



Derleme Makale

**Ultrases Teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris* İnaktivasyonu
Üzerindeki Etkisine Yönelik Bir Derleme**

Berfin Elmas DEMİRALP^{1*}, Asiye AKYILDIZ²

ÖZ

Alicyclobacillus acidoterrestris sporlu, asidofilik ve yüksek ısı dirence sahip bir bakteridir. Nonpatojen olmasına karşın meyve suyu endüstrisi açısından hedef mikroorganizma kabul edilir. Kalite parametrelerinde istenmeyen etkilere sahiptir ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. *A.acidoterrestris* inaktivasyonunu sağlamak için kullanılan termal işlemler ise üründe istenmeyen etkilere neden olabilmektedir. Gıda güvenliğinde mikrobiyal inaktivasyonu sağlamak için kullanılan termal işlemlerin olumsuz etkilerine karşın ultrases gibi termal olmayan işlemler besin değerlerine daha az zarar verir ve çevre dostu teknolojilerdir. Ultrases yüksek frekanslı ses dalgaları kullanılarak *A.acidoterrestris* suşlarının inaktivasyonunu sağlayabilmektedir. Ayrıca ultrasesin, engeller teknolojisi yöntemi ile fiziksel veya kimyasal engeller ile birleştirilmesiyle sinerjistik etki sağlanabilir. Bu derlemede, ultrases teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris*'in inaktivasyon üzerindeki güncel çalışmalara değinilmektedir.

Anahtar kelimeler: Ultrases, mikrobiyal inaktivasyon, gıda güvenliği

**A Review on the Effect of Ultrasonic Technology on the Inactivation of
*Alicyclobacillus acidoterrestris***

ABSTRACT

Alicyclobacillus acidoterrestris is a spore-bearing, acidophilic bacterium with high thermal resistance. Although it is nonpathogenic, it is considered a target microorganism in the fruit juice industry. It has undesirable effects on quality parameters and causes economic losses. Thermal processes used to inactivate *A.acidoterrestris* can cause undesirable effects on the product. Despite the negative effects of thermal processes used to ensure microbial inactivation in food safety, non-thermal processes such as ultrasound are less damaging to nutritional values and are environmentally friendly technologies. Ultrasound can inactivate *A.acidoterrestris* strains using high frequency sound waves. In addition, a synergistic effect can be achieved by combining ultrasound with physical or chemical barriers using hurdle technology. This review discusses current studies on the inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* using ultrasonic technology.

Keywords: Ultrasound, microbial inactivation, food safety

ORCID ID (Yazar sırasına göre)

0000-0001-6768-4353, 0000-0001-5584-0849

Yayın Kuruluna Geliş Tarihi: 10.03.2025

Kabul Tarihi:29.12.2025

¹Hakkari Üniversitesi Çölemerik Meslek Yüksekokulu, Hakkari

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Adana

*E-posta: berfinelmas@hakkari.edu.tr

Ultrases Teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris* İnaktivasyonu Üzerindeki Etkisine Yönelik Bir Derleme

Giriş

Alicyclobacillus acidoterrestris termofilik, asidofilik, nonpatojen, spor oluşturan bir bakteridir. Ayrıca sporları termal işlemlere dayanabilir ve guayacol veya halofenoller üreterek duyuşal kusurlara neden olabilir. Gıda güvenliğini sağlamak adına uygulanan termal işlemler *A. acidoterrestris* sporlarını inaktive etmediği gibi, ısı şokuna neden olarak sporların vejetatif forma geçmesine de neden olabilmektedir. Özellikle meyve suyu endüstrisi için kalite kontrol alanında hedef mikroorganizma olarak kabul edilmektedir (Chang ve Kang, 2008; Pornpukdeewattana, Jindaprasert ve Massa, 2019).

Mikroorganizmaların inaktivasyonu için termal işlemlere alternatif teknolojiler araştırılmaktadır. Termal işlemlerin sıklıkla meyve sularının besinsel, duyuşal ve antioksidan özelliklerini azalttığı veya bozduğu ve dolayısıyla minimum düzeyde işlenmiş meyve sularına olan talebi artırdığı da bildirilmektedir. Gıda ürünlerinde mikroorganizmaların inaktivasyonu için geleneksel termal pastörizasyon ve sterilizasyon yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu termal yöntemler, işlenmiş gıdaların duyuşal niteliklerini ve besin değerlerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Lee ve ark., 2009; Danyluk ve ark., 2011). Son yıllarda, gıda endüstrisinde geleneksel termal işleme alternatif olarak ortaya çıkan çeşitli termal olmayan teknolojiler araştırılmaktadır. Termal işlemlerle karşılaştırıldığında, termal olmayan yöntemler tatların, renklerin ve besin bileşimlerinin tutulmasını artırır. Bu işlemler, çoğunlukla, daha az enerji yoğunluktadır ve bu nedenle, geleneksel ısıl işleminden daha uygun maliyetli ve çevre dostudur (Piyasena ve ark., 2003). Gıda ürünlerinde mikroorganizmaları etkisiz hale getirmek için yoğunlaşılın bu yöntemler vurgulu elektriksel alan, vurgulu ışık, yüksek basınç uygulaması, mikrofiltrasyon, salınımlı

manyetik alan, ultraviöle ve ultrases gibi yöntemlerdir. Bu derlemede ultrases teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris* inaktivasyonu üzerindeki etkisine dair veriler sunulacaktır.

Alicyclobacillus cinsi

Alicyclobacillus cinsi ilk kez 1992 yılında tanınmış olmasına karşın (Wisotzkey ve ark., 1992), 1967 yılında Japonya'nın Tokohu bölgesinde su sıcaklıklarının 75-80 °C'ye ulaşabildiği sıcak, asit (pH 2-3) kaynaklardan izole edilen asidofilik, termofilik spor oluşturan bakteriler ilk kez rapor edilmiştir. *Bacillus stearothermophilus* ve *Bacillus coagulans* gibi diğer asido-termofillerle karşılaştırıldıklarında, ilkin benzemedikleri, ancak muhtemelen ikincisiyle ilişkili oldukları kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, izolatlar *B. coagulans*'tan daha asidofilik ve daha aerobiktir ve 37 °C'de değil 55 °C'de büyüme yeteneğine sahip olduklarından, *B. coagulans* ile yakından ilişkili 'zorunlu termofiller' olarak sınıflandırılmışlardır (Uchino & Doi, 1967).

Almanya'da 1980'li yıllarda, elma suyundan asidofilik bir *Bacillus* suşu izole edilmiştir. Pastörizasyon ile inaktive olmadığı ve pH 2.5 ile 5.5 arasında gelişebildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca hücrezarı lipitlerinin analizinde ω - sikloheksan yağ asitleri ve hopanoidler bulunduğu görülmüştür. Bu mikroorganizma ile *B. acidocaldarius* arasında bir ilişki olduğu öne sürülmüştür. Bu bulgulara dayanarak ≥ 26 °C sıcaklıklarda depolanan bazı meyve sularının bu organizma tarafından bozulabileceğine dikkat çekilmiştir (Cerny ve ark., 1984). Kümeleme analizi, izolatların *B. acidocaldarius*'tan ayrı bir küme oluşturduğunu göstermiştir. Taksonomik araştırmaların ardından, Hippchen ve ark. (1981) ve Cerny ve ark. (1984) izolatlarının *B. acidocaldarius*'tan önemli ölçüde farklı olduğu bulunmuş ve *Bacillus acidoterrestris* sp. nov. olarak yeni bir tür önerilmiştir (Deinhard ve

Ultrases Teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris* İnaktivasyonu Üzerindeki Etkisine Yönelik Bir Derleme

ark., 1987). Daha sonrasında 16S rRNA gen sekanslama analizi ile yapılan ileri düzey taksonomik çalışmalar neticesinde *B. acidocaldarius* ve *B. acidoterrestris* dizileri çok benzer (98.8%) iken, *Bacillus cyclheptanicus* dizilerinin diğer iki türe daha az benzer (%93.2-92.7) olduğu keşfedilmiştir. Yine bu üç türün diğer *Bacillus* türleriyle spesifik olarak ilişkili ancak belirgin şekilde farklı oldukları sonuçlarına varılmıştır. *Bacillus subtilis* dizileri ile %84.3-85.3 benzerlik bulunurken *B. stearothermophilus* dizileri ile %86.2-86.8 benzerlik bulunmuştur. Bu çalışmalar sonucunda da *B. acidocaldarius*, *B. acidoterrestris* ve *Bacillus cyclheptanicus* türlerinin *Bacillaceae* ailesinde yeni bir cins olan *Alicyclobacillus* gen.nov. altında yeniden sınıflandırılması önerilmiştir (Wisotzkey ve ark., 1992).

Alicyclobacillus cinsi, çubuk şeklinde termofilik-asidofilik heterotrofik endospor oluşturma özelliğine sahiptir. *A. acidocaldarius* ve *A. acidoterrestris* türlerinin hücre zarında ω-sikloheksan yağ asitleri bulunurken, *A. cyclheptanicus* türünün hücre zarında ω-sikloheptan yağ asitleri bulunur. Şunu da belirtmek gerekir ki bu yağ asitleri sadece *Alicyclobacillus* cinsine özgü değildir (Walker ve Philips, 2008). Hücre membranında ω-sikloheksan ve ω-sikloheptan yağ asitleri bulunmayanlar ise *Alicyclobacillus pomorum*, *Alicyclobacillus macrosporangiidus* ve *Alicyclobacillus contaminans* türleridir (Goto ve ark., 2003).

Alicyclobacillus cinsinin yayımlanan 29 alt türü Çizelge 1’de verilmiştir (<https://lpsn.dsmz.de/genus/alicyclobacillus>, Erişim tarihi: 2025).

Çizelge 1. *Alicyclobacillus* türleri

<i>Alicyclobacillus</i> spp.			
Tür ismi	Referans	Tür ismi	Referans
<i>Alicyclobacillus acidocaldarius</i>	Wisotzkey ve ark., 1992	<i>Alicyclobacillus macrosporangiidus</i>	Goto ve ark., 2007
<i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i>	Wisotzkey ve ark., 1992	<i>Alicyclobacillus fastidiosus</i>	Goto ve ark., 2007
<i>Alicyclobacillus cycloheptanicus</i>	Wisotzkey ve ark., 1992	<i>Alicyclobacillus ferrooxydans</i>	Jiang ve ark., 2008
<i>Alicyclobacillus hesperidum</i>	Albuquerque ve ark., 2000	<i>Alicyclobacillus aeris</i>	Guo ve ark., 2009
<i>Alicyclobacillus acidiphilus</i>	Matsubara ve ark., 2002	<i>Alicyclobacillus cellulosilyticus</i>	Kusube ve ark., 2014
<i>Alicyclobacillus herbarius</i>	Goto ve ark., 2002	<i>Alicyclobacillus fodiniaquatilis</i>	Zhang ve ark., 2015
<i>Alicyclobacillus sendaiensis</i>	Tsuruoka ve ark., 2003	<i>Alicyclobacillus dauci</i>	Nakano ve ark., 2015
<i>Alicyclobacillus pomorum</i>	Goto ve ark., 2003	<i>Alicyclobacillus tengchongensis</i>	Kim ve ark., 2016
<i>Alicyclobacillus vulcanalis</i>	Simbahan ve ark., 2004	<i>Alicyclobacillus montanus</i>	López ve ark., 2018
<i>Alicyclobacillus disulfidooxidans</i>	Karavaiko ve ark., 2005	<i>Alicyclobacillus fructus</i>	Roth ve ark., 2021
<i>Alicyclobacillus tolerans</i>	Karavaiko ve ark., 2005	<i>Alicyclobacillus mali</i>	Roth ve ark., 2021
<i>Alicyclobacillus contaminans</i>	Goto ve ark., 2007	<i>Alicyclobacillus suci</i>	Roth ve ark., 2021
<i>Alicyclobacillus shizuokensis</i>	Goto ve ark., 2007	<i>Alicyclobacillus curvatus</i>	Jiang ve ark., 2022
<i>Alicyclobacillus kakegawensis</i>	Goto ve ark., 2007	<i>Alicyclobacillus mengziensis</i>	Jiang ve ark., 2022
<i>Alicyclobacillus sacchari</i>	Goto ve ark., 2007		

Ultrases Teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris* İnaktivasyonu Üzerindeki Etkisine Yönelik Bir Derleme

Alicyclobacillus acidoterrestris

Alicyclobacillus spp. ait en önemli ve baskın türü *Alicyclobacillus acidoterrestris* 'dir (Sourri ve ark., 2022). *Alicyclobacillus acidoterrestris*, termo-asidofilik, aerobik, Gram pozitif, çubuk şeklinde, spor oluşturan bir bakteri türüdür. Hücre membranı bileşiminde, ω -sikloheksan yağ asitleri bulunmakta olup, bu yağ asitlerinin membran kararlılığını koruduğu, bakteriye düşük pH'ya ve yüksek sıcaklıklara dirençlilik özelliği kazandırdığı kabul edilmektedir. Halkalı yağ asitleri, membranda birbirine yakın şekilde bir araya geldiğinden, yapıya kararlılık sağlamaktadır (Pontius ve ark., 1998; Chang ve Kang, 2004). Çubuk şeklindeki hücreler 2.9-4.3 μ m uzunluğunda ve 0.9-1.0 μ m genişliğinde, oval şekilli sporlar ise 1.5-1.8 μ m uzunluğunda ve 0.9-1.0 μ m genişliğindedir (Deinhard ve ark., 1987).

Asidofilik termofilik bakteriler (ATB) asidik ortamlarda iyi gelişirler, 2.5 pH gibi düşük pH seviyelerinde hayatta kalabildikleri gözlemlenmiştir (Cerny ve ark., 1984). *A. acidoterrestris* ise 2.2-5.8 pH aralığında ve 23-55°C arasındaki sıcaklıklarda gelişebilir (Baumgart, 1999). Ayrıca sporları ısıya karşı oldukça dayanıklıdır ve ısıl işlem ile bakteri suşu koşullarına bağlı olarak $D_{90^\circ\text{C}}$ değerinin 5.95- 23 dakika arasında ve $D_{95^\circ\text{C}}$ değerinin 0.06-8.55 dakika arasında değiştiği bildirilmiştir (Komitopoulou ve ark., 1999; Maldonado ve ark., 2007).

Plate Count Agar (PCA) gibi nötr pH'ya sahip besiyerlerinde gelişemez. Ayrıca *Alicyclobacillus* türleri PCA'da kontrol edilebilir. PCA'da asit değeri gelişime uygun olmadığı için doğrulamaya yardımcı olabilir. Sülfürik asit gibi asitlerle asitliği ayarlanmış *Bacillus acidoterrestris* agar (BAT), Portakal serum agar (OSA) vb. besiyerlerinde ise yuvarlak, belirgin, yarı saydam, kolay tanınabilir, krem renkli koloniler oluşur (Jensen, 1999). Bunun yanı sıra *A.*

acidoterrestris türleri herhangi bir toksin üretmezler.

Bir çalışmada, 10^6 kob/mL düzeyinde *A. acidoterrestris* sporları kobaylara enjekte edilmiştir. Ayrıca *A. acidoterrestris* sporları içeren meyve suları ile beslenmişlerdir. İnceleme sonucunda herhangi bir hastalık ya da ölüm vakası gözlemlenmemiştir. Deneyde kullanılan düzeylerde *A. acidoterrestris*'in patojen bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır (Walls and Chuyate, 2000). Bu nedenle insanlarda kontamine meyve suyu tüketimi sonucu herhangi bir hastalık bildirimi yapılmamıştır.

Patojenik olmamasına rağmen *A. acidoterrestris*'in yüksek sıcaklık ve asit direnci, asidik meyve suyunda gelişme ve çoğalma yeteneği sayesinde ticari olarak uygulanan pastörizasyon sırasında hayatta kalmaktadır (Zhao ve ark., 2021). Sporların pastörizasyondan sonra hayatta kalması ve uygun koşullar altında çimlenmesi, dünya çapında meyve suyu endüstrisi için büyük bir endişe haline gelmektedir. *Alicyclobacillus*'un inaktivasyonunu hedefleyen kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi de büyük önem taşıırken, erken teşhis sektörteki ekonomik kayıpları azaltabilecek büyük bir zorunluluktur (Sourri ve ark., 2022). *A. acidoterrestris* topraktan izole edilmiştir ve toprak kökenlidir. En çok elma ve portakal sularında izole edilmişlerdir (Jensen, 1999).

Alicyclobacillus türleri arasında özellikle *A. acidoterrestris*'in meyve suyu endüstrisi açısından önemi büyüktür. Nonpatojen olmasına karşın meyve sularında dumansı koku ve dezenfektan benzeri tad ve koku oluşumundan sorumlu guaiakol, 2,6-diklorfenol ve 2,6-dibromfenol gibi metabolitler üretir. Bu da işletmelerde kalite parametreleri açısından zorluk çıkarmaktadır. Elma sularında çok hafif bulanıklık oluşturmalarının yanında meyve sularında önemli miktarlarda gaz veya asit

Ultrases Teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris* İnaktivasyonu Üzerindeki Etkisine Yönelik Bir Derleme

oluşumu gözlemlenmemiştir. *A. acidoterrestris* oda sıcaklığında (~20–25 °C) iyi gelişemez ve inokülasyon yapılan elma suyunda guaiakolün 21 °C'ye kıyasla 37 °C'de daha hızlı tespit edildiği gözlemlenmiştir (Orr ve ark., 2000; Bahçeci, 2007).

Walker ve Philips (2005) elma suyunda depolama sırasında tepe boşluğu varlığı, depolama sıcaklığı ve çalkalamanın *A. acidoterrestris* gelişiminde önemli rolü olduğu belirtmiştir. 35°C ve üzeri sıcaklıklarda tepe boşluğu daha fazla bırakılan örneklerde tepe boşluğu bırakılmayan veya az bırakılan örneklerle göre daha fazla gelişim gözlemlenmiştir. Böylece *A. acidoterrestris* gelişiminde oksijen varlığının önemine dikkat çekilmiştir. Aynı çalışmada çalkalanan örneklerde, çalkalanmayan örneklerle göre daha iyi gelişim olduğu gözlemlenmiştir.

A. acidoterrestris gelişimi sonrası ürünlerde gaz üretiminin olmaması ve meyve suyu kabında bombe/şişme gözlemlenmediği için depolama veya perakende satış sırasında bozulma görülmez. Ancak meyve suyu tüketildikten sonra “dumanlı”, “antiseptik” veya “dezenfektan” olarak tanımlanan tatlar ve olası artan bulanıklık ve tortu oluşumu, meyve suyunun bozulmasına neden olabilir. *A. acidoterrestris* türlerinin düşük pH aralığında gelişebilmeleri ve meyve sularına gıda güvenliği açısından uygulanan termal işlem normlarında spor formda canlı kalabilmeleri sebebiyle son yıllarda meyve suyu endüstrisinde kontrol edilmeye çalışılan önemli konu haline gelmiştir. Bu mikroorganizmanın üretim ortamından tam anlamıyla eliminasyonu oldukça güçtür. Üretim sonrası meydana gelen kalite parametrelerindeki kusurlar üreticilere çok ciddi ekonomik kayıplara mal olmaktadır (Saritaş, 2009).

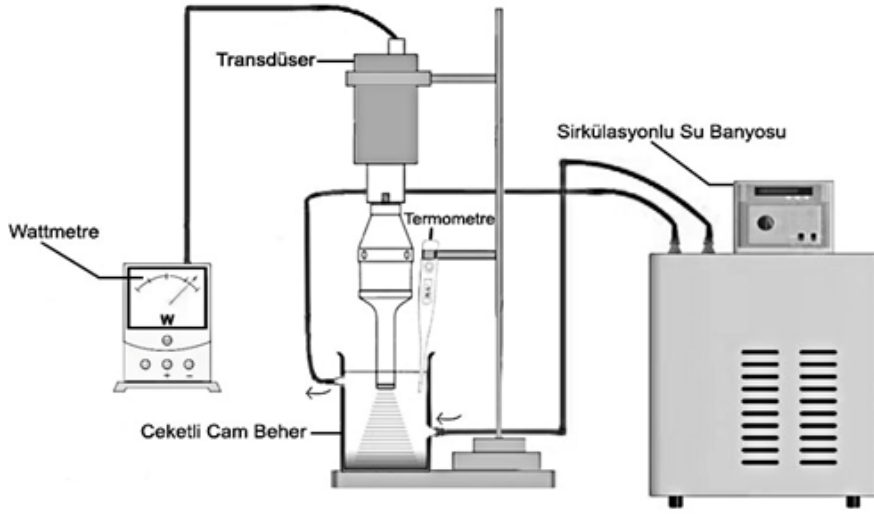
Ultrases

Termal olmayan yöntemlerden biri olan ultrases (ultrasound, ultrason, sonikasyon) hücresel

bozulma ve gıda üretimi için en basit uygulanabilen ve çok yönlü yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, hücre lizisi ve enzim inaktivasyonu ile mikroorganizmalar üzerinde bakterisidal bir etki elde etmek için ses dalgaları tarafından üretilen enerji kullanılmaktadır (Huang ve ark., 2015). Ultrases, en temel tanımıyla, 20 kHz veya daha fazla frekansa sahip basınç dalgalarını ifade eder ve ses dalgalarının saniyede 20 bin veya daha fazla titreşimleri sonucunda üretilen bir enerjidir (Piyasena ve ark., 2003).

Genellikle, ultrason ekipmanları (Şekil 1.) 20 kHz ila 10 MHz arasındaki frekansları kullanır. "Güç ultrasonu" olarak adlandırılan daha düşük frekanslardaki (20 ila 100 kHz) daha yüksek güçlü ultrason, mikroorganizmaları etkisiz hale getirmek için gıda işlemede kullanılan kavitasyona neden olur (Piyasena ve ark., 2003). İşlemin etki mekanizması üretilen sesin, gıda malzemeleri (özellikle sıvı ortamlarda) aracılığıyla yayılması ve “kavitasyon” olarak bilinen karmaşık bir olaya neden olmasıyla açıklanabilir (Anaya-Esparza ve ark., 2017). Sonikasyon işlemi sırasında, bir sonik dalga sıvı bir ortamla karşılaştığında boyuna dalgalar oluşur. Oluşan basınç değişim bölgeleri, ortamda kavitasyonun ve gaz kabarcıklarının oluşmasına neden olur. Bu kabarcıklar, genleşme döngüsü sırasında daha geniş bir yüzey alanına sahiptir, bu da gazın difüzyonunu artırarak kabarcığın genişlemesine neden olur. Sağlanan ultrasonik enerjinin kabarcıktaki buhar fazını tutmak için yeterli olmadığı bir noktaya ulaştığında hızlı yoğuşma meydana gelir. Yoğunlaşan moleküller şiddetli bir şekilde çarpışarak şok dalgaları oluşturur. Bu şok dalgaları, 5500 °C'ye ve 50.000 kPa'ya ulaşan çok yüksek sıcaklık ve basınç bölgeleri oluşturur (Piyasena ve ark., 2003).

Ultrases Teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris* İnaktivasyonu Üzerindeki Etkisine Yönelik Bir Derleme



Şekil 1. Ultrases sisteminin bileşenleri (Orijinal)

Ultrases işlemi sırasında mikroorganizma inaktivasyonunun kontrol edildiği olası mekanizmalar hakkında birçok teori vardır, ancak çoğu kavitasyon olgusunun bundan doğrudan sorumlu olduğu konusunda hemfikirlerdir. Geçici ve kararlı olmak üzere iki tür kavitasyon vardır. Geçici kavitasyon, lokalize yüksek basınç ve yüksek sıcaklıklar gibi mekanik etkileri beraberinde getirirken, kararlı kavitasyon, hücreleri çevreleyen kabarcıkların sürekli içe çökmesi ve patlamasıyla oluşan kayma gerilimi yaratan mikro akış üretir (Feng ve ark., 2008). Bazı yazarlar bu olaya "stokastik süreç" adını vermişlerdir (Chapman, Ferguson, Consalo ve Bliss, 2013).

Gıda teknolojisinde ultrasesin kullanımı ikiye ayrılmaktadır. Bunlar; yüksek frekanslı ve düşük enerjili kontrollü ultrases, diğeri ise; düşük frekanslı ve yüksek enerjili (güçlü ultrases) ultrases teknolojisidir (Zheng ve Sun, 2006). Düşük ultrases uygulama yoğunluğu 1 W/m² den düşük ve frekansı 100 kHz 'den yüksektir. Bu uygulama yüzey temizliği, enzim

inaktivasyonu, kristalizasyon, emülsifikasyon, filtrasyon, dondurma, etlerin tenderizasyonu gibi uygulamalarda ve gıdanın fizikokimyasal özelliklerini belirlemede başarıyla kullanılmaktadır. Yüksek enerjili ultrases ise 1 W/m² den yüksek yoğunlukta ve frekansı 18-100 kHz arasındadır. Bu teknik ise gıda teknolojisinde nispeten yeni ve son zamanlara kadar henüz yeterince araştırma yapılmamış bir uygulamadır. Yüksek ultrases gıda teknolojisinde deaerasyon, oksidasyon/redüksiyon, enzim ve proteinlerin ekstraksiyonu, enzim inaktivasyonu, kristalizasyonda çekirdek oluşumu gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Yüksek güçlü ultrases teknolojisi hücre parçalama, partikül (boyut) küçültme, ve bakteri sporlarının öldürülmesinde etkili olabilmektedir (Thakur ve Nelson, 1997; Murphy ve ark., 2009).

Ultrasesin mikrobiyal inaktivasyon mekanizması

Ultrasonun potansiyel bir mikrobiyal inaktivasyon yöntemi olarak araştırılması

Ultrases Teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris* İnaktivasyonu Üzerindeki Etkisine Yönelik Bir Derleme

1960'lı yıllarda denizaltı karşıtı savaşta kullanılmak üzere sonar cihazı kullanımının araştırması yapılırken, ses dalgalarının balıkları öldürdüğü keşfedilmiştir ve bu mekanizmalar üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır (Earnshaw ve ark., 1995). Ultrases başlığında da değinildiği gibi ultrason işlemi sırasında alternatif sıkıştırma ve genleşme bölgeleri oluşur. Bu basınç değişimi bölgeleri kavitasyonun oluşmasına neden olur ve ortamda gaz kabarcıkları oluşur. Yoğunlaşan moleküllerin oluşturduğu şok dalgaları aracılığıyla çok yüksek sıcaklık ve basınç bölgelerinde meydana gelen patlamalar kaynaklı basınç değişimi oluşur ve bu da ultrasonun sağladığı temel bakterisidal etki mekanizmasını açıklar (Sala ve ark., 1995). Sıcak bölgeler bazı bakterileri öldürebilir, ancak yeterince geniş bir alanı etkilemeyebilir. Bu nedenle Sala ve ark., (1995) gıda alanında tek başına ultrason kullanımının çok verimli olmayacağını belirtmişlerdir. Ayrıca mikroorganizmalar ve özellikle de sporlar çevresel koşullara nispeten dirençlidir. Bir ürünü güvenli hale getirmek için uzun süreli ultrasonikasyon gerekecektir. Fakat işlem ısı (termosonikasyon) veya basınç (manosonikasyon) ile birleştirilip uygulandığında daha verimli olmaktadır. Konudaki öncü çalışmalar Ordonez ve ark. (1984) tarafından yapılmıştır. 5-62 °C arasında değişen sıcaklıklarla birlikte 20 kHz ve 160 W ultrason kullanılarak yaptıkları çalışma sonucunda, ısı ve ultrason kombinasyonunun, uygulama süresi ve enerji tüketimi açısından, her iki işlemin ayrı uygulanmasına göre çok daha verimli olduğu bulunmuştur.

Kavitasyonun ısı ile kombinasyonu (termosonikasyon), bakteriyel ve enzim inaktivasyonu için öldürücü aralığı artıran ısı şoklu hücre yapısı üzerinde önemli bir etki üretmektedir. Hem ısı hem de ses dalgaları aynı anda hareket ettiğinde, mikrobiyal hücre

duvarında yüksek hassasiyet meydana gelmekte ve hücre yapısında hasara neden olmaktadır (Kiang, Bhat, Rosma ve Cheng, 2013; Anaya-Esparza ve ark., 2017). Sıcaklık aralığına göre termosonikasyon, subletal (<45 °C) ve letal (>45 °C) olarak sınıflandırılabilir (Ugarte-Romero ve ark., 2007). Isıl işleme mükemmel bir alternatif olarak kabul edilir (Aadil ve ark., 2015). Ultrason ekipmanının yapılandırmasına göre kesikli (en yaygın) veya sürekli prosesler için uygulanabilir (Anaya-Esparza ve ark., 2017).

Mikroorganizmaların inaktivasyon etkinliği bakteri tipine, ultrasona maruz kalma süresine ve güç seviyelerine, işlenen gıdanın hacmine ve bileşimine ve ayrıca işlem sıcaklığına bağlıdır (USDA, 2000; Piyasena ve ark., 2003; Demirdöven ve Baysal, 2009). Ayrıca güç seviyesi ve uygulama süresi, ultrason uygulamalarında inaktivasyonun ana parametreleridir (Lee ve ark., 2009).

Alicyclobacillus acidoterrestris inaktivasyonunda ultrases kullanımı

Alicyclobacillus acidoterrestris türü meyve suyu endüstrisi için ciddi ekonomik kayıplara neden olabilen sporlara sahiptir. Termal pastörizasyon işleminden etkilenmeyen sporlar aksine bu işlem ile ısıl şoka uğradıkları için daha kolay çimlenerek üründe bozulmaya neden olur. Bu nedenle meyve suyu endüstrisi bu soruna çözüm bulmak için alternatif yöntemlere odaklanmıştır.

Ultrases uygulaması gıda teknolojisinde çok hızlı gelişen yöntemlerden biridir. Meyve sularının işlenmesi için ultrason ve termosonikasyon, termal pastörizasyona başarılı bir alternatif olmuştur. Ayrıca vurgulu ultrasonun mikrobiyal inaktivasyon üzerindeki etkisi hakkında az sayıda çalışma bulunmuştur (Wahia ve ark., 2022).

Ferrario ve ark. (2015) ticari elma suyunda termosonikasyon işlemi (20 kHz; 95.2 µm; 30 dakika; 44 °C) uygulaması ve *Alicyclobacillus*

Ultrases Teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris* İnaktivasyonu Üzerindeki Etkisine Yönelik Bir Derleme

acidoterrestris'te inaktivasyon gözlemlenmemiştir.

Wang ve ark., (2010) elma suyunda *Alicyclobacillus acidophilus* DSM14558^T ve *Alicyclobacillus acidoterrestris* DSM 3922^T ultrasonik inaktivasyon etkinliğini, 1 ila 30 dakikalık uygulama süresi için 200 ila 600 W güç seviyesinde araştırmışlardır. Çalışma sonucunda *A. acidoterrestris* DSM 3922^T, 30 dakika boyunca 600 W'da 4.56 log döngü ile en büyük mikrobiyel azalmaya sahip olduğu bulunurken, ultrasonik işlemlere ise *A. acidophilus* DSM14558^T 'den daha duyarlı olduğu görülmüştür. Ayrıca çalışmada *alisiklobasillerin* elma suyunda tampona göre ultrasonik işlemlere karşı çok daha yüksek bir dirence sahip olduğu görülmüş ve buna göre *alisiklobasillerin* ultrasona direncinin çevrelerine bağlı olarak önemli ölçüde değiştiği gözlemlenmiştir.

Tremarin ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada 85, 90 ve 95 °C sıcaklıklarda termosonikasyon uygulanmış meyve sularındaki *A. acidoterrestris* sporları, 90, 60 ve 20 dakikalık uygulama (35 kHz, 120-480 W) sonrası 4.8, 4.7 ve 5.5 log-döngü (sırasıyla 85, 90 ve 95 °C'de) azalmıştır. Çalışmada, sıcaklık ne kadar yüksek olursa gereken işlem süresinin o kadar düşük olacağı belirtilmiştir.

Çizelge 2'de literatürde farklı matrislerde ve farklı işlem koşullarında uygulanan ultrases teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris* suşları üzerindeki inaktivasyonuna yönelik mevcut çalışmalar verilmiştir.

Ultrases Teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris* İnaktivasyonu Üzerindeki Etkisine Yönelik Bir Derleme

Çizelge 2. Literatürde Ultrasesin *Alicyclobacillus acidoterrestris* inaktivasyonu üzerine yapılan çalışmalar

<i>A. acidoterrestris</i> suşu	Hücre formu	Matris	Ultrasound koşulları	Log azalma/Hücre ölüm oranı	Kaynak
DSM3922^T	Vejetatif	Elma suyu	20-24 kHz; 300 W; 10-60 dak	-30 dak ultrasound için %60 -60 dak ultrasound için %80	Yuan ve ark., 2009
DSM3922^T	Vejetatif	Elma suyu	25 kHz; 200-600 W; 30 dak	-200 W için 3.71 log -600 W için 4.56 log	Wang, Hu ve Wang, 2010
NZRM 4447	Spor	Portakal suyu	24 kHz;33 W; 78°C; 200-600 mPa;15 dak	-200 mPa manotermosonikasyon (78°C) 2.8 log -600 mPa manotermosonikasyon (78°C) 4.4 log	Eveleyn ve Silva, 2016
CCT 4384	Spor	Elma suyu	35 kHz;120-480 W;95°C; 1-30 dak	-Ultrasound için 1 log -Termosonikasyon (95°C) için 5 log	Tremarin, Brandão ve Silva, 2017a
C8 C24	Spor	Tuzlu su çözeltisi	20 kHz;130 W;6-8 dak	Ortalama 1 log	Bevilacqua ve ark., 2021
CCT 4384	Spor	Elma suyu	35 kHz;120-480 W;70-95°C	-60 dak ultrasound için 0,8 log -90 dak/85°C için 4.8 log -60 dak/90°C için 4.7 log -20 dak/95°C için 5.5 log	Tremarin ve ark., 2019
CICC 10374	Vejetatif	Portakal suyu	20/40 kHz;24 dak;64°C	Çift frekanslı termosonikasyon (64°C) için 4 log	Wahia ve ark., 2021
CICC 10374	Spor	Portakal suyu	20/40 kHz;24 dak;64°C	Çift frekanslı termosonikasyon (64°C) için 2 log	Wahia ve ark., 2021
CICC 10374	Vejetatif	YSG Broth	20/40/60 kHz;1000 W;24 dak; 25°C ve 64°C	Çok frekanslı termosonikasyon (64°C) için 5.99 log Çok frekanslı ultrasound (25°C) için 5.74 log	Wahia ve ark., 2022
CICC 10374	Spor	YSG Broth	20/40/60 kHz;1000 W;24 dak; 25°C ve 64°C	Çok frekanslı termosonikasyon (64°C) için 5.90 log Çok frekanslı ultrasound (25°C) için 5.38 log	Wahia ve ark., 2022
DSM3922^T	Spor	Spor süspansiyonu	20 kHz/40 kHz/50 kHz;100 W;40-80°C;30 dak	Çok frekanslı termosonikasyon (60°C) için 1.4 log	Xie ve ark., 2024

Ultrases Teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris* İnaktivasyonu Üzerindeki Etkisine Yönelik Bir Derleme

Sonuç

Gıda güvenliği kapsamında uygulanan ve termal olmayan işlemlerden biri olan ultrases teknolojisi, termal işlemlere alternatif bir yöntem olarak mikroorganizma inaktivasyonunda kullanılmaktadır. Fakat mikroorganizma inaktivasyonunda tek başına kullanımı istenen etkide bulunmamıştır. Ultrasesin, fiziksel veya kimyasal yöntemler ile kombine uygulandığında ise daha etkili mikroorganizma inaktivasyonu sağladığı gözlemlenmiştir. Meyve suyu endüstrisinde büyük ekonomik kayıplara neden olma potansiyeli taşıyan *Alicyclobacillus acidoterrestris*, farklı gıda matrislerinde ve farklı ultrases işlem koşulları altında ultrases teknolojisi kullanılarak inaktive edilebilir. Meyve suyu endüstrisi açısından bakıldığında termal yöntemlere kıyasla besin öğeleri ve biyoaktif bileşenler üzerinde zararlı etkilerinin daha az olması, çevre dostu olması, işlem sırasında güvenilir olması gibi avantajlarının olduğu kabul edilmektedir. İşlemin etkinliği bakterinin tipine, bakterinin bulunduğu çevre koşullarına, işlemin uygulandığı gıda matrisine, işlem sıcaklığına, işlem süresine, ultrases güç seviyesine ve ultrases frekansına bağlıdır. Sonuç olarak ultrases işlemi gıda endüstrisinde gelişme aşamasında ve çevre dostu olan, mikrobiyal inaktivasyonda etkin kullanılma potansiyeline sahip bir yöntemdir. Fakat daha fazla çeşitli işlem koşulları altında yapılan ve endüstriyel ölçekte uygulanabilecek çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynaklar

- Albuquerque, L., Rainey, F.A., Chung, A.P., Sunna, A., Nobre, M.F., Grote, R., Antranikian, G. & da Costa, M.S. (2000). *Alicyclobacillus hesperidum* sp. nov. and a related genomic species from solfataric soils of Sao Miguel in the Azores. *Int J Syst Evol Microbiol.*, 50(2), 451-457.
- Anaya-Esparza, L.M., Velázquez-Estrada, R.M., Roig, A.X., García-Galindo, H.S., Sayago-Ayerdi, S.G. ve Montalvo-González, E. (2017). Thermosonication: An alternative processing for fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science & Technology*, 61, 26-37.
- Bahçeci, K.S. (2008). *Elma suyunda Alicyclobacillus acidoterrestris* tespiti ve termal inaktivasyon parametrelerinin belirlenmesi. (Doktora Tezi). Hacettepe Üniversitesi.
- Baumgart, J. (1999). Media for the detection and enumeration of *Alicyclobacillus acidoterrestris* and *Alicyclobacillus acidocaldarius* in foods. *Handbook of Culture Media for Food Microbiology*, 34, 161-164.
- Bevilacqua, A., Petrucci, L., Speranza, B., Campaniello, D., Ciuffreda, E., Altieri, C., Sinigaglia, M. & Corbo, M. R. (2021). Viability, sublethal injury, and release of cellular components from *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores and cells after the application of physical treatments, natural extracts, or their components. *Frontiers in Nutrition*, 8.
- Cerny, G., Hennlich, W. & Poralla, K. (1984). Spoilage of fruit juice by bacilli: Isolation and characterization of the spoiling organism. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung*, 179, 224-227.
- Chang, S. S., & Kang, D. H. (2004). *Alicyclobacillus* spp. in the Fruit Juice Industry: History, Characteristics, and Current Isolation/Detection Procedures. *Critical Reviews in Microbiology*, 30(2), 55-74.

Ultrases Teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris* İnaktivasyonu Üzerindeki Etkisine Yönelik Bir Derleme

- Chapman, J.S, Ferguson, R., Consalo, C. & Bliss, T. (2013). Bacteriostatic effect of sequential hydrodynamic and ultrasound-induced stress. *J Appl Microbiol.*114(4), 947-55.
- Danyluk, M. D., Friedrich, L.M., Jouquand, C, Goodrich-Schneider, R., Parish, M.E. & Rouseff, R. (2011). Prevalence, concentration, spoilage, and mitigation of *Alicyclobacillus* spp. in tropical and subtropical fruit juice concentrates. *Food Microbiol.* 28, 472–477.
- Deinhard, G., Blanz, P., Poralla, K. & Altan, E. (1987). *Bacillus acidoterrestris* sp. nov., A new thermotolerant acidophile isolated from different soils. *Systematic and Applied Microbiology*, 10, 47–53.
- Demirdöven, A. & Baysal, T. (2009). The use of ultrason and combined technologies in food preservation. *Food Rev Int*, 25, 1-11.
- Ugarte-Romero, E., Feng, H. & Scott, E.M. (2007). Inactivation of *Shigella boydii* 18 IDPH and *Listeria monocytogenes* Scott A with power ultrasound at different acoustic energy densities and temperatures. *Journal of Food Science*, 72, M103-M107.
- Earnshaw, R.G., Appleyard, J. & Hurst, R.M. (1995). Understanding physical inactivation processes: combined preservation opportunities using heat, ultrasound and pressure. *International Journal of Food Microbiology*, 28(2), 197-219.
- Evelyn, E. & Silva, F.V. (2016). High pressure processing pretreatment enhanced the thermosonication inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in orange juice. *Food Control*, 62, 365-372.
- Feng, H., Yang, W. & Hielscher, T. (2008). Power ultrason. *Food Science and Technology International*, 14, 433-436.
- Ferrario, M, Alzamora, S.M. & Guerrero, S. (2015). Study of the inactivation of spoilage microorganisms in apple juice by pulsed light and ultrason. *Food Microbiology*, 46, 635-642.
- Goto, K., Matsubara, H., Mochida, K., Matsumura, T., Hara, Y., Niwa, M. & Yamasato, K. (2002). *Alicyclobacillus herbarius* sp. nov., a novel bacterium containing omega-cycloheptane fatty acids, isolated from herbal tea. *Int J Syst Evol Microbiol* 52, 109-113.
- Goto, K., Mochida, K., Asahara, M., Suzuki, M., Kasai, H. & Yokota, A. (2003). *Alicyclobacillus pomorum* sp. nov., a novel thermo-acidophilic, endospore-forming bacterium that does not possess omega-alicyclic fatty acids, and emended description of the genus *Alicyclobacillus*. *Int J Syst Evol Microbiol*, 53, 1537-1544.
- Goto, K., Mochida, K., Kato, Y., Asahara, M., Fujita, R., An, S.Y., Kasai, H. & Yokota, A. (2007). Proposal of six species of moderately thermophilic, acidophilic, endospore-forming bacteria: *Alicyclobacillus contaminans* sp. nov., *Alicyclobacillus fastidiosus* sp. nov., *Alicyclobacillus kakegawensis* sp. nov., *Alicyclobacillus macrosporangiidus* sp. nov., *Alicyclobacillus sacchari* sp. nov. and *Alicyclobacillus shizuokensis* sp. nov. *Int J Syst Evol Microbiol* , 57, 1276-1285.
- Guo, X., You, X.Y., Liu, L.J., Zhang, J.Y., Liu, S.J. & Jiang, C.Y. (2009). *Alicyclobacillus aeris* sp. nov., a novel ferrous- and sulfur-oxidizing bacterium isolated from a copper mine. *Int J Syst Evol Microbiol*; 59, 2415-2420.
- Aadil, R. M., Zeng, X. A., Zhang, Z. H., Wang, M. S., Han, Z., Jing, H., & Jabbar, S. (2015). Thermosonication: A potential technique that influences the quality of grapefruit juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(5), 1275–1282.
- Earnshaw, R.G., Appleyard, J. & Hurst, R.M. (1995). Understanding physical inactivation processes: combined preservation opportunities using heat, ultrasound and pressure. *International Journal of Food Microbiology*, 28(2), 197-219.

Ultrases Teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris* İnaktivasyonu Üzerindeki Etkisine Yönelik Bir Derleme

- Hippchen, B., Röhl, A. & Poralla, K. (1981). Occurrence in soil of thermophilic *Bacilli* possessing -cyclohexane fatty acids and hopanoids. *Archives in Microbiology*, 129, 53–55.
- <https://lpsn.dsmz.de/genus/alicyclobacillus>
Erişim Tarihi: 12 Ocak 2025
- Huang, X.C., Yuan, Y.H., Guo, C.F., Gekas, V. & Yue, T. (2015). *Alicyclobacillus* in the fruit juice industry: spoilage, detection, and prevention/control. *Food Reviews International*, 31(2).
- Jensen, N. (1999). *Alicyclobacillus* – a new challenge for the food industry. *Food Australia*, 51, 33-36.
- Jiang, Z., Wu, D., Liang, Z.-L., Li, X.-T., Huang, Y., Zhou, N., Liu, Z.-H., Zhang, G.-J., Jia, Y., Yin, H.-Q., Liu, S.-J., & Jiang, C.-Y. (2022). *Alicyclobacillus curvatus* sp. nov. and *Alicyclobacillus mengziensis* sp. nov., two acidophilic bacteria isolated from acid mine drainage. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 72, 5285.
- Jiang, C.-Y., Liu, Y., Liu, Y.-Y., You, X.-Y., Guo, X., & Liu, S.-J. (2008). *Alicyclobacillus ferrooxydans* sp. nov., a ferrous-oxidizing bacterium from solfataric soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 58(12), 2898–2903.
- Karavaiko, G. I., Bogdanova, T. I., Tourova, T. P., Kondrat'eva, T. F., Tsaplina, I. A., Egorova, M. A., Krasil'nikova, E. N., & Zakharchuk, L. M. (2005). Reclassification of “*Sulfobacillus thermosulfidooxidans* subsp. *thermotolerans*” strain K1 as *Alicyclobacillus tolerans* sp. nov. and *Sulfobacillus disulfidooxidans* Dufresne et al. 1996 as *Alicyclobacillus disulfidooxidans* comb. nov., and emended description of the genus *Alicyclobacillus*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55(3), 941–947.
- Kiang, W.S., Bhat, R., Rosma, A. & Cheng, L.H. (2013). Effects of thermosonication on the fate of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella Enteritidis* in mango juice. *Letters in Applied Microbiology*, 56(4), 251-257.
- Kim, M.G., Lee, J.C., Park, D.J., Li, W.J. & Kim, C.J. (2014). *Alicyclobacillus tengchongensis* sp. nov., a thermo-acidophilic bacterium isolated from hot spring soil. *J Microbiol* 52, 884-889.
- Komitopoulou, E., Boziaris, I. S., Davies, E. A., Delves-Broughton, J., & Adams, M. R. (1999). *Alicyclobacillus acidoterrestris* in fruit juices and its control by nisin. *International Journal of Food Science & Technology*, 34(1), 81–85.
- Kusube, M., Sugihara, A., Moriwaki, Y., Ueoka, T., Shimane, Y., & Minegishi, H. (2014). *Alicyclobacillus cellulolyticus* sp. nov., a thermophilic, cellulolytic bacterium isolated from steamed Japanese cedar chips from a lumbermill. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64(7), 2257–2263.
- Lee, H.S. & Castle, W.S. (2001). Seasonal changes of carotenoid pigments and color in Hamlin, Earlygold, and Budd Blood orange juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(2), 877-882.
- López, G., Díaz-Cárdenas, C., Alzate, J. D., Gonzalez, L. N., Shapiro, N., Woyke, T., Kyrpides, N. C., Restrepo, S., & Baena, S. (2018). *Alicyclobacillus montanus* sp. nov., a mixotrophic bacterium isolated from acidic hot springs. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 68(5), 1608–1615.
- Maldonado, M.C., Belfiore, C. & Navarro, A.R. (2007). Temperature, soluble solids and pH effect on *Alicyclobacillus acidoterrestris* viability in lemon juice concentrate. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 35, 141–144.
- Matsubara, H., Goto, K., Matsumura, T., Mochida, K., Iwaki, M., Niwa, M., & Yamasato, K. (2002). *Alicyclobacillus acidiphilus* sp. nov., a novel thermo-

Ultrases Teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris* İnaktivasyonu Üzerindeki Etkisine Yönelik Bir Derleme

- acidophilic, omega-alicyclic fatty acid-containing bacterium isolated from acidic beverages. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52(5), 1681–1685.
- Murphy, R., Beard, B., Macry, J., & Berrang, M. E. (2009). Application of ultrasonic technology for killing *Salmonella* and *Listeria monocytogenes* in fluid systems. In *Institute of Food Technologists Annual Meeting* (Abstract No. 236-01). Anaheim, CA, United States.
- Nakano, C., Takahashi, N., Tanaka, N., & Okada, S. (2015). *Alicyclobacillus dauci* sp. nov., a slightly thermophilic, acidophilic bacterium isolated from a spoiled mixed vegetable and fruit juice product. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 65(3), 716–722.
- Ordoñez, J.A., Sanz, B., Hernandez, P.E. & Lopez-Lorenzo, P. (1984). A note on the effect of combined ultrasonic and heat treatments on the survival of thermotolerant streptococci. *Journal of Applied Bacteriology*, 56(1), 175–177.
- Orr, R.V., Shewfelt, R.L., Huang, C.J., Tefera, S. & Beuchat, L.R. (2000). Detection of guaiacol produced by *Alicyclobacillus acidoterrestris* in apple juice by sensory and chromatographic analyses, and comparison with spore and vegetative cell populations. *Journal of Food Protection*, 63, 1517–1522.
- Piyasena, P., Mohareb, E. & McKellar, R.C. (2003). Inactivation of microbes using ultrasound: a review. *International Journal of Food Microbiology*, 87(3), 207–216.
- Pontius, A.J., Rushing, J.E. & Foegeding, P.M. (1998). Heat resistance of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores as affected by various pH values and organic acids. *Journal of Food Protection*, 61, 41–46.
- Pornpukdeewattana, S., Jindaprasert, A., & Massa, S. (2019). *Alicyclobacillus* spoilage and control - a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(1), 108–122.
- Roth, K., Rana, Y. S., Daeschel, D., Kovac, J., Worobo, R., & Snyder, A. B. (2021). *Alicyclobacillus mali* sp. nov., *Alicyclobacillus suci* sp. nov. and *Alicyclobacillus fructus* sp. nov., thermoacidophilic spore-forming bacteria isolated from fruit beverages. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 71, 5016.
- Sala, F. J., Burgos, J., Condón, S., Lopez, P., & Raso, J. (1995). Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes. In G. W. Gould (Ed.), *New methods of food preservation*. Springer.
- Sarıtaş, A.N. (2009). *Elma suyu üretiminde askorbik asit ve sinamik asit ilavesinin ve farklı pastörizasyon parametrelerinin Alicyclobacillus acidoterrestris inaktivasyonu üzerine etkileri*. (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi.
- Simbahan, J., Drijber, R., & Blum, P. (2004). *Alicyclobacillus vulcanalis* sp. nov., a thermophilic, acidophilic bacterium isolated from Coso Hot Springs, California, USA. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54(5), 1703–1707.
- Sourri, P., Tassou, C.C., Nychas, G.E. & Panagou, E.Z. (2022). Fruit Juice Spoilage by *Alicyclobacillus*: Detection and Control Methods—A Comprehensive Review. *Foods*, 11(5), 747.
- Thakur, B. R. & Nelson, P. E. (1997). Inactivation of Lipxygenase in Whole Soy Flour Suspension by Ultrasonic Cavitation. *Nahrung*, 41(5), 299–301.
- Tremarin, A., Canbaz, E. A. Brandão, T. R. S. & Silva, C. L. M. (2019). Modelling *Alicyclobacillus acidoterrestris* inactivation in apple juice using thermosonication treatments. *LWT*, 102, 159–63.
- Tremarin, A., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2017a). Application of ultraviolet radiation and ultrasound treatments for *Alicyclobacillus*

Ultrases Teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris* İnaktivasyonu Üzerindeki Etkisine Yönelik Bir Derleme

- acidoterrestris* spores inactivation in apple juice. *LWT – Food Science and Technology*, 78, 138–142.
- Tsuruoka, N., Isono, Y., Shida, O., Hemmi, H., Nakayama, T., & Nishino, T. (2003). *Alicyclobacillus sendaiensis* sp. nov., a novel acidophilic, slightly thermophilic species isolated from soil in Sendai, Japan. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53(4), 1081–1084.
- Uchino, F. & Doi, S. (1967). Acidothermophilic bacteria from thermal waters. *Agricultural and Biological Chemistry*, 31, 817–822.
- USDA, (2000). U.S. Food and Drug Administration Report. *Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies: Ultrason*.
- Wahia, H., Zhou, C., Sarpong, F., et al. (2019). Simultaneous optimization of *Alicyclobacillus acidoterrestris* reduction, pectin methylesterase inactivation, and bioactive compounds enhancement affected by thermosonication in orange juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43, e14180.
- Wahia, H., Zhang, L., Zhou, C., Mustapha, A.T., Fakayode, O.A., Amanor-Atiemoh, R., Ma, H. & Dabbour, M. (2022). Pulsed multifrequency thermosonication induced sonoporation in *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores and vegetative cells. *Food Research International*, 156, 111087.
- Wahia, H., Zhou, C., Fakayode, O.A., Amanor-Atiemoh, R., Zhang, L., Mustapha, A.T., Zhang, J., Xu, B., Zhang, R. & Ma, H. (2021). Quality attributes optimization of orange juice subjected to multi-frequency thermosonication: *Alicyclobacillus acidoterrestris* spore inactivation and applied spectroscopy ROS characterization. *Food Chemistry*, 361, 130108.
- Walker, M., & Phillips, C. A. (2005). The effect of intermittent shaking, headspace and temperature on the growth of *Alicyclobacillus acidoterrestris* in stored apple juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 40(5), 557–562.
- Walker, M. & Phillips, C.A. (2008). *Alicyclobacillus acidoterrestris*: an increasing threat to the fruit juice industry? *International Journal of Food Science & Technology*, 43, 250–260.
- Walls, I. & Chuyate, R. (2000). Isolation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* from fruit juices. *Journal of AOAC International*, 83, 1115–1120.
- Wang, J., Hu, X. & Wang, Z. (2010). Kinetics models for the inactivation of *Alicyclobacillus acidiphilus* DSM14558^T and *Alicyclobacillus acidoterrestris* DSM 3922^T in apple juice by ultrason. *International Journal of Food Microbiology*, 139(3), 177–181.
- Wisotzkey, J.D., Jurtshuk, P., Fox, G.E., Deinhard, G. & Poralla, K. (1992). Comparative sequence analyses on the 16S rRNA (rDNA) of *Bacillus acidocaldarius*, *Bacillus acidoterrestris* and *Bacillus cycloheptanicus* and proposal for creation of a new genus, *Alicyclobacillus* gen. nov. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 42, 263–269.
- Xie, Y., Pang, H., Mao, C., Ye, P., Cui, B., Chen, X., Fu, H., Wang, Y. & Wang, Y. (2024). Synergic effect of multifrequency thermosonication and germinant on *Alicyclobacillus acidoterrestris* spore inactivation and underlying mechanisms. *Food Bioscience*, 59, 103960.
- Yuan, Y., Hu, Y., Yue, T., Chen, T. & Lo, Y.M. (2009). Effect of ultrasonic treatments on thermoacidophilic *Alicyclobacillus acidoterrestris* in apple juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33, 370–383.
- Zhang, B., Wu, Y.-F., Song, J.-L., Huang, Z.-S., Wang, B.-J., Liu, S.-J., & Jiang, C.-Y. (2015). *Alicyclobacillus fodiniaquatilis* sp. nov., isolated from acid mine water. *International Journal*

Ultrases Teknolojisinin *Alicyclobacillus acidoterrestris* İnaktivasyonu Üzerindeki Etkisine Yönelik Bir Derleme

- of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 65(12), 4915–4920.
- Zhao, N., Zhang, J., Qi, Y., Xu, J., Wei, X. & Fan, M. (2021). New insights into thermo-acidophilic properties of *Alicyclobacillus acidoterrestris* after acid adaptation. *Food Microbiology*, 94, 103657.
- Zheng, L. & Sun, D-W. (2006). Innovative applications of power ultrasound during food freezing processes—a review. *Trends in Food Science & Technology*, 17, 16–2.