı gerçekleşmiştir.	Bampi vd., 2016
Öküz kemiği	Eritilmiş polietilen glikol (PEG)	Farklı derişimlerde (0.001-1.0 mol/L) Cu^{2+} iyonlarıyla US işlemi ardından 70°C'de 6 saat VE 1:1, gıda:çözelti	En yüksek emilim (%94.66) en yüksek Cu^{2+} iyonu içeren kemiklerde olmuştur. Faz değişim malzemesi (PCMs) olarak VE ile PEG emdirilmiş kemikler uygun ısıl stabilite göstermiştir.	Xue vd., 2023
Domuz eti	Tuz (%8 w/w) ve $Na_5P_3O_{10}$ (%0.3 w/w) içeren çözelti	CO_2 lazer mikroperforasyonu ardından 6°C'de 60 saat marinasyon 5 dk 6.67 kPa vakum ve 2 dk restorasyon	Mikroperforasyon destekli VE işlemi, geleneksel marinasyona kıyasla işlem süresini %47.8 kısaltmıştır.	Figueroa vd., 2020
Domuz eti	%20 Tuz, %2 dekstroz, %1 sakkaroz, %0.1 askorbat ve %0.1 baharat içeren çözelti	4°C'de 20 dk tamburlama + VE 4°C'de 16 saat tank içinde restorasyon	Geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında VE işleminin daha az Enterobacteriaceae gelişimine neden olduğu görülmüştür.	Serio vd., 2017
Kuzu eti	Tuz çözeltisi (%15)	70 kPa 15 dk vakum 15 dk restorasyon 3, 6, 9, 12 tekrarlı uygulama	Kesikli VE uygulaması, geleneksel yöntemlere göre daha fazla tuz içeriği ve hızlı tuz difüzyonu sağlamıştır VE sarkoplazmik ve miyofibriler proteinlerin çözünmesine yardımcı olmuştur.	Wang vd., 2016

Çizelge 3. VE tekniğinin kanatlı eti üzerinde uygulandığı çalışmalar

Hammadde	**Emdirim Çözeltisi**	**İşlem Koşulları**	**Sonuçlar**	**Kaynak**
Tavuk eti	Tuz çözeltisi (%5, 10, 15 ve 20 w/v)	15 dk vakum (1.33 kPa) ve 5.75 saat atm basıncında bekleme 1:50, gıda:çözelti	Vakum sonrası restorasyon süresi uygulaması su kazanımını %78, tuz kazanımını %25, toplam ağırlık artışını %54 yükseltmiştir.	Schmidt vd., 2008
Tavuk eti	Tuz (%3 w/w) ve sodyum tripolifosfat (%1 w/w) çözeltisi	228 µm gözenekli CO_2 lazer 1:11, gıda:çözelti 15 kPa, 60 saat, 6°C Darbeli vakum uygulaması	Lazer mikroperforasyonların vakum darbeleriyle birlikte uygulanması marinasyon süresini %34 azaltmıştır.	Ramírez vd., 2021
Tavuk eti	Nar suyu Karadut suyu Siyah üzüm suyu	25 kPa vakum 2 saat VE uygulama (10 dk vakum ve 10 dk restorasyon) 1:6, gıda:çözelti	Nar suyuna ait fenolik maddelerin emdirimi daha başarılı olmuştur. VE'nin et ürünlerinin zenginleştirilmesinde kullanılabileceği görülmüştür.	Dinçer vd., 2024
Tavuk eti	%4 Tuz ilaveli hibiskus çözeltileri (1, 2, 4 °Bx)	25 kPa vakum 2 saat VE uygulama (10 dk vakum 10 dk restorasyon) 1:10, gıda:çözelti	Konsantrasyon arttıkça fenolik ve antosiyanin madde kazanımında önemli değişimler gözlemlenmiştir.	Aykın Dinçer ve Dinçer, 2022

Çizelge 3. Devamı

Hindi eti	Chia musilajı + %0.5 adaçayı ekstraktı, Chia musilajı + %1 adaçayı ekstraktı, Chia musilajı + %1.5 adaçayı ekstraktı	1cm genişliğinde et şeritleri 1:3, gıda:çözelti 5 dk 5kPa vakum ve 5 dk restorasyon, 10±2°C sıcaklık	Artan adaçayı ekstraktı daha yüksek antioksidan aktivite sağlamıştır. Hindilerin karbonil ve sülfidril içeriği solüsyonlarından önemli ölçüde etkilenmiş ve chia ile adaçayı kullanımı raf ömrü uzatma, kalite koruma sağlamıştır.	Sharefiabadi vd., 2025

Çizelge 4. VE tekniğinin su ürünleri üzerinde kullanıldığı çalışmalar

Hammadde	**Emdirim Çözeltisi**	**İşlem Koşulları**	**Sonuçlar**	**Kaynak**
Dil Balığı	Tuz (%10 w/v) Tuz (%10 w/v) + sakaroz (%3 w/v) Tuz (%10 w/v) + sakaroz (%3 w/v) + asetik asit (%0.5 v/v) çözeltileri	12±1°C, 1:10, gıda:çözelti 5dk 10 kPa vakum sonrası 10 dk restorasyon döngüleri sonrasında 6 saatlik bekleme	Asitli çözeltiyle muamele edilen balıklarda önemli madde kazanımı tespit edilmiş ve diğer gruplara kıyasla artan sertlik ve azalan yapışkanlık görülmüştür. VE işleminin balık işleme operasyonlarını kolaylaştıracağı bildirilmiştir.	Jimenez Lugo vd., 2024
Kırmızı Çipura Balığı	0.1 M trehaloz, %0.01 (v/v) CS@Fe_3O_4 nanopartikülleri ve %0.1 (v/v) antifriz proteini (hAFP) içeren %0.9 (w/v) tuz çözeltisi	60 kPa vakum, 1 saat, 4°C' de uygulama ardından -20°C'de 24 saat depolama ve 4°C' de 12 saat çözme	VE nin buz kristali keskinliğini azaltmak için etkili bir yöntem olduğu, emdirilen hAFP'nin örneklerin termal kararlılıklarını, viskoelastisitelerini iyileştirerek, su hareketliliğini ve dağılımını kısıtlayarak iyileştirmeler sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.	Nian vd., 2019
Tilapya Filetosu	Deiyonize su %3 Balık jelatinli çözelti %9 Üzüm çekirdeği özütlü çözelti %3 Balık jelatini + %9 üzüm çekirdeği özütlü çözelti	15 dk 5 kPa vakum 10 dk restorasyon 1:3, gıda:çözelti gıda yüzeyindeki kaplama çözeltisinin uzaklaştırılması 5 dk süzme 12 gün 4°C'de depolama	Balık jelatinli ve üzüm çekirdeği özütü emdirilmiş filetolar tazeliğini daha iyi korumuştur. VE tekniğinin metabolik değişikliklere karşı koruyucu emdirmek için kullanılabilecek faydalı bir teknoloji olduğu sonucuna varılmıştır.	Zhao vd., 2019
Tilapya Filetosu	Biyokoruyucu çözelti (Sodyum aljinat 8 g/L, Nisin 0.8 g/L ve Sodyum eritorbat 7.5 g/L)	Her bir kombinasyon farklı grup olacak şekilde: Vakum: 20, 40, 60, 80 kPa (pv) Vakum süresi 10, 15, 20, 25 dk (t1) Restorasyon süresi: 6, 9, 12, 15 dk (t2)	Optimize edilmiş parametreler pv = 68 kPa, t1 = 23'40" ve t2 = 8'50", 30 gün depolanmış (-2°C) optimize ürünlerin kontrol grubuna kıyasla su tutma kapasitesi, sertlik ve beyazlık sırasıyla %14.8, %18.6 ve %6.3 artmış; aerobik plak sayısı ve TVB-N sırasıyla %11.3 ve %29.6 azalmıştır.	Liu vd., 2022

Çizelge 4. Devamı

Mezgit Filetosu	Tuz çözeltisi (%4 w/v)	US+VE işlemi 5, 15, 25°C sıcaklıklar VE 5, 15, 25°C 1:10, gıda:çözelti	Azuara modeli önerilmiştir. US+VE tuz kazanımını önemli ölçüde artırmıştır. 5°C'den 25°C'ye çıkıldığında balıkların daha yüksek nem ve tuz içeriğine sahip olduğu görülmüştür.	Aykın Dinçer vd., 2024
Mezgit Filetosu (Merluccius hubbsi)	Tuz çözeltisi (%10 w/v)	5 dk boyunca 10 kPa vakum basıncı, restorasyon aşamasının 25, 55, 115, 175, 235, 295, 355 ve 415 dakikalarında örnek alımı ve 4±1°C işlem 1:10, gıda:çözelti	VE tuzlama süresini %75 azaltmıştır. Kontrol örneklerine kıyasla VE uygulanan filetoların ağırlık değişimi pozitif yönde önemli farklılık göstermiştir.VE kullanımının renk ve doku üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır.	Tomac vd., 2020
İribaş Sazan Balığı Filetosu	%1 ve %2 balık kılçığı hidrolizat çözeltisi %1 çay polifenol çözeltisi	15 dk 70 kPa basınçta VE 4°C'de uygulama 7 donma-çözünme döngüsü	VE ile eklenen hidrolizat lipit/protein oksidasyonunu önemli oranda yavaşlatmıştır. Tekstür ve damlama kaybında iyileşme göstermiştir. Dondurulmuş ürünlerde kemik hidrolizatının alternatif antioksidan olabileceği görülmüştür.	Zhang vd., 2021
Ot Sazanı Filetosu	Tuz çözeltisi (%5.8 w/w)	20 kPa basınç 15, 30, 45, 60, 90 ve 120 dk vakum uygulaması 1:3, gıda:çözelti 4°C	Tuz penetrasyonu hızlanmış, 120 dk vakum en yüksek su içeriğini sağlamış, başlangıçta difüzyonun daha hızlı olduğu görülmüştür. Su tutma kapasitesi %80.16'dan %91.47'ye yükselmiştir. Lipit oksidasyonu ve sertlik azalmış, esneklik artmıştır.	Ma vd., 2025
Boga Balığı	%60 (v/v) ticari limon suyu	15dk -80 kPa VE, 15dk restorasyon, 5dk süzme 1:10, gıda:çözelti 10°C'de uygulama Sous vide pişirme	VE sous vide pişirme tekniği ile sinerjik etki göstermiştir. Kontrol gruplarına kıyasla TVBN daha düşük kalmış, ağırlık kaybı daha az olmuş kaliteyi genel anlamda olumlu etkilemiştir. VE ile sous vide 10 güne kadar raf ömrünü uzatmıştır.	Naef vd., 2025
Kuzey Yılanbaş Balığı (Channa Argus) Filetosu	%0.8 Fesleğen (Ocimum Basilicum) esansiyel yağı içeren çözelti (MOBO)	80 kPa VE, 125 Hz US Kontrol, US, VE, US+VE, atmosfer basıncında marinasyon (ATM) uygulamaları, 18 gün depolama ve 70°C'de 15 dk pişirme	Depolama boyunca artan mikrobiyoloji değerleri arasında kontrol grubu en yüksek sayılara ulaşmıştır. Pişirme kaybı en az kontrol grubunda görülmüştür. US işleminin protein sindiriminde artışa neden olabileceği belirtilmiştir. ATM grubu tekstürel olarak en sert grup olmuştur.	Shi vd., 2025
Jumbo Kalamar (Dosidicus gigas) Filetosu	Saflaştırılmış Tripsin (PPT) (0, 5, 10 ve 20 ünite/mL)	5 dk 250 V DEA 2 Döngü VE (5 dk vakum 5 dk restorasyon) 3x3 cm et 1:3, gıda:çözelti	Enzim konsantrasyonu arttıkça sertlikle dayanıklılık azalmış ve pişirme kaybı artış göstermiştir. Emdirilen enzim miktarı artışına bağlı olarak artan amino grupları gözlemlenmiştir. Enzimin VE ile DEA uygulayarak emdirilmesi protein yapılarında değişime neden olmuştur.	Patil vd., 2024
Karides	Chamuang yaprağı özütü (%1 ve %2 w/v)	VE öncesinde DEA (15 kV/cm, 800 darbe) uygulanmıştır. 1:5, gıda:çözelti 5 kPa 15 dk vakum ve 15 dk restorasyon 4°C'de 5 dk süzme	DEA destekli VE, 4°C'de karideslerin raf ömrünü 18 gün uzatabilmiştir. %2 yaprak özütü DEA, VE ve soğuk atmosfer plazma ile birlikte protein ve lipit oksidasyonu önlemiş, esmerleşmeyi geciktirmiştir.	Shiekh vd., 2021

Çizelge 4. Devamı

Karides	Graviola yaprağı ekstresi (%1)	VE öncesinde DEA (15 kV/cm, 800 darbe) uygulanmıştır. Vakum: 5 dk 5 kPa 10 dk restorasyon 2 döngü uygulama 1:3, gıda:çözelti	Örneklerin raf ömrü 15 güne kadar uzamıştır. Mikrobiyal büyüme 6 log KOB/g'ın altında kalmıştır. Solüsyonun emdirilmesiyle melanozis yavaşlamıştır ve ette fenolik bileşenlere rastlanmıştır.	Ahmad vd., 2024
Kırmızı Deniz Kulağı	Tuz çözeltisi (%10, 15, 20 w/v)	Vakum: 5, 10, 15 kPa Vakum süresi: 6, 12,18 dk 1:8, gıda:çözelti	Ozmotik VE, geleneksel yönteme kıyasla daha yüksek değerlerde kuruma ve tuz kazanımı göstermiştir. Geleneksel yöntemlere kıyasla deniz kulağı için daha çok istenilen kalite özellikleri sağlandığı ifade edilmiştir.	Pizarro-Oteiza vd., 2023

Et Ürünlerinde Tuzlama

Tuzlama gıdalarda raf ömrünü uzatmak ve kaliteyi korumak için kullanılan yaklaşık 5000 yıllık bir yöntemdir. Günümüzde hala oldukça önemli olan tuzlama, kürlenmiş veya kurutulmuş et ürünleri için önemli bir işlem basamağıdır. Tuzlama kuru veya salamura şeklinde yapılabilmektedir (Aykın Dinçer ve Erbaş, 2018; Shen vd., 2020; Jia vd., 2024). Difüzyon hızına olumlu etkileri olan bir teknik olması dolayısıyla salamura işleminde VE kullanılması kabul görmektedir. Tuz geçişini hızlandırmasının yanı sıra ete homojen tuz dağılımı sağlamaktadır. VE tekniğinin, aktomiyosin kompleks protein yapısının çözünmesini (disosiasyon) teşvik ettiği ve bu nedenle etin su tutma kapasitesini yükselttiği bildirilmiştir. Aynı zamanda ortamın asitliği tuz emilimini doğrudan etkilemektedir. Özellikle sitrik ve laktik asit gibi düşük pKa değerine sahip asitlerin kullanımı, et dokusunda protein denatürasyonunu hızlandırarak konformasyonel değişikliklere yol açmakta ve bu durum iyonik penetrasyon için gereken aktivasyon enerjisini düşürerek tuz emilimini artırmaktadır. Öte yandan, asetik asit ise nispeten yüksek bir pKa değerine ve daha küçük bir moleküler yapıya sahip olması nedeniyle farklı bir difüzyon dinamiği sergilemektedir. Asetik asidin bu yapısal özelliği, sarkolema boyunca iyonlaşmamış formda daha hızlı difüze olmasını sağlamakta; bu durum miyofibriller proteinlerin net pozitif yükünü artırmakta, bu durum tuz emilim hızı üzerinde sınırlayıcı bir etki oluşturabilmektedir (Bampi vd., 2016; Aykın Dinçer, 2021; Vinod vd., 2024).

Et Ürünlerinde Zenginleştirme

Meyve ve sebzelerde VE tekniği ile uygulanan zenginleştirme işlemlerinin başarılı sonuçlar vermesi, benzer uygulamaların et ürünlerinde kullanımını teşvik etmiştir. Et dokusunun zenginleştirme işlemi genellikle marinasyonla yapılmaktadır. Vakum uygulaması ve ardından gelen atmosfer basıncı et gözeneklerinin içerisine biyoaktif bileşenlerin girmesine imkan sağlamaktadır (Aykın Dinçer ve Dinçer, 2022; Kara, 2024; Nowacka vd., 2025). Et zenginleştirmesinde tercih edilen çözeltiler; başta bitki ekstraktları olmak üzere çeşitli asitler, şekerler, meyve-sebze suları, proteinler, fenolik maddeler ve biyokoruyucular gibi doğal olarak ette bulunmayan bileşenleri içeren sıvılardır. Zenginleştirme işlemi tuzlama ile aynı hedefi barındırabileceği gibi etlerde yumuşatma, renklendirme, işlem süresi kısaltılması, balık gibi gıdalarda sertleşme, oksidasyonu geciktirme, donma stabilitesi amaçlarına hitap ederek çok yönlü uygulama alanlarına sahiptir.

Raf Ömrü ve Esmerleşme Önleme

VE yönteminin gıdalarda raf ömrünü uzatması üzerine farklı çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Çizelge 2, 3 ve 4). Serio vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, nitrit içeren ve içermeyen salamura ile tuzlama sonrası 4°C'de depolanan domuz eti örneklerinde Enterobacteriaceae kolonileri izlenmiştir. Kontrol grubunda kolonizasyon sadece yüzeyde sınırlı kalırken VE uygulanan gruplarda mikroorganizmaların iç kısımlarda da tespit edildiği rapor edilmiştir. Sonuç olarak, VE tekniği tuz dağılımını hızlandırsa da Enterobacteriaceae familyasına ait bakterilerin et dokusu içinde geçici süre varlığını sürdürebildiği

bir mikroekolojik ortam oluşturmuştur. Bu nedenle VE işleminin özellikle nitritsiz üretimde kontrollü şekilde kullanılması ve ek antimikrobiyal önlemlerle desteklenmesi önerilmektedir.

Hindi göğüs etine adaçayı ekstraktı ve chia müsilajı içeren nanoemülsiyon çözeltisinin VE yöntemiyle uygulandığı bir çalışmada ise, 12 günlük depolama sürecinde, adaçayı ekstraktı konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak lipid oksidasyonu (TBARS) ve mikrobiyolojik değerlerde azalma kaydedilmiştir (Sharefiabadi vd., 2025). Zhao vd. (2019) balık jelatini ve üzüm çekirdeği ekstresi içeren kaplamaların tilapia filetolarının soğuk depolama süresince raf ömrünü nasıl etkilediğini incelemiştir. Vakum impregnasyonu ile uygulanan kaplamaların metabolit değişimleri NMR analizleriyle değerlendirilmiştir. Bulgular, özellikle balık jelatini ve üzüm çekirdeği ekstresi kombinasyonunun, bozulma göstergeleri olan trimetilamin, histamin ve organik asitlerin oluşumunu belirgin şekilde azalttığını göstermiştir. Sonuç olarak balık jelatini ve üzüm çekirdeği ekstresi kaplaması, metabolik bozulmayı azaltarak balık filetolarının kalitesini ve tazeliğini etkili biçimde korumuştur.

Shiekh vd. (2021) ve Ahmad vd. (2024)'nin karideste yürüttüğü çalışmalarda, VE tekniği ile DEA (15 kV/cm, 800 darbe) kombine edilmiştir. Bu yöntemin ürünlerin raf ömrüne etkisinin yanı sıra, emdirilen çözeltilerin esmerleşmeyi önlemede de etkili olduğu ve VE uygulanan gruplarda daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Nitekim depolama sonunda Ahmad vd. (2024), %1 graviola ekstraktı emdirilmiş DEA+VE grubunda melanozis skorunun 5 civarında kaldığını belirtirken; Shiekh vd. (2021), %2 chamuang yaprağı ekstraktı ile DEA+VE ve soğuk atmosferik plazma uygulanan karideste bu skorun 2'nin altında kaldığını saptamışlardır.

Naef vd., (2025) ise limon suyu ile vakum emdirme ve ardından sous-vide pişirme işlemlerinin tatlı su balığı filetolarının raf ömrü üzerindeki etkisini incelemiştir. Limon suyu emdirme, başlangıçta pH'yı düşürerek antimikrobiyal bir etki sağlamış; sous-vide pişirme ise 55°C ve 60°C'de uygulanan iki farklı proses ile mikrobiyal yükü önemli ölçüde azaltmıştır. Her iki sıcaklıkta da pişirilen ürünlerde Enterobacteriaceae, koliformlar, *E. coli,* Salmonella spp. ve Listeria gibi patojenler tespit edilmemiştir. Depolama boyunca psikrotrof bakterilerin artışı kontrol altına alınmış; özellikle limon suyu emdirilmiş örneklerde bu artışın daha düşük olduğu görülmüştür. Toplam uçucu bazik azot (TVBN) değerleri ise, 15 günlük depolama boyunca emdirilmiş örneklerde stabil kalırken, kontrol örneklerinde artış göstermiştir.

Fesleğen uçucu yağının mikroemülsiyon formu (MOBO) kullanılarak farklı emdirme yöntemlerinin yılanbalığı filetolarının raf ömrü üzerindeki etkilerinin araştırıldığı başka bir çalışmada (Shi vd., 2025) ise MOBO uygulanan filetolar, depolama boyunca toplam canlı bakteri ve Pseudomonas spp. bakterileri açısından kontrol grubuna kıyasla belirgin şekilde daha düşük mikrobiyal yüke sahip olmuştur. Kontrol grubu 9. günde bozulma sınırını aşarken, MOBO ile işlem gören gruplar 12–18. günlere kadar kabul edilebilir düzeyde kalmıştır. Ayrıca MOBO, oksidatif bozulmanın göstergesi olan TBARS değerlerinde de önemli azalma sağlamıştır.

Tekstürel Değişimler

Et ürünlerinin bağ doku yapısı ve doğal matrisi gereği, tekstürel özelliklerin iyileştirilmesi tüketici kabulü açısından kritik öneme sahiptir. Literatürde sığır eti, kuzu eti ve deniz ürünleri gibi farklı matrislerde tekstürel değişime odaklanan VE ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur (Demir vd., 2022; Grau vd., 2022; Wang vd., 2016; Jimenez-Lugo vd., 2024; Patil vd., 2024).

Demir vd. (2022), sığır etine farklı sürelerde soğan suyu çözeltisi emdirmiş, işlem görmemiş örneklere kıyasla %21.62 oranında bir yumuşama kaydetmiştir. Ancak, VE süresindeki artışın örneklerin yumuşaması üzerinde doğrusal bir etkisi gözlenmemiştir. TBARS ve sertlik değerlerinde 20 ve 60 dk'lık uygulamalar arasında istatistiksel fark bulunmaması, 40 dk'lık VE işleminin optimum parametre olarak değerlendirilmesini sağlamıştır.

Papain enziminin enjeksiyon ve VE yöntemleriyle uygulanmasının etin tekstür özelliklerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, VE yöntemi enzimin et dokusuna daha homojen dağılmasını sağlayarak sertliği önemli ölçüde azaltmış ve farklı parti, yaşlandırma süresi ve pişirme koşullarından kaynaklanan değişkenliği en aza indirmiştir. Özellikle VE + 65 °C'de 10 dk'lık pişirme, etin bütünlüğünü bozmadan belirgin bir yumuşama sağlamıştır. Enjeksiyon yöntemi yumuşatma sağlasa da tekstürdeki artan dağınıklık ve heterojenlik nedeniyle VE kadar etkili olmamıştır (Grau vd., 2022).

Wang vd. (2016), VE yöntemi ile salamura uygulamasının kuzu etinin tekstürel özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. VE yöntemi, atmosferik basınçla yapılan tuzlamaya kıyasla tuz difüzyonunu hızlandırmış, böylece miyofibrillerde daha güçlü şişme ve daha büyük miyofibril çapları oluşturmuştur. Ayrıca VE yöntemi, aktomiyosin proteininin çözünmesini artırmış,

protein denatürasyonunu hızlandırmış ve bunun sonucunda su tutma kapasitesini iyileştirerek etin daha yumuşak bir yapıya sahip olmasını sağlamıştır. Mikroyapısal incelemelerde Z hatlarının daha hızlı inceldiği ve miyofibrillerin gevşeyerek tekstürel yumuşamanın arttığı görülmüştür. Sonuç olarak VE, et ürünlerinde tekstürel iyileştirme için etkin bir yöntemdir; ancak yapısal bozulmaya bağlı pişme kayıpları, uygulanan ısıl işlem ve çözelti seçimi gibi faktörler nihai kaliteyi etkileyebilmektedir. Bu nedenle VE süreçlerinin her ürün özelinde ön denemelerle optimize edilmesi önerilmektedir.

Donma Stabilitesi

Dondurulmuş et ürünlerinde çözünme sırasında meydana gelebilecek hücre parçalanması, su kaybı ve mikrobiyal çoğalma gibi olumsuzluklar nedeniyle donma stabilitesinin korunması kritik bir öneme sahiptir. Bu olumsuzları azaltmak amacıyla VE farklı ürünlerde kullanılabilmektedir.

Sığır eti küplerinde VE yöntemiyle inülin uygulanarak gerçekleştirilen bir çalışmada (Bayraktar vd., 2024), farklı dondurma ve çözme döngüleri incelenmiştir. VE ile inülin uygulamasının, geleneksel yöntemlere kıyasla damlama kaybını ve oksidasyonu azalttığı, ayrıca renk koruması üzerinde olumlu etkiler yarattığı gözlemlenmiştir. Nian vd. (2019), çipura filetolarına vakumlu emdirme yoluyla ringa antifriz proteini (hAFP) ve kitosan kaplı manyetik nanoparçacıklar (CS@ Fe_3O_4) uygulayarak, dondurma çözündürme döngülerinin neden olduğu yapısal bozulmaların azaltılmasını araştırmıştır. Sonuçlar, vakumlu emdirmenin bu bileşenlerin dokuya etkin şekilde nüfuz etmesini sağladığını ve böylece buz kristallerinin büyümesini ve rekristalizasyonu önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Benzer bir çalışmada (Zhang vd., 2021), balık filetolarına kemik hidrolizatı emdirilerek hidrolizatların antioksidan ve kriyoprotektif etkileri araştırılmıştır. Vakumlu emdirme, biyoaktif peptitlerin dokuya daha etkin nüfuz etmesini sağlayarak oksidatif bozulmayı ve donma-çözünme döngülerinin neden olduğu kalite kaybını azaltmıştır.

SONUÇ

Vakumlu emdirim (VE) tekniği, gıda işleme alanında ısıl işlem olmaksızın kütle transferini hızlandırabilen, doku bütünlüğünü koruyan ve fonksiyonel bileşenlerin etkin şekilde matrise nüfuz etmesini sağlayan yenilikçi bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Basınç farkına dayalı mekanizması sayesinde, geleneksel marinasyon ve zenginleştirme yöntemlerine kıyasla işlem süresini önemli ölçüde azaltmakta ve homojen bileşen dağılımı sağlamaktadır. Et ürünlerinde uygulandığında, tuzlama ve biyoaktif bileşiklerin emdirilmesiyle tekstürel özellikler iyileşmekte, oksidatif stabilite artmakta ve raf ömrü uzamaktadır. Ayrıca, ultrases, ohmik ısıtma ve darbeli elektrik alan gibi teknolojilerle kombinasyonu, yöntemin etkinliğini daha da geliştirmektedir. Çeşitli gıda matrislerinde geniş uygulama potansiyeli sunan VE, fonksiyonel gıda üretimi, raf ömrü uzatma ve sürdürülebilir işleme teknolojileri açısından umut vadeden bir yaklaşımdır. VE ile ilgili proses optimizasyonu ve farklı gıda sistemlerinde entegrasyonu üzerine yapılacak çalışmalar, bu tekniğin endüstriyel kullanımını daha da yaygınlaştırabilecektir.

YAZAR KATKISI

Makalenin derlenmesinde, yazılmasında ve yayınlanmasında tüm yazarlar katkı sağlamışlardır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarların bu derleme makale ile ilgili çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

Aganovic, K., Hertel, C., Vogel, R.F., Johne, R., Schlüter, O., Schwarzenbolz, U., &, Heinz, V. (2021). Aspects of high hydrostatic pressure food processing: Perspectives on technology and food safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *20*(4), 3225-3266. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12763

Ahmad, A. S., Sae-leaw, T., Ma, L., Zhang, B. Benjakul, S. (2024). Combined effect of prior pulsed electric field, dechlorophyllized soursop leaf extract and vacuum impregnation on melanosis inhibition and shelf-life extension of refrigerated Pacific white shrimp. *Food Control*, *163,* 110494. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110494

Akyüzlü, F.B. (2024). *İnfüze kuru vişne üretiminde vakumlu emdirim ve eritritol kullanımının kuruma kinetiği ve ürün kalite özelliklerine etkileri* [Yüksek lisans tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Alolga, R.N., Osae, R., Apaliya, M.T., Ibrahim, T.S., Ahmed,

M.S., &, Antiri, E.A. (2021). Vacuum pressure combined with osmosonication as an innovative pre-drying technique for Ghanaian ginger: Evidence from the metabolome and quality characteristics of the dried product. *Ultrasonics Sonochemistry, 80*, 105841. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105841

Anaya-Esparza, L. M., Rodríguez-Lafitte, E., Villagrán, Z., Aurora-Vigo, E. F., Ruvalcaba-Gómez, J. M., Símpalo-López, W. B., &, Sarango-Córdova, C. H. (2024). Optimization of vacuum impregnation with aqueous extract from *Hibiscus sabdariffa* calyces in apple slices by response surface methodology: effect on soluble phenols, flavonoids, antioxidant activity, and physicochemical parameters. *Applied Sciences*, *14(*23), 2076-3417. https://doi.org/10.3390/app142310850

Aykın Dinçer, E., Dinçer, C. (2022). Vakumlu emdirim ile renkli fonksiyonel tavuk eti küplerinin üretilmesi. *GIDA, 47*(5), 860-873. https://doi.org/10.15237/gida.GD22056

Aykın Dinçer, E., Erbaş, M. (2018). Etin tuzlanması işleminde vakumlu emdirim tekniğinin kullanılması. *GIDA*, *43*(1), 139-150. https://doi.org/10.15237/gida.338797

Aykın-Dinçer, E. (2021). Application of ultrasound-assisted vacuum impregnation for improving the diffusion of salt in beef cubes. *Meat Science*, *176,* 108469. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108469

Aykın-Dinçer, E., Dinçer, C. (2023, Mart). Vakumlu emdirim tekniği ile tavuk eti küplerinin renklendirilmesinde havuç suyunun kullanımı. [Bildiri sunumu]. 6. Uluslararası Beyaz Et Kongresi, Antalya, Türkiye. ss.124-128.

Aykın-Dinçer, E., Dinçer, C. (2023). Modeling of sage (*Salvia fruticosa* Miller) phenolics diffusion in meat cubes during ultrasound assisted vacuum impregnation. *Food Bioscience*, *53,* 102755. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102755

Aykın-Dinçer, E., Dinçer, C., Aydın, A. (2024). Effect of the temperature and ultrasound on salt impregnation process of haddock. *Food Research International*, *184*, 114250. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114250

Bampi, M., Domschke, N.N., Schmidt, F.C., Laurindo, J.B. (2016). Influence of vacuum application, acid addition and partial replacement of NaCl by KCl on the mass transfer during salting of beef cuts. *LWT, 74*, 26-33. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.009

Bayraktar, B., Zungur-Bastıoğlu, A., Yılmaz, F. M., Demirci, K., Görgüç, A. (2024). Enhancing the freezing tolerance of beef meat by inulin impregnation under different freezing and thawing conditions. *Journal of Food Measurement and Characterization, 18,* 8504-8518. https://doi.org/10.1007/s11694-024-02817-y

Baysal, T., İçier, F. (Çev. Ed.). (2015). Gıda Mühendisliğine Giriş = Introduction to Food Engineering (5th ed.; R.P. Singh, D.R. Heldman). Nobel Akademik Yayıncılık

Bou, R., Guerrero, L., López, M., Claret, A., López-Mas, L., Castellari, M. (2023). Effect of vacuum impregnation and high hydrostatic pressure treatments on shelf life, physicochemical, and sensory properties of seabream fillets. *Food and Bioprocess Technology, 16(*5), 1089-1100. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2132376/v1

Cirit, B., Canbay, H. S., Gürsoy, O., Yilmaz, Y. (2023). Vacuum impregnation pre-treatment: A novel method for incorporating mono-and divalent cations into potato strips to reduce the acrylamide formation in French fries. *Open Chemistry, 21*(1), 20220279. https://doi.org/10.1515/chem-2022-0279

de Medeiros, R. A. B., Barros, Z. M. P., de Carvalho, C. B. O., Neta, E. G. F., Maciel, M. I. S., &, Azoubel, P. M. (2016). Influence of dual-stage sugar substitution pretreatment on drying kinetics and quality parameters of mango. *LWT-Food Science and Technology*, *67,* 167-173. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.049

Demir, H., Çelik, S., Sezer, Y.Ç. (2022). Effect of ultrasonication and vacuum impregnation pretreatments on the quality of beef marinated in onion juice a natural meat tenderizer. *Food Science and Technology International, 28*(4), 340-352. https://doi.org/10.1177/10820132211012919

Derossi, A., De Pilli, T., Severini, C. (2012). The application of vacuum impregnation techniques in food industry. B. Valdez (Ed.) *Scientific, Health and Social Aspects of the Food Industry*, (pp 25-56). InTech.

Dinçer, C., Üstünel, S., Erkoç, H.N., Yiyen, A., Aykın-Dinçer, E. (2024). Effect of vacuum impregnation with anthocyanin rich fruit juices on the quality characteristics of chicken cubes. *Food Biophysics*, *19*, 973-981. https://doi.org/10.1007/s11483-

024-09871-5

Durán-Castañeda, A. C., González-Moya, S., Sánchez-Burgos, J. A., Sáyago-Ayerdi, S. G. & Zamora-Gasga, V. M. (2024). Applications of vacuum impregnation as a technology to incorporate functional components in vegetal matrices. *Food Chemistry Advances*, *4, 1*00579. https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100579

Figueroa, C., Ramírez, C., Núñez, H., Jaques, A., Simpson, R. (2020). Application of vacuum impregnation and CO_2-laser microperforations in the potential acceleration of the pork marinating process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 66*, 102500. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102500

Fito, P. (1994). Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. P. Fito, E. Ortega-Rodriguez, & G. V. Barbosa-Canovas (Eds.), *Water in Foods: Fundamental Aspects and Their Significance in Relation to Processing of Foods (22*(1-4), pp. 313-328). Pergamon.

Gao, M., Nomura, K., Ando, Y., Nakaura, Y., Zhang, Z. & Yamamoto, K. (2021). Vacuum impregnation of apple assisted by high hydrostatic pressure. *High Pressure Research, 41*(4), 414-428. https://doi.org/10.1080/08957959.2021.1981308

Gao, M., Nomura, K., Ando, Y., Nakaura, Y., Zhang, Z. &, Yamamoto, K. (2023). Vacuum impregnation of liquid into carrot assisted by high hydrostatic pressure. *High Pressure Research*, *43(*2), 142-155. https://doi.org/10.1080/08957959.2023.2195109

Gautam, S., Kathuria, D., Hamid, Dobhal, A., Singh, N. (2024). Vacuum impregnation: Effect on food quality, application and use of novel techniques for improving its efficiency. *Food Chemistry*, *460*, 140729. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140729

Grau, R., Hernández, S., Verdú, S., Barat, J.M., Talens, P. (2022). Studying process variables to obtain undisturbed shaped soft meat for people with poor oral health. *Meat Science*, *194*, 108960. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108960

Guz, T., Rydzak, L., Domin, M. (2020). Influence of selected parameters and different methods of implementing vacuum impregnation of apple tissue on its effectiveness. *Processes*, *8*(4), 428. https://doi.org/10.3390/pr8040428

Günel, Z. (2022). Enrichment of potato slices with vitamins C and D by vacuum impregnation. *Food and Health*, *8*(3), 181-192. https://doi.org/10.3153/fh22018

Hayat-Girgin H., Ertekin-Filiz, B. (2022). Gıda Teknolojisinde Vakum Emdirme Tekniği. C Özalp (Ed.), *Mühendislikte Araştırma ve Değerlendirmeler II* içinde (ss.95-118). Gece Kitaplığı.

Jia, S., Shen, H., Wang, D., Liu, S., Ding, Y., &, Zhou, X. (2024). Novel NaCl reduction technologies for dry-cured meat products and their mechanisms: A comprehensive review. *Food Chemistry*, *431*, 137142. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137142

Jimenez Lugo, R.J., Agustinelli, S.P., Tomac, A., Czerner, M. (2024). Exploring solution composition and vacuum pulse effects in the osmotic processing of sole (*Paralichthys* sp.) fillets. *Food and Bioproducts Processing*, *148,* 456-463. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.10.018

Kamjijam, B., Suwannaporn, P., Bednarz, H., Jom, K. N., Niehaus, K. (2021). Elevation of gamma-aminobutyric acid (GABA) and essential amino acids in vacuum impregnation mediated germinated rice traced by MALDI imaging. *Food Chemistry*, *365,* 130399. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130399

Kara, O. O. (2024). Fonksiyonel gıda üretiminde yeni yaklaşımlar. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 29*(3), 1064-1081. https://doi.org/10.53433/yyufbed.1528392

Klont, R. E., Brocks, L., Eikelenboom, G. (1998). Muscle fibre type and meat quality. *Meat Science*, *49,* S219-S229. https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)90050-X

Leal-Ramos, M.Y., Alarcón-Rojo, A.D., Gutiérrez-Méndez, N., Mújica-Paz, H., Rodríguez-Almeida, F., &, Quintero-Ramos, A. (2018). Improving cull cow meat quality using vacuum impregnation. *Foods*, *7(*5), 74-86. https://doi.org/10.3390/foods7050074

Li, Y. J., Chiu, H. H., Cheng, S. L., Huang, M. L., Liu, C. L., & ,Yang, C. M. (2025). A practical approach to developing textural softening of shiitake mushrooms as elderly-friendly food using commercial enzymes combined with vacuum impregnation and sterilization. *Journal of Food Science and Technology*, 1-9. https://doi.org/10.1007/s13197-025-06487-6

Li, J., Dadmohammadi, Y., Li, P., Madarshahian, S., Abbaspourrad, A. (2022). Generation of garlic flavor after

frying by infusing alliin into potato strips using pulsed electric field and assisted infusion methods. *Food chemistry*, *396,* 133643. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133643

Liu, Y., Li, M., Jin, Z., Luo, J., Ye, B. & Ruan, J. (2022). Vacuum impregnation process optimization for tilapia with biopreservatives at ice temperature. *Foods*, *11(*16), 2458-2475. https://doi.org/10.3390/foods11162458

Ma, J., Shi, J., Lv, R., Jiang, X., Jiang, Q., Wang, D., ... & Shi, W. (2025). The mechanism of quality changes in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) during vacuum-assisted salting brining with physicochemical and microstructural view. *Foods*, *14*(4), 657-673. https://doi.org/10.3390/foods14040657

Medeiros, R.A.B., da Silva Júnior, E.V., Barros, Z.M.P., da Silva, J.H.F., Brandão, S.C.R., &, Azoubel, P.M. (2022). Convective drying of mango enriched with phenolic compounds from grape residue flour under different impregnation methods. *Food Research International*, *158,* 111539. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111539

Mierzwa, D., Szadzińska, J., Gapiński, B., Radziejewska-Kubzdela, E. & Biegańska-Marecik, R. (2022a). Assessment of ultrasound-assisted vacuum impregnation as a method for modifying cranberries' quality. *Ultrasonics Sonochemistry, 89*, 106117. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106117

Mierzwa, D., Szadzińska, J., Radziejewska-Kubzdela, E., Biegańska-Marecik, R., Kidoń, M. & Gapiński, B. (2022b). Effectiveness of cranberry (*Vaccinium macrocarpon*, cv. Pilgrim) vacuum impregnation: The effect of sample pretreatment, pressure, and processing time. *Food and Bioproducts Processing, 134*, 223-234. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.06.001

Mierzwa, D., Szadzińska, J., Radziejewska-Kubzdela, E. & Lenartowicz, T. (2023). Effect of ultrasound on mass transfer during vacuum impregnation of low-porous food materials on the example of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, *188*, 109375. https://doi.org/10.1016/j.cep.2023.109375

Moreno, J., Echeverria, J., Silva, A., Escudero, A., Petzold, G., Mella, K., &, Escudero, C. (2017). Apple snack enriched with L-arginine using vacuum impregnation/ohmic heating technology. *Food Science and Technology International, 23(*5), 448-456. https://doi.org/10.1177/1082013217701354

Moreno, J., Sáez-Trautmann, G., Petzold, G., Simpson, R., Nuñez, H., Pavez-Guajardo, C., &, Seraglio, S. K. T. (2025). Bioactive component behavior of cryoconcentrated beet juice after enrichment of osmodehydrated apple slices assisted with ohmic heating. *Journal of Food Science and Technology*, 1-11. https://doi.org/10.1007/s13197-025-06309-9

Naef, E.F., Aviles, M.V., Borgo, M.A., Abalos, R.A., Lound, L.H., &, Olivera, D.F. (2025). Sous-vide cooking after vacuum-impregnation with lemon juice: Effects on the meat of a freshwater fish. *Journal of Culinary Science & Technology*, 1-22. https://doi.org/10.1080/15428052.2025.2455106

Nian, L., Cao, A., Cai, L., Ji, H., Liu, S. (2019). Effect of vacuum impregnation of red sea bream (Pagrosomus major) with herring AFP combined with CS@ Fe3O4 nanoparticles during freeze-thaw cycles. *Food Chemistry, 291*, 139-148. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.017

Nowacka, M., Kowalska, H., Tylewicz, U., Ciurzyńska, A., Skarżyńska, A., Trusińska, M., &, Galus, S. (2025). Emerging technologies in dried fruit snacks: nutritional enrichment and sustainable production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *24*(4), e70225. https://doi.org/10.1111/1541-4337.70225

Panayampadan, A.S., Alam, M.S., Aslam, R., Kaur, J. (2022). Vacuum impregnation process and its potential in modifying sensory, physicochemical and nutritive characteristics of food products. *Food Engineering Reviews*, *14*(2), 229-256. https://doi.org/10.1007/s12393-022-09312-4

Patil, U., Palamae, S., Zhang, B., Hong, H., Ma, L. & Benjakul, S. (2024). Tenderization of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) meat pretreated by pulsed electric field and Asian sea bass trypsin using vacuum impregnation. *Food Bioscience, 61*, 104822. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104822

Pizarro-Oteíza, S., Giovagnoli-Vicuña, C., Briones-Labarca, V., Salazar, F. (2023). Effect of optimized osmotic vacuum impregnation on drying quality properties of red abalone (*Haliotis rufescens*). *Journal of Food Measurement and Characterization*, *17*(5), 4520-4529. https://doi.org/10.1007/s11694-023-01987-5

Ramírez, N., Vega-Castro, O., Simpson, R., Ramirez, C., Nuñez, H. (2021). Effect of pulsed vacuum and laser microperforations on the potential acceleration of chicken meat marination.

Journal of Food Process Engineering, *44*(3), e13627. https://doi.org/10.1111/jfpe.13627

Saleena, P., Jayashree, E. & Anees, K. (2024). A comprehensive review on vacuum impregnation: Mechanism, applications and prospects. *Food and Bioprocess Technology*, *17*(6), 1434-1447. https://doi.org/10.1007/s11947-023-03185-z

Sani, M. A., Velayati, N., Yazdi, N. B., Khezerlou, A. & Jafari, S. M. (2025). Electron beam irradiation: a non-thermal technology for food safety and quality control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *24*(3), e70205. https://doi.org/10.1111/1541-4337.70205

Schmidt, C.F., Carciofi, B.A.M., Laurindo, J.B. (2008). Effect of vacuum impregnation on mass transfer during the salting process of chicken breast cuts. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, *28*(2), 366-372. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.12.005

Schulze, B., Peth, S., Hubbermann, E.M. & Schwarz, K. (2012). Fortification of apple parenchyma with quercetin derivatives using vacuum impregnation in combination with X-ray analysis of pore structures. *Journal of Food Engineering*, *109*(3), 380-387. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.11.015

Serio, A., Chaves-López, C., Rossi, C., Pittia, P., Rosa, M.D. & Paparella, A. (2017). Salting by vacuum brine impregnation in nitrite-free lonza: Effect on Enterobacteriaceae. *Italian Journal of Food Safety*, *6*(1), 23-27. https://doi.org/10.4081/ijfs.2017.6178

Sharefiabadi, E. & Serdaroğlu, M. (2023). Application of vacuum impregnation in muscle foods. *Food Science and Applied Biotechnology*, *6*(2), 200-214. https://doi.org/10.4081/ijfs.2017.6178

Sharefiabadi, E., Kavuşan, H.S. & Serdaroğlu, M. (2025). Innovative coating of turkey breast with nanoemulsion solution containing chia mucilage and sage essential oil by using vacuum impregnation. *British Poultry Science*, *66(*3), 343-357. https://doi.org/10.1080/00071668.2024.2432929

Shen, S. K., Chen, Y. W., Dong, X. P., Liu, F. J., Cai, W. Q., Wei, J. L., ... & Lin, M. M. (2020). The effect of different salt concentration and time combinations on physicochemical properties and microstructure of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) fillets under vacuum impregnation. *Journal of Food Processing and Preservation*, *44(*12), e14967. https://doi.org/10.1111/jfpp.14967

Shi, P., Xie, Y., Mei, J., & Xie, J. (2025). Effects of microemulsions of Ocimum basilicum essential oil on the cooking quality of snakehead (Channa argus) under different impregnation methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 105(4), 2722-2730. https://doi.org/10.1002/jsfa.14020

Shiekh, K.A., Benjakul, S., Qi, H., Zhang, B. & Deng, S. (2021). Combined hurdle effects of pulsed electric field and vacuum impregnation of Chamuang leaf extract on quality and shelf-life of Pacific white shrimp subjected to high voltage cold atmospheric plasma. Food Packaging and Shelf Life, 28, 100660. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100660

Singh, A., Senarat, S., Mittal, A., Bahem, N., Benjakul, S., & Prashanthkumar, M. C. (2025). Impact of pulsed electric field assisted vacuum impregnation of chitooligosaccharide-epigallocatechin gallate conjugate and hydrocolloids on quality and shelf-life of Asian hard clam. Food Chemistry: X, 103209. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103209

Tappi, S., Velickova, E., Mannozzi, C., Tylewicz, U., Laghi, L. & Rocculi, P. (2022). Multi-analytical approach to study fresh-cut apples vacuum impregnated with different solutions. Foods, *11*(2), 221-229. https://doi.org/10.3390/foods13132136

Tiwari, P., Thakur, M., Joshi, A., Raigond, P. & Arora, B. (2022). Development of iron fortified potato fries through vacuum assisted processing strategies. Journal of Food Science and Technology, *59*(12), 4644-4652. https://doi.org/10.1007/s13197-022-05543-9

Tomac, A., Mallo, S. R., Perez, S., Loredo, A.B.G. & Yeannes, M. I. (2020). Vacuum impregnation in Merluccius hubbsi hake fillets brining. Effect on mass transfer kinetics, texture and colour. LWT, 119, 108892. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108892

Tong, H., Moreira, R.G. & Castell-Perez, M.E. (2018). Effect of vacuum impregnation on quality of fresh and electron-beam irradiated highbush blueberries (Vaccinium corymbosum L.) under refrigerated storage. Journal of Food Processing and Preservation, *42(*9), e13680. https://doi.org/10.1111/jfpp.13680

Vinod, B.R., Asrey, R., Sethi, S., Menaka, M., Meena, N.K. & Shivaswamy, G. (2024). Recent advances in vacuum impregnation of fruits and vegetables processing: A concise review. Heliyon, *10*(7), e28023. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28023

Wahid, A., Giri, S.K., Kate, A., Tripathi, M.K. & Lalita. (2024). Development and evaluation of a vacuum impregnation system for enhancement of biochemical properties of food materials. Journal of Food Science and Technology, *61*(8), 1470-1480. https://doi.org/10.1007/s13197-023-05913-x

Wahid, A., Giri, S. K., Kate, A., Lalita, Sakare, P., & Singh, J. (2025). Enhancing shelf-life and nutritional value of broccoli florets through vacuum impregnation with calcium chloride and ascorbic acid. Journal of the Science of Food and Agriculture, *105*(4), 2309-2319. https://doi.org/10.1002/jsfa.14001

Wang, Z., Xu, W., Kang, N., Shen, Q. & Zhang, D. (2016). Microstructural, protein denaturation and water holding properties of lamb under pulse vacuum brining. Meat Science, 113, 132-138. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.11.015

Yurttas, Z. S., Moreira, R. G., Castell-Perez, E. (2014). Combined vacuum impregnation and electron-beam irradiation treatment to extend the storage life of sliced white button mushrooms (Agaricus bisporus). Journal of Food Science, *79*(1), E39-E46. https://doi.org/10.1111/1750-3841.12308

Zhang, Y., Dong, Y. & Dai, Z. (2021). Antioxidant and cryoprotective effects of bone hydrolysates from bighead carp (Aristichthys nobilis) in freeze-thawed fish fillets. Foods, *10*(6), 1409-1423. https://doi.org/10.3390/foods10061409

Zhang, Y., Wang, R., Wen, Q. H., Rahaman, A., Zeng, X. A. (2022). Effects of pulsed electric field pretreatment on mass transfer and quality of beef during marination process. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 80, 103061. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103061

Zhang, C., Lyu, X., Arshad, R. N., Aadil, R. M., Tong, Y., & Yang, R. (2023). Pulsed electric field as a promising technology for solid foods processing: A review. Food Chemistry, 403, 134367. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134367

Zhao, X., Wu, J., Chen, L., Yang, H. (2019). Effect of vacuum impregnated fish gelatin and grape seed extract on metabolite profiles of tilapia (Oreochromis niloticus) fillets during storage. Food Chemistry, 293, 418-428. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.001

Xue, S., Gao, H., Zhang, H., Dai, H., Lei, S. & Wang, L. (2023). Characteristics of ox bone derived natural porous hydroxyapatite and its application in composite phase change materials. Inorganic Chemistry Communications, 156, 111251. https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111251

Nasıl Atıf Yapılır?:
Erkoç HN, Aykın Dinçer E, Dinçer C. (2026) Vakumlu emdirim tekniği ve et ürünlerinde kullanımı. GIDA (2026) 51 (3) 596-614 doi: 10.15237/gida.GD26013

Cite this article as:
Erkoç HN, Aykın Dinçer E, Dinçer C. (2026) Vacuum impregnation technique and its use in meat products. GIDA (2026) 51 (3) 596-614 doi: 10.15237/gida.GD26013