

BİDGE Yayınları

Veteriner Gıda Hijyeni ve Teknolojisi

Editör: Prof. Dr. Hikmet Yeter ÇOĞUN

ISBN: 978-625-372-499-3

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.12.2024

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



İçindekiler

Şarap ve Şarapta Kalite Kriterlerinin İncelenmesi.....	4
Berfin DOĞRUL	4
Bahri PATİR	4
Alternatif Protein Kaynağı Olarak Yenilebilir Böcekler	61
Enes SEZER.....	61
Ali ARSLAN	61
Üzümde Mikoflora ve Mikotoksinler	101
Pelin DEMİR	101
Bahri PATİR	101
Et ve Süt Endüstrisinde Biyofilmler	166
Rabia Mehtap TUNCAY	166
Yakup Can SANCAK	166
Burcu ÖNER	166
Sümeyye TOPRAK ÇETİN.....	166
Mitokondrilerin Önemi ve Mitokondriyal Beslenme.....	192
Seviyenur AKDAL YILMAZ	192
Göknur TERZİ GÜLEL.....	192
Bitkisel ve Hayvansal Gıdalarda Su Ayak İzi.....	246
Tülay ELAL MUŞ	246
Ezgi KURTULMUŞ ²	246

BÖLÜM I

Şarap ve Şarapta Kalite Kriterlerinin İncelenmesi

Berfin DOĞRUL¹
Bahri PATIR²

1. Giriş

1.1. Tanım ve Tarihçe

Türk Standardları Enstitüsü'ne göre şarap; “yalnız taze üzüm veya şırasından fermente yöntemiyle elde edilen alkollü içkidir” biçiminde ifade edilmektedir (TSE, 1976). Türk Gıda Kodeksi Şarap Tebliğ' ine göre de “Parçalanmış veya parçalanmamış yaş üzümün veya üzüm şırasının, kısmen veya tamamen alkol fermentasyonu ile elde edilen, coğrafi işaret ya da köken ismi ile tescili yapılmış ya da yapılmamış ürüne ‘şarap’ denir” (TGK, 2008). Şarap M.Ö.

¹ Gıda Mühendisi, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Güvenliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Öğrencisi, Bingöl/Türkiye, Orcid: 0009-0000-0358-728X, muhendisberfindgrl18@gmail.com

² Prof.Dr., Bingöl Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Bingöl/Türkiye, Orcid: 0000-0001-5933-9971, bpatir@bingol.edu.tr

yüzyıllara dayanan, ilk içki türlerinden biri olan ve çoğunlukla üzüm meyvesinin çeşitli işlemlerden geçirilmesi sonrasında belli bir süre fermentasyona bırakılması sonucunda elde edilen alkoldür. Yani aslında şarap, üzüm meyvelerinin suyunun enzimatik reaksiyon geçirmesi sonucunda alkol içerikli bir ürüne dönüşümüdür. Şarap fermentasyonu sürecinde üzüm kabuğunda doğal olarak bulunan maya hücreleri yine üzüm meyvelerinin suyunda doğal olarak bulunan meyve şekeri, yani fruktoz üzerindeki aktivitesi ile şarapta başta alkol olmak üzere karbondioksit ve ısı gibi bileşenlerin üretilmesini gerçekleştirir. Şarabın ikincil fermentasyon sürecinde ise laktik asit bakterileri (LAB) meyve asidi olan malik asidi, laktik aside dönüştürmesi sonucu fermentasyon sürecini devam ettirmiş olur (Linskens & Jackson 2009).

Şarabın tarihi binlerce yıla uzanır ve tarımın, mutfakın, medeniyetin ve insanlığın tarihiyle yakından iç içe geçmiştir. Arkeolojik kanıtlar, en eski şarap üretiminin, M.Ö. 8000 ila 5000 yılları arasında Ermenistan, Gürcistan ve İran'daki bölgelerden geldiğini gösteriyor (Berkowitz, 1996; Keys, 2003; BBC, 2011). Konuyu arkeolojik kanıtlar daha da netleştiriyor ve asmanın Yakın Doğu, Sümer ve Mısır'daki Erken Tunç Çağı bölgelerinde M.Ö. 3000 yıldan itibaren evcilleştirildiğine işaret ediyor (Verango, 2006). Yapılan araştırmalarda, Makedonya'daki arkeolojik alanlarda 6500 yıl öncesine dayanan en eski Avrupa şarap üretimine ilişkin kanıtlar ortaya çıkarılmıştır. Aynı alanlar aynı zamanda dünyanın en eski ezilmiş üzüm kalıntılarının kanıtlarını da içermektedir (The Megalithic Portal, 2007). Ancak, şarabın ilk kez nerede üretildiği hala kesin olarak bilinmiyor. Modern şaraplık üzümlerin atası olan *Vitis silvestris* türündeki yabani üzümlerin yetiştiği Kuzey

Afrika'dan, Orta/Güney Asya'ya kadar uzanan geniş bölgenin herhangi bir yerinde olabilir. Yabani meyvelerden alkollü içeceklerin yapılması yaklaşık 9000 yıl önce, Yakın Doğu'nun daha sonraki Neolitik döneminde çanak çömlek kaplarının gelişmesiyle daha kolay hale gelmiştir. Ancak yabani üzümler küçük ve ekşidir ve arkeolojik alanlarda bulunuşu nispeten nadirdir. Bir şarap endüstrisinin temeli olmaları pek olası değildir. İlk büyük ölçekli şarap üretiminin, üzümün ilk evcilleştirildiği bölge olan Güney Kafkasya ve Yakın Doğu olduğu sanılmaktadır. Yabani üzümler; Gürcistan'da, Levant'ın (günümüz ülkelerinden Türkiye, Suriye, Lübnan, İsrail, Ürdün ve Filistin'i kapsayan yerler) kuzeyinde, Türkiye'nin kıyılarında ve güneydoğusunda, İran'ın kuzeyinde veya Ermenistan'da yetişmektedir (Amerine, 2024).

Bilinen en eski şarap imalathanesi, Ermenistan'ın Vayots Dzor Eyaletindeki "Areni-1" mağarasındadır. Altı bin yıldan fazla bir geçmişe sahip olan şarap imalathanesinde bir şarap presi, fermentasyon fiçileri, kavanozlar ve fincanlar bulunmaktadır. Arkeologlar ayrıca *Vitis vinifera* türüne ait üzüm çekirdeği ve üzüm asmaları da buldular. Bu bulgu, M.Ö. 4000'de şarap yapımının bu kadar gelişmiş olması, yapımının muhtemelen çok daha eskilere dayandığını göstermektedir (BBC, 2011; Thomas & Maugh, 2011).

Evcilleştirilmiş üzümler, M.Ö. 3200'den başlayarak Erken Tunç Çağı'nın başlangıcından itibaren Yakın Doğu'da bol miktarda bulunmaktaydı. Ayrıca, M.Ö. 3000 de, Sümer ve Mısır'da şarap yapımına dair daha fazla kanıt vardır. Eski Çin'liler, 2. yüzyılda Orta Asya'dan evcilleştirilmiş üzüm tohumlarını ithal edene kadar, bir süre *Vitis thunbergii* gibi yerli yabani "dağ üzümlerinden" şarap yaptılar. Ürdün'deki Kalkolitik Tell Shuna'da üzümün çekirdek

şeklinde daha erken evcilleştirildiğine dair çok az kanıt bulunmaktadır. Ancak bu kanıtlar yayınlanmamıştır (Eijkhoff, 2000). Modern dağılıma göre, üzümün evcil hali olan asma, yaygın görüşe göre M.Ö. 9000 de Kafkasya'dan Kuzey Anadolu'ya ve oradan da Avrupa'ya doğru doğu-batı eksenince uzanıp, Anadolu'nun güneydoğusundaki Toros Dağları'nın güney yamaçları boyunca yayılım göstermiştir (Gorny, 1996).

Şarabın kökenine dair pek çok uydurma hikaye vardır. İncil kayıtlarında Nuh ve oğullarının Ağrı Dağı eteklerinde şarap ürettikleri anlatılır. Bir efsaneye göre de, Pers kralı Cemşid, krallığından sürgün ettiği harem hanımlarından birinin, umutsuzluğa kapılarak intihar etmek istemesi üzerine, Kralın deposundaki "zehir" yazan, bozulmuş olduğu düşünülen üzümlerin suyundan içtiği ve etkisinin hoş olduğunu keşfetmiştir. Aslında bu zehir, mayalar tarafından fermentasyonla alkole parçalanmış şaraptı. Keşfini, Kral'a götürdü, kral sadece kızı haremine geri kabul etmekle kalmadı, aynı zamanda Persepolis'te yetiştirilen tüm üzümlerin şarap yapımında kullanılmasını da emretti. Çoğu şarap tarihçisi bu hikayeyi saf bir efsane olarak görse de, şarabın ilk Pers kralları tarafından bilindiğine ve geniş çapta ticaretinin yapıldığına dair arkeolojik kanıtlar vardır (Pellechia, 2006).

Şarap, binlerce yıldan bu yana insanoğlunun zevk amacıyla yaygın bir şekilde tükettiği içecektir. Bu rolünün yanı sıra tedavi amaçlı çeşitli kullanımları da insanlık tarihine eşlik etmektedir. Orta derecede alkol tüketiminin kardiyovasküler mortalite üzerindeki yararlı etkilerinin bilimsel araştırması yaklaşık 30 yıldan beri başlamıştır. 'Fransız paradoksunun' tanınması, şarapla ilgili umut verici biyolojik çalışmalara önemli bir ivme kazandırdı. Dünyanın

en eski farmakopesi sayılabilecek Babil Nippur tabletinde (M.Ö. 2200) şarapla karıştırılan merhemlerin cilt hastalıklarına karşı kullanıldığı belirtilmektedir. Mısır Ebers Papyri'sinde (M.Ö. 1500) şarap ve şarapla karıştırılan müstahzarlar, astım, kabızlık, hazımsızlık, ayrıca epilepsi tedavisi ve şaşırtıcı bir şekilde sarılığın önlenmesi için tavsiye edilmektedir. Bu durum, kötü hijyenik koşullar altında, hepatit virüsü bulaşmış su içmek yerine, virüs içermeyen şarap tüketilerek bulaşıcı (A ve E) hepatitin önlenebileceği şeklinde yorumlanabilir. Orta Çağ Avrupa'sında baharatlı şaraplar İtalyan, Alman ve Fransız şarap bölgelerinde üretiliyordu. Ancak on sekizinci yüzyılın ikinci yarısından itibaren İtalya'daki Torino kenti bu ürünün üretim merkezi haline geldi (Feh'er, Lengyel, & Lugasi, 2007).

1.1.1. Farklı Kültürlerde Şarap

1.1.1.1. Fenike'lilerde Şarap

Fenikeliler şarap yapımı ile ilgili bilgileri doğu bölgelerinden alıyorlardı ve geniş ticaret ağları sayesinde Akdeniz'de şarap, şaraplık üzüm ve şarap yapımında önemli rol oynuyorlardı. Elde edilen "şıra" büyük bir fıçıda toplanıyor ve fermente edilmesi, yıllandırılması ve taşınması için amfora (şarap ve zeytinyağı gibi gıdaların depolanması ve taşınması için kullanılan geniş gövdeli, dar boyunlu, çoğunlukla sivri dipli, iki kulplu, antik testi) olarak bilinen seramik kavanozlarda saklanıyordu. Arkeologlar, en az M.Ö. 7. yüzyıldan beri kullanılan bir şarap presinin iyi korunmuş kalıntılarını ortaya çıkardı. Bu, kabaca modern Lübnan'a denk gelen Fenike' de bulunan en eski şarap presidir. Fenike'liler tarafından dağıtılan üzüm çeşitleri, Roma ve Yunanistan'daki şarap endüstrisinin gelişmesinde önemli rol oynamıştır (Metcalf, 2020).

1.1.1.2. Antik Yunan' da Şarap

Antik Yunan'da şarabın yazılı tarihi M.Ö.15. yüzyılda başlarken, bağcılığın ise 6500 yıl öncesine, Neolitik Çağ'a kadar uzandığı düşünülüyor. Modern şarap kültürünün de başladığı yer Antik Yunan'dır. Çünkü şarap tüketimi, rahiplerin ve yöneticilerin bağlar üzerinde kontrol sahibi olduğu dönemde olduğu gibi, yalnızca kutsal bir eylem olmaktan çıkmıştı. Erken Tunç Çağı'na gelindiğinde, Antik Yunan'da üzüm bağcılığı yaygınlaşmış, Minos ve Miken uygarlıklarının yükselişinde şarap, tüketim ve/veya üretim açısından günlük yaşamın bir parçası haline gelmişti. Modern Yunanistan'da yetiştirilen üzümlerin çoğu burada özel olarak yetiştirilmektedir ve antik çağlarda yetiştirilen çeşitlere benzerdir veya aynıdır. Aslında, en popüler modern Yunan çeşidi olan, güçlü aromatik bir beyaz şarap olan *retsina'* nın, şarap sürahilerinin şaraba farklı bir tat veren ağaç reçinesi ile kaplandığı zamandan kalma bir kalıntı olduğuna inanılıyor. Yunanistan'daki arkeolojik alanlardan elde edilen 6500 yıllık üzüm kalıntılarına ait kanıtlar, Avrupa'da şarap üretiminin bilinen en eski görünümünü temsil etmektedir. Yunanistan'da "*yeni şarap ayını*" kutlayan festivaller yapılmaktaydı. Mitolojide şarap genellikle "*kariştirme kaselerinde*" servis edilirdi. Geleneksel olarak seyretilmemiş halde tüketilmezdi ve "*Tanrıların Suyu*" olarak anılırdı. Yapılan kazılarda, bölgede Yunan tarzı ve sanatına sahip amforalar bulunduğu ve Yunanlıların, şarabın eski Mısır'da ilk ortaya çıkışında olası rolleri olduğu sanılmaktadır. Dolayısıyla, Yunan şarabının Akdeniz havzasında yaygın olarak bilindiği ve ihraç edildiği söylenebilir. Bu bağlamda Yunanlılar, *Vitis vinifera* asmasını çevrelerine tanıttılar ve günümüz İtalya'sında, Sicilya'da, güney Fransa ve İspanya'da sayısız

kolonilerinde şarap yaptılar (Sandler & Pinder, 2003; The Megalithic Portal, 2007; Chrysopoulos, 2023).

1.1.1.3. Antik Mısır' da Şarap

Şarap antik Mısır'da, kralın, rahiplerin ve önde gelen yetkililerin tercih ettiği içeceğiydi ve törenlerde önemli bir rol oynardı. Şarap ve şarap yapımı; dikilitaşlarda, papirüslerde, heykellerde, mezar resimlerinde canlı renkli ve oldukça çağrışımlı tasvir edilmiştir. Firavun tarafından tanrılara sunulan şarap sunumları sıklıkla Mısır tapınaklarının duvarlarında gösteriliyordu (Poo, 2014). Levant'tan Mısır'a kadar üzüm yetiştiriciliğinin başlamasının (M.Ö. 3000) ardından, Nil Deltası'nda gelişen bir kraliyet şarapçılık endüstrisi kurulmuştu. Eski Mısır'da yapılan şarap ağırlıklı olarak kırmızıydı. Ancak yakın zamanda yapılan bir kazı, eski Mısır'da beyaz şarabın ilk kanıtını ortaya çıkardı. Aynı çalışmada, yakındaki kaplarda bulunan kuru kalıntı örnekleri, eski Mısır'ın en değerli içeceği olan *Şhedeh'* in daha önce düşünüldüğü gibi nardan değil, kırmızı üzümünden yapıldığını ortaya koydu (Guasch-Jane & ark., 2006a; Guasch-Jane & ark., 2006b). Şarap, özellikle Akdeniz kıyılarında iyi biliniyordu ve Yahudi halkının ritüel yaşamında belirgin bir rol oynuyordu. Mısır'ın ilk dönemlerinde, büyük ölçüde kana benzemesi nedeniyle, şarap içmeyle ilgili pek çok batıl inanç vardı. Plutarch'ın *Moralia* adlı eserinde, Psammetichus'un saltanatından önce eski Kralların şarap içmediklerini, çünkü şarabın "bir zamanlar tanrılara karşı savaşmış olanların kanı olduğu düşünülerek, tanrılar için değerli bir şey olduğunu ve sunu olarak kullanmadıklarını, düşüp toprağa karıştığında, üzüm bağlarının ondan çıktığına inanıyorlardı". Sarhoşluğun ise, "atalarının kanı olduğu için insanların aklını

kaçırmasının ve onları çılına çevirmesinin" nedeni olduğu düşünülüyordu. Yine kırmızı şarap, ilk dirilen Tanrı Osiris'in kanıyla karşılaştırılarak ölülerin yeniden doğuşunu simgeliyordu (Plutarch, 1936; Cherpion, Kruchten & Ménassa, 1999).

1.1.1.4. Roma İmparatorluğu'nda Şarap

Roma İmparatorluğu'nun bağıcılığın ve şarap biliminin gelişmesinde büyük etkisi olmuştur. Şarap, Roma diyetinin ayrılmaz bir parçasıydı ve şarap yapımı hassas bir iş haline gelmişti. Roma İmparatorluğu genişledikçe eyaletlerdeki şarap üretimi, Roma şaraplarıyla rekabet edecek noktaya kadar artmıştır. Bugün Batı Avrupa'nın başlıca şarap üreten bölgelerinin neredeyse tamamı Romalılar tarafından kurulmuştur. Şarap yapım teknolojisi Roma İmparatorluğu döneminde oldukça gelişti. Pek çok üzüm çeşidi ve yetiştirme tekniğı geliştirildi ve Galyalılar tarafından icat edilen fiçılar ve daha sonra Suriye'liler tarafından icat edilen cam şişeler, şarabın depolanması ve nakliyesi için pişmiş toprak amforalarla rekabet etmeye başlamıştır. Yunanlı'ların vidayı icat etmesinin ardından, Roma da şarap presleri yaygınlaştı. Romalılar ayrıca, bazı bölgelerin kaliteli şaraplarının ün kazanmasıyla, unvan sisteminin öncüsü de oldular. Batı Roma İmparatorluğu M.S.500 civarında çöktüğünde, Avrupa, tek istikrarlı sosyal yapı olan Roma Katolik Kilisesi ile bir istila ve sosyal çalkantı dönemine girdi. Kilise aracılığıyla Ayın için gerekli olan üzüm yetiştirme ve şarap yapımı teknolojisi korundu. Bu arada temiz olmadığı düşünülen suyun yerine çoğunlukla şarap tercih edilmekteydi. Çünkü şarabın doğal antibakteriyeller içerdiği ve dolayısıyla sudan daha güvenli bir içecek olduğu düşünölmekteydi (Allen, 1961; Standage, 2024).

1.1.1.5. Antik Çin' de Şarap

Çin'in erken Neolitik Jiahu bölgesindeki çanak çömlek parçaları üzerindeki kalıntıların M.Ö. 7000-6600 yıllarına ait pirinç, bal ve meyve karışımından yapılan fermente bir içecekten geldiği tespit edilmiştir. Meyvenin varlığı, bir kavanozun dibindeki tartarik asit/tartarat kalıntılarında saptanmıştır. Jiahu'da üzüm çekirdekleri bulunmuştur. Bunlar Batı Asya'dan ithal edilmeyen, Çin'e özgü yabani üzüm türleridir. Çin'de 40 ila 50 farklı yabani üzüm türü bulunmaktadır. Han Hanedanlığı'nın Batı Bölgelerini keşfetmesinin ve Fergana, Baktriya, Hint-Yunan Krallığı gibi Helenistik krallıklarla temas kurmasının ardından, yüksek kaliteli üzümler (yani *vitis vinifera*), İpek yolundan ithal edilen diğer ürünlerle birlikte M.Ö. 2. yüzyılda Çin'e getirildi ve ilk olarak Çin üzüm şarabı üretildi. Daha önceleri, şarap yapmak için yabani dağ üzümleri kullanılıyordu. Ancak pirinç şarabı, Çin'de en yaygın şarap olarak kaldı. Pirinç şarabının üzüm şarabından daha yaygın olduğu, 1280'lerde Çin'e giden Venedikli gezgin Marco Polo tarafından da fark edilmişti (Gernet, 1962; Temple,1986).

1.1.1.6. Orta Doğu'da Şarap (Ortaçağ)

Arap yarımadasında, İslam'ın gelişinden önce, çevrenin üzüm yetiştirmeye pek uygun olmaması nedeniyle şarap ticareti Arami tüccarlar tarafından yapılıyordu. Bölgede 5. ve 6. yüzyıllarda hurma ve ballı şaraplar da dahil olmak üzere diğer birçok fermente içecek türü üretildi. Arap Yarımadası, M.Ö. 2. yüzyıldan M.S. 7. yüzyıla kadar şarap ticaretinde hayati bir rol oynadı. Ancak, çölün geniş bir bölgesi şarap kültürünü veya şarap içmeyi benimsemedi. Şarap ticaretini kolaylaştıran bölgelerde bile, şarap içme M.S. 3. yüzyıla kadar kök salmadı. Müslümanlar, 7. ve 8. yüzyıllarda birçok bölgeyi

kontrolleri altına aldılar. Alkollü içecekler kanunen yasaklandı. Ancak alkol üretimi, özellikle de şarap üretimi artmış gibi görünmekteydi. Şarap, İslam hâkimiyetinde bile pek çok şairin şiirine konu olmuştur. Mısırlı Yahudiler, Fatımi ve Memluk hükümdarlıklarından üzüm bağları kiraladılar. Kutsal ve tıbbi kullanım için şarap ürettiler ve Doğu Akdeniz'de şarap ticareti yaptılar. Levant ve Irak'taki hıristiyan manastırlarda sık olarak üzüm bağları yetiştiriliyordu. İran ve Orta Asya'daki Zerdüştlar de şarap üretimiyle uğraşıyorlardı. Şarap ticareti hakkında pek bir şey bilinmese de meyhaneleriyle tanındılar. Müslüman simyacıların damıtma konusundaki becerileri, parfüm endüstrisinde kullanılan nispeten saf etanolün üretimine olanak sağladıktan sonra, şarap genel olarak Orta Doğu'da hammadde olarak endüstriyel bir kullanım alanı buldu. Şarap da ilk kez bu dönemde damıtılarak brendi haline getirildi (Sivan & ark., 2021; Tillier & Vanthieghem, 2022).

1.1.1.7. Avrupa'da Şarap (Ortaçağ)

Orta çağ'da şarap, üzüm yetiştirilen güneydeki tüm sosyal sınıfların ortak içeceğiydi. Üzümün çok az yetiştirildiği kuzeyde ve doğuda bira, hem halkın hem de soyluların ortak içeceğiydi. Kuzey bölgelerine ithal edilen şarap pahalıydı ve bu nedenle alt sınıflar tarafından nadiren tüketiliyordu. Katolik ayininin kutlanması için şarap gerekliydi ve bu nedenle arzın sağlanması çok önemliydi. Benedictine rahipleri, Fransa ve Almanya'daki en büyük şarap üreticilerinden biri haline geldi ve onları Cistercian'lar takip etti. Carthusians, Templars ve Carmelites gibi diğer tarikatlar da hem tarihsel hem de modern zamanlarda şarap üreticileri olarak dikkate değerdir. En eski şarap geleneklerinden birine sahip olan Portekiz'de,

dünyadaki ilk isim sistemi oluşturuldu. Tüccar sınıfından bir ev kadını ya da soylu bir ailenin hizmetçisi, her öğünde şarap servis eder ve hem kırmızı hem de beyaz renklere oluşan bir karışım sunardı. Bu döneme ait ev yapımı bal likörü tariflerinin yanı sıra, şaraba az miktarda bal eklemek gibi basit bir eylem de dahil olmak üzere, şaraplardaki tatları baharatlamak ve maskelemek için tarifler hala mevcuttur. Şaraplar fıçılarda saklandığı için çok yıllandırılmadan içiliyordu. Ağır alkol tüketiminin etkilerini dengelemek için, şarap sıklıkla dört veya beş ölçü suya bir şarap oranında sulandırılıyordu. Ortaçağ şarabı uygulamalarından biri, yılan ısırıklarına karşı şarapta eritilmiş yılan taşlarının (yılan üzerindeki figürlü halkalara benzeyen bantlı akik) kullanılmasıydı. Bu gibi durumlarda alkolün merkezi sinir sistemi üzerindeki etkilerinin erken anlaşılmasını göstermekteydi. Dominikli olan ve 13. yüzyılda yaşamış Waterford'lu Jofroi, Avrupa'nın bilinen tüm şarap ve biralarının bir kataloğunu yazdı. Bunları tanımlayarak akademisyenlere ve danışmanlara tavsiye etti (Johnson, 2004; Wikipedia, 2024). Ortaçağ Avrupa'sında, Roma'nın gerilemesi ve ihracata yönelik endüstriyel ölçekte şarap üretiminin ardından, Hıristiyan kilisesi, Katolik ayininin kutlanması için gerekli olan şarabın sadık bir destekçisi oldu. Ortaçağ İslam kültüründe şarap yasaklanmışken, Hıristiyan içkilerinde kullanımı yaygın olarak hoş görülüyordu. Ancak, Geber ve diğer Müslüman kimyagerler, parfüm gibi ya da İslami tıp ve endüstriyel amaçlar için şarabın damıtılmasına öncülük etmişlerdir (al-Hassan & Hill, 1992).

1.1.1.8. Avrupa'da Şarapta Gelişmeler

19. yüzyılın sonlarında *Phylloxera* (Filoksera) biti Avrupa'daki üzüm bağlarına ve şarap üretimine yıkım getirdi.

Hayatları şaraba bağı olan herkes için felakete yol açtı. Pek çok yerli türün kaybı da dahil olmak üzere bunun yansımaları yaygın oldu. Olumlu tarafı, Avrupa'nın üzüm bağlarının dönüşümüne yol açarak, sadece en uygun olanlar hayatta kaldı. Kötü üzüm bağları söküldü ve arazi için daha iyi kullanım alanları bulundu. Ayrıca, birden fazla üzüm çeşidinin özel karışımları (cuvees) standart hale getirildi. Bu, bugün bildiğimiz bazı önemli şarapların üretilmesinde özellikle önemliydi. Örneğin, şampanya ve Bordeaux şaraplarının, sonunda onları tanımlayan üzümlerin karışımını belirledi. Filoksera'nın görülmediği Balkanlarda yerel çeşitler varlığını sürdürdü. Ancak Osmanlı işgaliyle birlikte bağların dönüşümü yavaşladı. Retsina gibi kitlesel şarapların haricinde, yerel çeşitler ancak artık tanınmaya başlandı (Britannica, 2024).

1.1.1.9. Amerika Kıtası'nda Şarap

Amerika Birleşik Devletleri'nde şarap yetiştiriciliği, uzun yıllar süren hayal kırıklıklarından sonra başarıya ulaşmıştır. Üzüm, bugünkü Latin Amerika'ya ilk olarak, ilk İspanyol istilacılar tarafından Katolik Kutsal Efkariya'nın ihtiyaçlarını karşılamak için getirildi. İspanyol misyonerliklerinde dikilen bir çeşit, "Mission üzümleri" olarak bilinmeye başladı. Göçmenler tarafından, Fransız, İtalyan ve Alman üzümleri ithal edilmesine rağmen, Amerika'ya özgü üzümlerden üretilen şarapların tatları çok farklıydı. Kuzey Amerika'nın endemik hastalıklarına ve sert iklimine karşı yalnızca yerel üzüm çeşitlerinin başarılı olabileceği anlaşılana kadar şarapçılık, ülkenin doğu kesiminde bir şans elde edememiştir. 1800'lerin sonlarında filoksera yanıklığı sırasında yerli Amerikan üzümlerinin zararlıya karşı bağışık olduğu keşfedildi. Fransız-Amerikan hibrit üzümleri geliştirildi. Daha da önemlisi, böceklerden

korunmak için Avrupa üzüm asmalarına aşılanan Amerikan üzüm anaçlarının kullanılması uygulamasıydı. Bu uygulama, günümüze kadar filoksera'nın mevcut olduğu her yerde devam etmektedir. Sonra, 19. yüzyılın ortalarında, Kaliforniya'da Avrupa üzümleri gelişti ve eyalet kısa sürede bilindik Avrupa türlerine benzeyen şarapların kaynağı haline geldi. Aynı zamanda, yeni melez üzümlerin geliştirilmesi ve şarapçılıkta biriken deneyim, Kaliforniya dışındaki yerlerde, farklı koşullarda çeşitli şaraplar üretilmeye başlandı. Yirminci yüzyılın başlarında, Amerika Birleşik Devletleri'nde üzüm yetiştirmek ve şarap yapmak kanıtlanmış önemli bir ekonomik faaliyet oldu. İlk yerleşimcilerin umutları, yaklaşık üç yüzyıllık deneme, yenilgi ve yenilenen çabadan sonra sonunda gerçekleşti. Amerika'daki şaraplar genellikle; Arjantin, Kaliforniya ve Şili ile ilişkilendirilir ve bunların tümü ucuz sürahi şaraplardan, yüksek kaliteli çeşitlere ve özel karışımlara kadar çok çeşitli şaraplardır. Amerika'daki şarap üretiminin çoğu Eski Dünya çeşitlerine dayansa da, Amerika'nın şarap yetiştirme bölgeleri genellikle Kaliforniya'nın Zinfandel'i (Hırvatistan'dan), Arjantin'in Malbec'i ve Şili'nin Carmenére'sidir (her ikisi de Fransa'dan). Yirminci yüzyılın ikinci yarısına kadar Amerikan şarabı, genellikle Avrupa ürünlerinden daha aşağı düzeyde görülüyordu. Yeni Dünya şarabının, şarabın doğduğu topraklarda değer kazanmaya başlaması, 1976'daki Paris şarap tadımındaki şaşırtıcı Amerikan gösterisine kadar gerçekleşmedi (Pinney, 1989; Britannica, 2024).

1.1.1.10. Avustralya, Yeni Zelanda ve Güney Afrika'da Şarap

Şarap açısından Avustralya, Yeni Zelanda, Güney Afrika ve şarap geleneği olmayan diğer ülkeler de Yeni Dünya olarak kabul

edilir. Şarap üretimi, 1680'lerde Güney Afrika'nın Cape Eyaleti'nde gemi tedarikine yönelik bir iş olarak başlamıştır. Avustralya'nın ilk filosu 1788' de, Güney Afrika'dan üzüm bağları getirmiş, ancak nem ve kötü bağ yönetimi, nedeniyle ilk ekimler başarısız olmuştur. İlk üzüm bağları 1800'lerin başında kurulmuş ve 20. yüzyılın sonlarına kadar, bu ülkelerin ürünleri küçük ihracat pazarları dışında pek bilinmemiştir. Avustralya büyük ölçüde Birleşik Krallık'a ihracat yapıyordu ve 1960'lara kadar üretilen şaraplarda önemli bir değişiklik olmadı. Sonraları, Shiraz, Chardonnay ve Cabernet Sauvignon gibi sofraya şaraplarına doğru bir kayma oldu ve ülke genelinde yeni ve geleneksel alanlarda yeni şarap imalathaneleri ortaya çıktı. Bu genişleme daha fazla çeşitliliğe ve kalitede artışa yol açarak, Avustralya'nın şarapçılık itibarının küresel ölçekte başlangıcı oldu. Yeni Zelanda ise, ürettiği şarabın çoğunu ülke içinde tutuyordu. Güney Afrika, dünyanın büyük bir kısmına kapalıydı. Ancak makineleşme ve bilimsel şarap yapımının artmasıyla birlikte bu ülkeler kaliteli şaraplarıyla tanınır hale geldiler. Yukarıdaki ifadenin dikkate değer bir istisnası, 18. yüzyılda Avrupa'ya en büyük şarap ihracatçısının, bugünkü Güney Afrika'nın Cape Eyaleti olduğu gerçeğidir (Wikipedia, 2024).

2. Şarap Üretimi

Şaraplar renklerine göre beyaz, pembe ve kırmızı olarak gruplandırılmaktadır. Pembe şaraplara uygulanan işlemlerin beyaz şarap üretimine benzemesi nedeniyle, genellikle beyaz ve kırmızı şaraplar ele alınarak incelenmektedir. Diğer gıda endüstrileri gibi, şarap üreticileri de bu içecek sektörünün gelenekselliğine rağmen, ürünü geliştirmek için kuru maya, laktik asit bakterileri veya enzimler gibi biyoteknolojik kaynaklara dayalı farklı teknolojik

işlemlere başvurmaktadır. Üretim sırasında eklenmesine izin verilen farklı bileşenler veya katkı maddeleri (potasyum sorbat, kükürt dioksit, vb.) ve diğer maddeler bulunmakta, ancak bunların kullanımı şarap türüne, teknolojik işleve veya ülke mevzuatına göre değişmektedir. Yine, şarap endüstrisinde ticari enzimlerin kullanımı, özellikle işleme (maserasyon, ekstraksiyon), stabilizasyon (arındırma, filtrasyon) ve yıllandırma adımları çeşitli hedeflerle ilişkilidir. Üzümlerde ve yerel mikroflorada doğal olarak bulunan enzimlerin aktivitesi şarap yapım süreçleri sırasında önemlidir. Ancak, bu tür endojen enzimlerin etkisi, yüksek kaliteli şaraplar üretmek için standartlaşmada yetersiz kalmaktadır (Espejo, 2021).

Kırmızı ve beyaz şaraplar arasındaki ayrım, üzüm şirasının doğal renginden değil, yapım sürecinde uygulanan yöntemlerin farklılığından kaynaklanır. Şöyle ki; hasadı yapılan üzüm, şarap üretimi için ezildikten sonra beyaz şarapta üzüm kabuğu şıradan uzaklaştırılarak kabukta yer alan normal mikrofloranın şıraya geçmesi ve fenol ekstraksiyonunun aşırı olması en aza indirilmiş olur. Kırmızı şarapta ise şıra ve üzüm kabuğunun bir arada bulunması üzüm kabuğunda yer alan fenolik bileşiklerin şıraya ekstraksiyonu için önemlidir. Bu durum, kırmızı şarabın kendine has olan renginin oluşmasını ve daha lezzetli olmasını sağlar (Christaki & Tzia, 2002).

Şıra bileşenlerinin miktarlarının fermentasyondan önce ayarlanması önemlidir. Bu işlemler; kükürt eklemek, asitliğin ayarlanması ve enzim eklenmesidir. Şıra içindeki bileşenler ayarlandıktan hemen sonra şıra fermentöre alınarak yeteri kadar kükürtleme yapılır ve maya eklenir. Şıraya eklenen kükürt miktarı, litrede şıra başına 200 ppm'den fazla olmamalıdır. Fazla miktarda

kükürt kullanımı maya inhibisyonuna ve oluşan son üründe kötü kokuya sebep olur. Şarap fermentasyonu için kullanılan maya türü *Saccharomyces* cinsine ait olan ticari kültürlerdir. Fermentasyon için üzüm mikroflorasında bulunan mayalar ile kendiliğinden fermentasyon yerine *Saccharomyces* cinsine ait olan ticari kültürlerin kullanılması tercih edilmektedir. Maya hücreleri şıraya eklenmeden önce mikroskop ile kontrol edilmelidir. Oksidatif maya ve bakterilerin kültürde olmaması ve yeterli miktarda sağlıklı maya hücrelerinin kültürde bulunması gerekmektedir (Christaki & Tzia, 2002).

Şarap üretiminin hammaddesi olan üzümün hasadından başlayarak uygulanan tüm işlemler şarabın oluşumunu ve kalitesini belirler. Üzümler hasattan sonra 1-2 saat içinde işlenmelidir. Üzüm hasadından şarap üretimine kadar olan aşamalar son derece önemlidir. Bu işlemler aşağıda kısaca belirtilmiştir.

Hasat işlemi: ‘Bağbozumu’ olarak da adlandırılır. Hasat zamanının doğru belirlenmesi şarap üretiminin kalitesi için önemlidir. Üzümler erken toplandığında şarapta şeker miktarı az, asit miktarı ise daha fazla olur. Yani üzümlerin olgunlaşması ile şeker miktarı artar, asitlik miktarı azalır. Çok geç toplanan üzümlerde marmelatımsı tat ortaya çıkabilmektedir (Neiman, 2015).

Sapların ayrılması ve ezme işlemi: Üzümün kullanılmayacak kısımları madensel silindir ve dönen paletlerde sap ve yapraklarından ayıklanır. Ezme işlemiyle de istenmeyen tatlar oluşmaması için tanenler ayrılmalı ancak çekirdekler kırılmamalıdır. Bu işlemler sonucunda oluşan mayşe, beyaz şarap üretilcekse

preslere; kırmızı şarap üretilecekse maserasyon tankına aktarılır (Ribereau-Gayon & ark., 2006).

Maserasyon: Ezme işleminde elde edilen mayşe bir süre maserasyon tanklarında bekletilir. Maserasyon işlem süresi; üzümün cinsine, şarabın türüne ve diğer tercihlere göre değişebilmektedir. Bu sırada renk, koku, tat ve dolgunluk kazanır. Bu aşama özellikle renk yönünden kırmızı şarapta daha önemlidir. Bu işlem, kırmızı şarap üretimi için 10-15 gün, rosé şarap için ise 8-48 saat kadar beklemek yeterli olur. Beyaz şarap üretiminde bu işlem uygulanmaz. İşlemin bitiminde şıra içerisindeki cibre ayrılır (Ribereau-Gayon & Peynaud, 1972).

Presleme: Şıranın eldesi için, pres makineleri kullanılır. Değişik presleme yöntemleri vardır. Ancak yöntem ne olursa olsun berrak bir şıra ve yüksek randıman için işlem kısa sürede yapılmalıdır. Üzüm çeşidine bağlı olarak, yüz kilogram üzümde seksen litre şıra elde edilir (Shahidi & Naczka, 1995). Presleme sırasında mikroorganizma gelişimi ve oksidasyonun önlenmesi için üzüm suyu kükürtlenir (Ribereau-Gayon & ark., 2006). Şıranın havayla fazla temasına izin verilmeden kükürten arındırılması gerekir. Şaraplar, üretim sürecinin çeşitli aşamalarında birkaç kez filtrasyona tabi tutulur. İlk filtrasyon işlemi, preslemeden sonra karışımdan elde edilen kalıntıları ve katıları uzaklaştırmak amacıyla gerçekleştirilir (Tosun, 2005).

Fermentasyon: En önemli aşamadır. Gerekli olan maya şıraya ilave edilir ve süreç başlamış olur. Üzümde bulunan şekerler, şarap mayaları sayesinde etil alkol oluşur. Böylece şıra şaraba dönüşür. Fermentasyon sıcaklıkları istenen şaraba göre değişir. Beyaz şarapta

düşük sıcaklık, kırmızı şarapta yüksek sıcaklık tercih edilir. Fermentasyon 10-30 gün arasında süren uzun bir süreçtir. Maya eklenen tank günlük sıcaklık ve brix ölçüleriyle kontrol altında tutulur ve fermentasyonun seyri izlenir. Şarap fermentasyonu denildiğinde akla mayalar gelir ve alkol fermentasyonu anlaşılabilir laktik asit bakterileri de işin içindedir ve koşullar uygun olduğunda malik asit, laktik asit bakterileri tarafından laktik aside ve karbondioksit dönüştürülür. Malik asidin laktik aside parçalanması, yalnızca ortamdaki toplam asit miktarının yüksek olması durumunda gereklidir (Troost, 1986). Her gün sıcaklık ve çözünen kuru madde miktarı (briks) kontrol edilir. Fermentasyon ilerledikçe şeker maya tarafından kullanılarak alkol oluşumu gözlenir. Briks değeri sıfıra yaklaştıkça fermente edilecek şeker miktarı belli miktarda azalır. Yoğunluk takibi de burada yapılmaktadır. Yoğunluğun 0,995 civarına düşmesi fermente edilebilecek şeker kalmadığının göstergesidir (Borazan & Bozan, 2006).

Şarap üretiminde fermentasyon sırasında mikrobiyel popülasyonu etkileyen çeşitli uygulamalar bulunur. Örneğin; elle veya makine ile hasat edilen üzümlerin toplanması, üretim alanına taşınma şekli, presleme yöntemi, arıtma işlemi, kükürtdioksit ilavesi ve maya aşılması gibi ön fermentasyon işlemleri sıralanabilir. Özellikle ön fermentasyon süreci hasattan başlayıp alkollü fermentasyonun başlangıcına kadar geçen süreyi kapsayan birkaç günü içerebilir. Bu süreç yerli biyotada önemli değişiklik oluşturabilmektedir. Fermentasyon sırasında mikrobiyel etkileşimlerin kapsamlı bir şekilde anlaşılması, gelecekte kaliteli şarap üretimi için önemli bir ayrıntıdır. Bu nedenle, şarap

endüstrisinin karşı karşıya kaldığı sorunlar, bazı fırsatların değerlendirilmesine yardımcı olabilir (Englezos & ark., 2022).

Transfer İşlemi: Şarabı tortusundan ayırmak için başka bir kaba aktarmaktır. Havalandırma ile istenmeyen koku giderilir ve şarap kolay olgunlaşır. Daha sonra temiz şaraba soğutma işlemi uygulanır. Soğuma süresince karıştırma yapılır ve yalıtımlı tanklarda soğumuş şarap yaklaşık bir hafta kadar bekletilir. Bekleme sonunda şarap süzülür (Considine & Frankish, 2023).

Filtrasyon: Bu, şarapların şişelenmeye hazırlanmasının ilk aşamasıdır. Fermantasyondan elde edilen ürün görüntüsü bulanıktır. Bulanıklığın şaraptan uzaklaştırılarak berraklaştırılması ve tat üzerinde olumsuz etkisi olan organik maddelerin çöktürülerek şaraptan ayrılması gerekir. Olgunlaşma döneminde şaraplar giderek berraklaşır. Berraklaştırma sürecini hızlandırmak için dışarıdan müdahale edilir. Şarapları berraklaştırmak için jelatin, bentonit, balık tutkalı, aktif kömür, kaolin ve kazein kullanılır. Şarap filtrasyonunda amaç yalnızca şarabı berraklaştırmak değil, aynı zamanda ürünün aroma ve tat profilini de korumaktır (Boulton & ark., 1999).

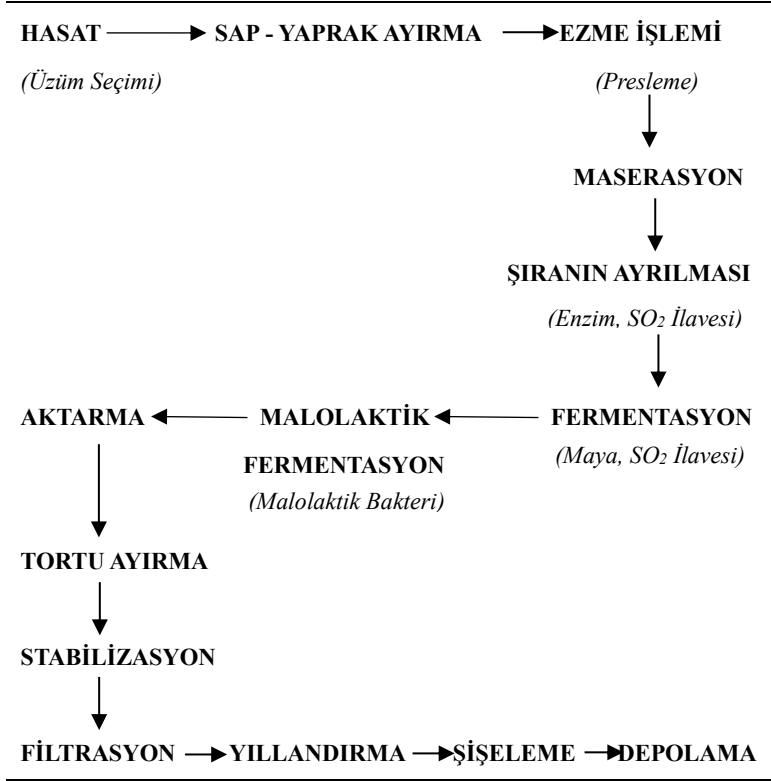
Olgunlaştırma: Yıllandırma veya eskitme olarak da bilinen bu aşamada şarap, alkol fermentasyonu sonu ile şişeleme arasında tankta ya da fıçıda olgunlaştırılır. Bu süreçte şarabın tadında, kokusunda değişimler olur. Olgunlaşmamış kırmızı şarapların parlak rengi zamanla kiremit rengine döner. Beyaz şaraplarda ise yıllanmayla birlikte matlaşma görülür. Bütün şaraplar yıllanmış olmak zorunda değildir. Özellikle rose ve beyaz şaraplar taze tüketilmelidir. Fıçılarda olan olgunlaştırmada, özellikle günümüzde

kaliteli şarap için, ahşap fıçı yerine sürecin hızlanması için daha ekonomik olan meşe yongası kullanılır (Shahidi ve Naczki, 1995; Bozalongo & ark., 2007; Vichi & ark., 2007).

Şişeleme: Şarapların şişelenmesi oldukça önemlidir. Erken şişeleme kırmızı şarapta olumsuzluk yaratırken, geç şişeleme meyvemsi tadı kaybetmesine neden olur. Steril bir ortamda şarap sıcaklığı ortalama 19°C'de olmalı, 16°C'nin altına düşmemelidir. Doldurma işleminden sonra bir mantar ile ağzı kapatılır. Şarap ile mantar arasında yaklaşık 1-1,5 cm boşluk kalmalıdır (Kaya, 2017).

Saklama koşulları: Hafif nemli, düşük sıcaklıkta, çok fazla ışık almayan bir ortamda saklanması en uygun olanıdır. En kritik nokta ise ortam sıcaklığıdır. İdeal sıcaklık 13 °C'dir. Daha yüksek sıcaklıklar şarabın erken yaşlanmasına neden olur. Renk ve lezzet kusurları görülür. Düşük sıcaklık, şaraba yüksek sıcaklık kadar zarar vermez. Soğuyan şarapsa hacim olarak küçülür ve şişeye hava sızmasına neden olur. Ani sıcaklık değişimleri de şarapları son derece olumsuz etkiler. Ortamın nemi %90 olmalı, %70'in altına düşmemelidir. Şarap mahzenlerinin karanlık olması ve depolanan şarabın ışık görmemesi gerekir. Şişelenmiş şaraplar yatay bir şekilde durmalı ve mantar ıslak kalmalıdır. Yıllandırma sürecini tamamlayan şaraplar tüketime hazır hale gelmiş olur (Neiman, 2015; Nowak & Wichman, 2020).

Şarabın genel hatlarıyla üretim aşamaları Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Genel hatlarıyla şarabın üretim aşamaları

3. Şarabın Ekonomideki Yeri

Şarap endüstrisi, küresel ölçekte en önemli sektörlerden biridir. Yapılan araştırmalar sonucunda Dünya genelinde şarap tüketimine ilgi gösteren turistlerin başta Fransa olmak üzere Amerika Birleşik Devletleri ve Şili gibi ülkeleri tercih ettiği gözlemlenmiştir. Avrupa Birliği sınırlarında bulunan bağlar, dünya genelinde bulunan bağların %45'ini kapsamakta ve yine dünya şarap ticaretinin %60'ını karşılamaktadır. Ayrıca, küresel şarap ihracat pazarının 2020'de 29,6 milyar € büyüklüğüne sahip olduğu belirlenmiştir. Ülkemizde ise Kırklareli, Tekirdağ ve Çanakkale

illeri şarap rotaları olarak tercih edilmektedir. Türkiye; biyolojik çeşitliliği, doğası, bitki örtüsü ve bağcılık kültürü ile şarap turizmi için oldukça ilgi gören bir kapasiteye sahiptir. Ülkemizde şarap rotalarının bilinirliği şarap turizminin gelişmesine katkı sağlayan başlıca faktörlerden biridir. Bu amaçla ticari olarak, yöresel ve ulusal turizmin gelişimi desteklenebilir. Şarap turizmini etkileyen faktörlere bakıldığında; üzümün bağcılık süreçleri, bağcılık festivalleri, şarabın üretim aşaması, şarap tadım etkinlikleri, şarap satış noktaları ve turiste yönelik kültürel unsurların sağlanması gibi unsurlar gözlemlenmektedir (Duran, Eryücel & Özcan, 2019; Pinto da Silva & Esteves da Silva, 2022).

4. Şarapta Kalite

Qualis (kalite), bir malın nasıl oluştuğu anlamındadır. Ürün ya da maddenin, tabiatını, özelliklerini ortaya koyar. Türk Dil Kurumu na göre kalite, bir şeyin iyi veya kötü olma özelliği, nitelik olarak ifade edilmektedir. Şarabın kalitesi ve özellikleri, üzüm çeşidine, şaraba işlenen üzümlerin bileşimine, şarap yapımında uygulanan işlemlere ve fermentasyon sonrası dinlendirme ve olgunlaştırma koşullarına bağlıdır (Jackson, 2000; Ribéreau-Gayon & ark., 2000). Üzümün bileşimi ile şarap kalitesi arasında yakın bir ilişki vardır. Üzümün bileşimi bağcılık yapılan bölgenin iklim koşulları, toprak yapısı ve coğrafyası gibi değiştirilemeyen faktörlerin ve üzüm çeşidi, anaç, bağcılık tekniği ve bağbozumu gibi değişebilen faktörlerin etkisi altındadır (Amerine & ark., 1972; Ribéreau-Gayon, 1982). Üzümün bileşimini belirleyen önemli faktörlerden biri de, üzümlerin olgunluk durumudur. Üzüm asma üzerinde belli bir sürede olgunlaşır. Olgunlaşma süresince üzümün bileşimi değişir. Üzümlerde renk dönüşümünden itibaren olgunluk kontrolleri

yapılmaya başlanır ve elde edilmek istenen şarap tipine göre en uygun bileşime ulaştıkları zaman bağbozumu yapılır. Bağbozumunun zamanında yapılması elde edilecek şarabın kalitesi bakımından çok önemlidir (Gomez & ark., 1995; Deryaoğlu, 1997).

Aroma maddeleri şarapta kaliteyi oluşturan en önemli unsurlardan birisidir. Çeşitli maddelerden oluşan aroma, şarabın duyuşal özelliklerini belirleyen önemli bir kalite ölçütüdür. Aroma maddelerinin en önemli özellikleri, çok az miktarlarda bile duyuşal olarak algılanmaları ve kalite üzerinde belirleyici rol oynamalarıdır. Şaraplarda bugüne kadar 1000' den fazla aroma maddesi bulunduğu bildirilmiştir. Bunlar; esterler, yüksek alkoller, terpen bileşikler, asitler, laktonlar, asetaller, uçucu fenoller, uçucu kükürtlü bileşikler ve uçucu azotlu bileşiklerdir. Şarapta bulunan aroma maddelerini kaynaklarına göre dört gurup altında toplamak mümkündür. Bunlar; üzümünden kaynaklanan aroma maddeleri (çeşit aroması), işleme sırasında uygulanan teknolojik işlemlerden ileri gelen aroma maddeleri (fermentasyon öncesi aroma), fermentasyon sırasında oluşan aroma maddeleri (fermentasyon aroması) ve dinlendirme sırasında oluşan aroma (olgunluk aroması) maddeleridir (Etievant, 1991; Cabaroğlu, 1995; Ferreira & ark., 1998; Selli, 2004).

Şarapların bileşiminde bulunan fenolik bileşikler, siyah üzümün ve bu üzümünden elde edilen şarapların renkleri ve duyuşal özellikleri üzerinde önemli rol oynamaktadır. Kırmızı şarapların renk, tatlarındaki dolgunluk ve burukluk gibi özellikleri fenolik bileşiklerden kaynaklanmaktadır. Fenolik bileşiklerin miktarı üzüm çeşidine, üzümün olgunluk durumuna, bağcılık yapılan yörenin toprak ve iklim koşullarına ve yetiştirmeye ilişkin sulama, gübreleme vb. uygulamalara göre değişmektedir (Kelebek,

2009). Üzümlerdeki fenolik bileşiklerin miktarı yıllara göre değişim gösterebilmekte ve bu durum şarap kalitesinin yıllara göre farklılık göstermesine neden olmaktadır. Fenolik bileşikler üzümlerin kabuk, meyve eti ve çekirdeklerinde yer alır. Fenolik bileşikler arasında en önemlileri kırmızı renkli antosiyaninler ve renksiz nitelikteki tanenlerdir. Geleneksel kırmızı şarap üretiminde, üzümün katı kısımlarında bulunan ve şaraba kendine özgü niteliklerini kazandıran fenolik bileşiklerin çözünmesini sağlamak amacıyla cibre fermentasyonu uygulanır. Cibre fermentasyonu sırasında renkli fenolik bileşikler (antosiyaninler) ile birlikte renksiz fenolik bileşikler (tanenler, fenolik asitler) de şaraba geçerler ve şarabın dinlendirilmesi sırasında birçok fiziksel ve kimyasal değişime uğrarlar (Ribéreau-Gayon & Glories, 1986; Macheix & ark., 1991; Sims & Bates, 1994; Gil-Munoz & ark., 1998).

Kırmızı şarabın özelliklerine dayanarak, üretim sürecinde mikolojik gıda güvenliğini belirleyen bir dizi kritik nokta tanımlanabilir. Şarap yapım aşamaları ile ilgili olarak, mantar sekonder metabolitlerinin içeriğinin izlenmesi, bağın coğrafi konumuna, kullanılan tarımsal kimyasallara, hasat edilen üzümlerin saklama koşullarına, maserasyon, sedimentasyon ve fermentasyon süreçlerine bağlı olarak asma yetiştiriciliğini ve mikrobiyel popülasyonları içermelidir. Bunu şarabın boşaltılması ve depolanması takip eder (Belda & ark., 2017; Silva & ark., 2019; Ubeda & ark., 2020).

Şarapta kalite en önemli unsurdur, şarabın kalitesi ise; duyuşal, fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik olmak üzere dört ana gruptan oluşur. Şarabın duyuşal kalitesini tadı, kokusu ve rengi etkilemektedir. Aynı zamanda duyuşal kalite şarapta tüketiciler

açısından başarının en temel göstergelerinden biridir. Yani tüketiciler kaliteli şarap konusunda ilk değerlendirmeyi duyuşal analiz yöntemini kullanarak gerçekleştirir. Duyusal olarak başarılı olmayan şaraplarda fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalite ikinci planda kalmaktadır. Şarabın fiziksel kalitesini ise; bazıklığı, yoğunluğu ve yabancı madde miktarı etkilemektedir. Kimyasal kalitesini; alkol derecesi/yüzdesi, toplam asitliliği ve sakkaroz miktarı etkilemektedir. Mikrobiyolojik kalitesini ise; küf, bakteri ve maya gibi canlı mikroorganizma grupları etkiler (Fernandez-Cruz, Mansilla & Tadeo, 2010).

4.1. Şarabın Duyusal Kalitesi

19.yüzyılın başından 20.yüzyılın ortalarına kadar, şarap tadımı sınırlı bir kelime dağarcığı ile görsel ve ağız hissine dayanmaktaydı. 1952'de Maynard A. Amerine, Kaliforniya şarap tadım kartıyla şarabın aromatik değerlendirmesini tanıttı. 1950-1970 yılları arasında Fransa'da, korumalı belirlenmiş menşşe şaraplarını doğrulamak için duyuşal değerlendirme geliştirildi. İlk yaklaşımlar, genellikle doğal ürünleri referans olarak kullanan tanımlayıcı analizleri içermekteydi (Barbe, Garbay & Tempere, 2021).

Son yıllarda hem kırmızı şarap hem de beyaz şaraplarda en fazla önemsenen ve incelenen kalite kriterlerinden biri duyuşal kalitesidir. Bu nedenle şaraplarda ağız hissini duyuşal değerlendirmesini araştıran birçok çalışma yapılmıştır. Şarabın duyuşal kalitesini etkileyen parametreler; kullanılan hammaddenin (üzüm) kalitesi, üretim metodu ve koşullarının uygunluğu, bütün girdilerin uygun oranlarda kullanılması ve son olarak fermentasyon sürecinin uygunluğudur (Araujo & ark., 2021). Teknik olarak doğru bir şarabın, mikrobiyel kontaminasyonlardan arınmış olması

beklenir. Ayrıca, mevzuat tarafından belirlenen sınırlar içinde kükürtdioksit (SO₂) ve uçucu asitlik seviyelerine sahip olmalıdır. Şarabın beyaz çeşitlerinde pembeleşme veya esmerleşme, kırmızı çeşitlerinde ise antosiyanin ve tanen oksidasyonu sonucu kahverengimsi tonlar gibi renk değişiklikleri göstermemesi gerekir. Ayrıca aroma oksidasyonu, çoğunlukla asetaldehit oluşumu ile kendini gösteren, istenmeyen bir durumdur (Basalekou & ark., 2023).

Şarap tadı (aroma ve tat), üzümlerin kendisindeki bileşiklerden türetilen birincil tatlardan, maya ve LAB metabolitlerinden kaynaklanan ikincil tatlardan ve uçucu olmayan öncüllerden gelen maya aracılı aromalardan oluşur (Dzialo & ark., 2017; Sumbly & ark., 2019). Konsantrasyona bağlı olarak bu bileşikler şarabın tadına olumlu ya da olumsuz katkıda bulunabilir. *Saccharomyces* olmayan mayalar tarafından üretilen veya aracılık edilen aroma bileşikleri; esterleri, yüksek alkoller, gliserol, terpenoidleri, asetik asit, süksinik asit, uçucu yağ asitlerini, karbonil ve kükürt bileşiklerini içerir. Özellikle nötr üzüm çeşitlerinden üretilen şaraplarda, şarap kalitesi üzerinde olumlu etkiye sahip 160'tan fazla ester tespit edilmiştir (Dzialo & ark., 2017). *Saccharomyces* olmayan mayalar değişen seviyelerde esterler oluşturur. Daha yüksek seviyelerde ester ürettiği bilinen mayalar arasında, daha yüksek üreticiler olarak kabul edilen *Hansenula anomala* (*Pichia anomala*), *Hanseniaspora uvarum* (*Kloeckera apiculata*) ve *Metschnikowia pulcherrima* (*Candida pulcherrima*) yer alır (Jolly, Varela & Pretorius, 2014).

Erlich yoluyla amino asit katabolizmasından üretilen yüksek alkoller genellikle şarapta istenmez. Çünkü yüksek seviyeler hoş olmayan duyuşal özelliklerle güçlü bir şekilde ilişkilidir. Bununla

birlikte, düşük seviyelerde yüksek alkoller şaraba meyvemsi karakterler kazandırabilir ve şarabın genel karmaşıklığına (birden fazla tanımlanabilir duyuşal unsur) katkıda bulunabilir. Büyük bir tür değişkenliği olmasına rağmen, *Saccharomyces* olmayan mayalar genellikle *S.cerevisiae*'den daha düşük seviyelerde daha yüksek alkoller oluşturur (Jolly, Varela & Pretorius, 2014).

şarap fermentasyonu sırasında mayalar tarafından üretilen bir sonraki ana metabolit gliseroldür. Gliserol, maya hücreesindeki redoks potansiyelini düzenlemek için önemlidir. Ancak aynı zamanda şaraplarda ağız hissine, tatlılığa ve karmaşıklığa da katkıda bulunabilir (Dzialo & ark., 2017). Üzüm çeşidi ve şarap üretim stili gibi dış faktörler, artan gliserol düzeylerinin şarap kalitesi üzerindeki etkisini belirler. Kendiliğinden fermente edilen ve *Saccharomyces* olmayan aşılanmış şaraplar genellikle *S.cerevisiae* aşılanmış şaraplardan daha yüksek gliserol seviyelerine sahiptir. Bu da *Saccharomyces* olmayan mayaların katkısına işaret etmektedir (Jolly, Varela & Pretorius, 2014).

şarabın duyuşal kalitesinin kontrolü, eğitimli katılımcılar yani diğer bir ifade ile değüstatörler (tadım uzmanları) veya panelistler tarafından yapılmalıdır. Duyusal analiz için uygun koşullar ve ortam hazırlandıktan sonra, tadım uzmanları tarafından tadımı yapılan her bir şarap numunesinin; genel kalitesi, görünüşü (renk, bulanıklık), aroması (alkol, asitlik, tatlılık), tadı (acılık, ekşilik, burukluk, tatlılık, asitlik, alkol, ağızda kalan tat), kokusu (meyvemsi), yumuşaklığı, burukluğu ve viskozitesi gibi parametreler ayrı ayrı değerlendirilir ve puanlamaya tabi tutulur. Bu sayede elde edilen veriler teste tabi tutulan şarap çeşitlerinin duyuşal kalitesi hakkında bilgi verir (Xu & ark., 2020).

4.2. Şarabın Fiziksel ve Kimyasal Kalitesi

Bütün gıdalarda olduğu gibi şaraplarda da fiziksel ve kimyasal kriterler kalite açısından önem taşımaktadır. Şarapta fiziksel ve kimyasal kalite kriterleri değerlendirilirken incelenen belli başlı parametreler ve bu parametrelerin tespiti için uygulanan prosedürler mevcuttur. Hammadde veya şarapta çözünebilir katı madde içeriği, titrasyon asitliği, toplam fenolik, toplam flavonoidler, toplam antosiyaninler ve toplam tanenler NIR (Near Infrared Radiation) spektroskopisi kullanılarak yapılır. Ayrıca, şarapta % alkol miktarı, şeker tayini, toplam ve serbest kükürtdioksit (CO₂) miktarı, yoğunluk tespiti ve ağır metal veya yabancı madde içeriği saptanarak fiziksel ve kimyasal kalite açısından değerlendirilir. Şarapta asitliğin düşük olması duyusal kalitesini olumsuz yönde etkilerken, yüksek değerde olması ise istenmeyen bir kriterdir (Rouxinol & ark., 2022). Genel olarak şarabın içeriğinde; alkoller, şekerler, asitler, vitaminler, mineraller, proteinler, organik asitler ve uçucu fenolik bileşikler yani polifenoller gibi önemli bileşikler bulunur.

Şarabın ana kimyasal bileşenleri ve miktarları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Şarabın ana kimyasal bileşenleri ve miktarları

Bileşik	%
Su	80-90
Alkol	8-15
Oganik asitler	0,3-1,1
Şekerler	0,1-0,09
Fenolik bileşikler	0,05-0,35
Nitrojenli bileşikler	0,01-0,09

Kaynak: Jackisch, 1985

Şarapların yıllanma süreci, fenolik bileşiklerin kompleks kimyasal reaksiyonlarına dayanır. Antosiyaninlerin oligomerik ve polimerik pigmentlere dönüşümü ile flavanol katılımlı yoğunlaşma reaksiyonları bu sürecin temelini oluşturur. Optimal kalite için bazı durumlarda zaman gereklidir. Ancak uzun süreli yıllanma oksidasyon reaksiyonlarına ve istenmeyen sonuçlara yol açabilir. Şarapların renk değerleri ve pigment konsantrasyonları yıllanma süresiyle artar. Ancak iç faktörler (fenolik ve uçucu bileşiklerin başlangıç konsantrasyonu, oksijen, pH, asitlik, mineraller, mikroorganizmalar) ve dış faktörler (sıcaklık, varil tipi, şişeleme yöntemleri, muhafaza koşulları) bu süreci belirleyen önemli faktörlerdir. Özellikle üzüm çeşidi, iç faktörler arasında şarabın yıllanma potansiyelini ve son kalitesini belirlemede kritik bir rol oynar (Gutierrez-Escobar, Aliano-Gonzalez & Cantos-Villar, 2021).

Türk Gıda Kodeksi (TGK) şarap tebliğinde açıklanan kalite özellikleri ve limit değerleri Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Türk Gıda Kodeksi Şarap Tebliği verileri

Özellikler	Standart Değerler
Toplam alkol	En fazla %15
Toplam asitlik (tartarik asit cinsinden)	En az 3,5 g/l
Tatlı şaraplarda toplam şeker	En az 45 g/l
Sek şaraplarda toplam şeker	En fazla 4 g/l
Toplam kükürtdioksit (SO ₂)	En fazla 300 mg

TGK: Tebliğ No: 2008/67

4.3. Şarabın Mikrobiyolojik Kalitesi

Birçok araştırmacı, çok sayıda bakteri ve mantarın şarabın kimyasal ve duyuşal özellikleri üzerindeki etkilerini tanımlamaya çalışmıştır. Bazı üzüm/şarap mikroorganizmaları, *Acetobacter* spp. bakterileri ve *Brettanomyces* spp. mayaları gibi şarap kalitesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilirken, bazı mikroorganizmalar faydalı olup şarapların duyuşal kalitesini artırabilir (Ciani & ark., 2010). Potansiyel olarak, hasat sonrası mikroorganizmalar şarabın kimyasal bileşiminin erken bir tahmindisi olarak kullanılabilir. Bazı araştırmacılar, üzüm ve şarap mikroorganizmalarının şarabın kimyasal bileşimiyle ilişkili bölgesel desenler sergilediğini ve bunun terroir'u etkileyebileceğini göstermiştir. Bölgesel mikrobiyel çeşitliliğe katkıda bulunan diğer faktörler arasında toprak tipi, iklim, topoğrafya, bağcılık uygulamaları ve şarap yapım teknikleri yer alır (Morrison-Whittle & Goddard, 2015; Bokulich, 2016). Üzümlerin şaraba fermentasyonu, birçok mikroorganizmayı içeren karmaşık bir biyokimyasal süreçtir.

Şarapta, diğer birçok gıda üretim sisteminin aksine, başlangıç bileşenlerinden (üzüm/şıra/ meyve suyu) istenmeyen mikroorganizmaları tamamen ortadan kaldırmak için çok az çaba sarf edilir. Örneğin, mikroorganizmalar fermentasyondan önce şıranın ısıtılmasıyla öldürülür. Bu, istenmeyen mikroorganizmaların bozulma sorunlarına neden olmasını önler. Ancak, şarap yapımı sırasında üzümlerde bulunan tüm mikroorganizmaları ortadan kaldırmak ne pratiktir ne de gereklidir. Bunun nedeni, fermentasyon sırasında hayatta kalabilen ve gelişebilen sınırlı sayıda mikrobiyel türün olması ve bunların patojenik olarak kabul edilmemesidir. Bu nedenle, şarap üreticileri hastalığa veya olumsuzluğa neden olabilecek mikroorganizmalar yerine şaraplarını bozabilecek mikroorganizmaları kontrol etmekle yetinirler. Bu, şarap yapım sürecinde mikrobiyel popülasyonları tamamen ortadan kaldırmaktan ziyade, yönetmeye ve kontrol etmeye odaklanılması anlamına gelir. Örneğin, şarap yapım sürecinin belirli aşamalarında belirli maya ve bakteri türlerinin gelişmesini teşvik etmek için çaba sarf edilirken, diğer aşamalarda mikrobiyel gelişmeyi en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için teknikler kullanılır. Bir şarap üreticisinin şarabını bu süreçte başarılı bir şekilde yönlendirebilmesi için, şarap yapımının her aşamasında hangi mikrobiyel türlerin mevcut olduğunu, bunların popülasyonlarının ne olduğunu ve bunların gelişmesini en iyi şekilde nasıl teşvik edeceğini, kontrol edeceğini veya önleyeceğini bilmesi gerekir. Üzümler doğal olarak farklı maya ve bakteri türlerini içerir. Bakterilerin farklı toleransları ve gelişme gereksinimleri olduğundan, bunların gelişmeleri alkolik fermentasyon (AF) ve malolaktik fermentasyon (MLF) sonucunda gerçekleşir (Osborne, 2010).

4.3.1. Alkolik ve Malolaktik Fermentasyon

Alkolik ve malolaktik fermentasyonlar sırasında, mikroorganizmaların gelişmesi, inhibitör maddelere karşı farklı toleranslarına ve değişen çoğalma gereksinimlerine göre gerçekleşir ve bu faktörler şarabın mikrobiyel ekolojisini belirlemede rol oynar. Örneğin, *Saccharomyces* harici mayalar genellikle sağlam üzümlerde 10^3 - 10^5 kob/mL arasında değişen sayılarda bulunur. Bununla birlikte, alkolik fermentasyonun başlangıcında, oksijen eksikliği ve yüksek etanol konsantrasyonu nedeniyle sayıları hızla azalır. Bu, daha fazla etanol toleranslı bir maya olan *Saccharomyces cerevisiae* (*S.cerevisiae*)'yi fermentasyonu tamamlayan baskın maya türü olarak bırakır. *Saccharomyces*, durma veya ölüm fazına girdiğinde alkollü fermentasyonun tamamlanmasına doğru, *Oenococcus* popülasyonları malolaktik fermentasyonu gerçekleştirmek üzere artabilir. Şarabın muhafazası veya yıllandırılması sırasında, *Acetobacter*, *Lactobacillus* ve *Pediococcus* gibi diğer birkaç bakteri ve *Brettanomyces* gibi bozukluk yapan mayalar çoğalabilir (Costello & ark., 1983; Fleet & ark., 1984; Nissen & Arneborg, 2003).

4.3.1.1. Mayalar

Üzümler ezildikten sonra, *Saccharomyces* olmayan mayalar çoğalır ve alkollü fermentasyonun erken evrelerinde en yüksek sayılara ulaşırlar. Bunların sayıları, üretim koşullarına bağlı olarak 10^6 ila 10^8 kob/mL kadar çıkabilir (Fleet, Lafon-Lafourcade & Ribéreau-Gayon, 1984). *Hanseniaspora/Kloeckera* normalde hasat sırasında üzümlerde bulunan baskın yerel mayalardır. Ancak aktiviteleri, ön fermentasyon ve alkollü fermentasyonun erken evreleriyle sınırlı olabilir ve alkol konsantrasyonu arttıkça

azalabilir. *Saccharomyces* normalde alkollü fermentasyonu tamamlar. Ancak 15-20°C'den düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen fermentasyonlar bu türlerin etanole olan duyarlılığını azaltabilir. Bu türler fermentasyonun sonunda baskın tür olarak *S.cerevisiae* ile eşitlenirse, şarap aroması üzerinde olumlu veya olumsuz bir etkiye sahip olabilirler. Üzümlerden izole edilebilecek diğer mayalar arasında *Brettanomyces*, *Dekkera* (*sporlu Brettanomyces*), *Candida*, *Pichia*, *Hansenula* ve *Torulopsistürleri* bulunur. Hastalıklı ve hasarlı üzümler, fermentasyonu olumsuz yönde etkileyebilecek önemli ölçüde daha fazla bozulma mayalarını barındırır. Bu mayalar, çoğunlukla glikoz ve fruktoz formunda olmak üzere 160 ila 240 g/L içeren üzümlerdeki şekeri metabolize edebilir. Ek olarak, bozulma maya türleri güçlü tat bozukluklarına neden olabilir ve kükürt dioksite karşı toleranslı olabilir (Markides, 1993; Jolly, Varela & Pretorius, 2014; Kelly, 2024).

4.3.1.2. Bakteriler

Mayalar gibi, LAB da alkolik fermentasyonda (AF) bulunur. Şıralardan ve şaraplardan LAB' lardan; *L. brevis*, *Oenococcus oeni* ve *Pediococcus* izole edilmiştir. LAB için tipik bozulma zamanı, fermentasyonların sonlanması sırasında ve oluşan şarabın düşük SO₂ ile kalıntı malik asit veya şeker içermesi anıdır. Sitrik asit ve glikoz metabolizması yoluyla asetik asit üretimine ek olarak, LAB' ın aktivitesinin sonucu şarapta başka kusurlara da neden olabilir. *Oenococcus oeni* gibi bazı LAB suşları faydalıdır. Bu bakteri, MLF sırasında, malik asidin laktik aside dekarboksilasyonunda rol oynar. Bu reaksiyon pH'yı artırır ve "daha yumuşak" bir ağız hissi ile sonuçlanır. Ayrıca "tereyağlı" bir karakter yaratan diacetyl de üretilir. Şarap stiline bağlı olarak 1 mg/L ila 4 mg/L diacetyl

istenirken, yüksek konsantrasyonlar (>5-7 mg/L) bir bozulma özelliği olarak kabul edilir. Duyusal özelliklere ek olarak, asetik asit ve LAB metabolizmasının ürünleri *Saccharomyces'* e inhibitör olarak etki edebilir. Bu, fermentasyonun başlangıcında gecikmeye neden olabilir veya daha sonra fermentasyonun durmasıyla sonuçlanır. Yavaş bir fermentasyon asla malolaktik bakterilerle aşılammalıdır. Bakteriler glikozu ve fruktozu asetik aside metabolize edebilir ve volatil asitliği (VA) 1 g/L veya daha fazla artırabilir. VA genellikle eski fiçılarda veya daha fazla oksidatif ortamlarda üretilen şaraplarda görülür. Çünkü bakterilerin daha az steril koşullarda çoğalması daha kolaydır. Asetik asit bakteri (AAB) grubundaki bakteriler arasında *Acetobacter* ve *Gluconobacter* bulunur. Asetik asit oluşturmak için aerobik olarak etanol (ve glikoz) kullanırlar. İkisi arasında *Acetobacter* daha sık karşılaşılanıdır. *Acetobacter* fiçıda veya şişede bulunan şaraplarda gelişebilir ve berraklaştırma ve olgunlaşma sırasında emilen az miktarda oksijeni kullanabilir. AAB tarafından bozulmanın en ciddi sonucu, daha önce belirtildiği gibi yüksek seviyelerde asetik asit (uçucu asitlik) üretimidir. Meyve bozulmasının gerçekleşmediği ve alkollü fermentasyonun hızla başladığı durumlarda, AAB popülasyonları <100 kob/mL'ye düşer. *Gluconobacter*, havalandırılrsa bile şarabın alkollü ortamında hayatta kalamaz. Yavaş fermente olan veya sıkışmış AF'da, karbondioksit seviyelerinin oksijen alımını engellemeye yetmediği durumlarda, AAB gelişebilir (Zoecklein & ark., 1990; Fugelsang & Edwards, 2007; Kelly,2024).

4.3.2.Fermentasyon Sonrası

4.3.2.1.Mayalar

Şarapların olgunlaşması sırasında, bazılarında bozulmaya neden olabilen çeşitli mayalar ve bakteriler çoğalır. Mahzende olgunlaştırılan şaraplardaki maya türlerinin dağılımı arasında *Dekkera/Brettanomyces*, *Candida* ve *Zygosaccharomyces* gibi mayalar bulunur. Maya bozulmasının en yaygın biçimi *Brettanomyces bruxellensis'* ten kaynaklanır. Bu maya uçucu fenoller ve asetik asit üretir. *Brettanomyces*, fıçıdan çıkarıldıktan 6-10 ay sonra kırmızı şarabı enfekte edebilir ve şişelenmiş şarapları da bozabilir. Meyve sinekleri tarafından da bulaşabilir. Üretimde fıçıda bekletmenin bir yan ürünü olan disakkarit selobiyoz ortamında gelişebilir. Bu mayanın kontrolü zordur. Çünkü kükürt dioksite dayanıklıdır (Zoecklein & ark., 1990; Kelly, 2024).

4.3.2.2.Bakteriler

LAB için tipik bozulma süreleri, düşük SO₂ ve kalıntı malik veya şeker içeren şarapları içerir. Sitrik asit ve glikoz metabolizması yoluyla asetik asit üretimine ek olarak, LAB daha önce tartışılan birkaç başka hataya da neden olabilir. AAB' nin gelişmesi, artan besin kaynağı nedeniyle şarap mayalarının ve *Oenococcus oeni'* nin otolizi ile teşvik edilebilir (Kelly,2024).

4.3.3. Mikrobiyel Etkileşimler

Toprakta, asmada ve meyvede ve hatta mahzende bulunan binlerce bakteri, maya ve filamentli mantar türleri, “mikrobiyom” olarak bilinen toplulukları oluşturur. Bu mikroorganizmalar, bağda ve şarap yapım sürecinin her aşamasında bulunurlar. Önemli miktarda maya ve bakteri biyoçeşitliliği farklı zamanlarda

görülebilmek ve tüm süreç boyunca bunlar arasında bir etkileşim mevcuttur (Fugelsang & Edwards, 2007). Şarap mikrobiyotası, şarap bileşimini doğrudan etkileyen, oenological (önolojik) öneme sahip birçok metabolitin üretimi ve sentezinde doğrudan yer alan yoğun ve çeşitli bir ekosistemdir. AF ve MLF sırasında maya ve LAB türlerinin ve türler içindeki suşların biyolojik çeşitliliği ve çoğalmaları, şarabın kalitesini büyük ölçüde etkiler. Başlatıcı kültürlerin kullanılması, fermentasyon sürecinin daha iyi kontrol edilmesine ve istenilen özelliklere sahip şarapların üretilmesine olanak sağlamıştır. Seçilmiş *Saccharomyces* dışı ve *Saccharomyces* mayaları ile karışık kültür fermentasyonları, önolojik açıdan ilgi duyulan çok çeşitli metabolitleri modüle etme potansiyelleri nedeniyle son yıllarda yeniden ilgi odağı olmuştur. Bu bağlamda, AF ve MLF boyunca maya türleri ve laktik asit bakterileri arasındaki etkileşimlerin, şarapların ana enolojik parametrelerini ve aromatik profilini etkilediği bilinmektedir. AF ve MLF'yi daha iyi kontrol etmek amacıyla bu etkileşimlerin doğasını ortaya çıkarmak için çalışmalar yapılmıştır (Englezos & ark., 2022).

Şarap üretiminin mikrobiyel ekolojisini etkileyen birçok faktör vardır ve bunların en önemlisi meyve suyunun kimyasal bileşimi ve fermentasyon süreçleridir. Farklı maya ve bakteri türlerinin karışımları mevcut olduğunda, mikroorganizmalar arasında etkileşimlerin meydana gelme olasılığı yüksektir. Mikroorganizmalar arasındaki ilk önemli etkileşimler, bağdaki üzümün yüzeyinde meydana gelir. Etkileşimler AF boyunca maya, MLF ve LAB tarafından devam ettirilir (Alexandre, & ark., 2004; Ciani & ark., 2010). Üzüm suyunda mayaların erken gelişmesi, mevcut besin maddelerinin azalmasına neden olabilir ve sonuç

olarak şarap mikrobiyel çoğalmayı destekleyemez. Ek olarak, bu tür gelişme, bazıları diğer organizmalar için toksik olabilen çeşitli metabolitler üretir. Etanol ve kısa zincirli yağ asitlerinin bazı mikroorganizmalar üzerindeki engelleyici etkileri belirlenmiştir. Karbondioksit üretimi ve meyve suyunun/şarabın temizlenmesi, oksijene maruziyeti sınırlayarak AAB grubundaki aerobik bakteri türlerinin gelişmesini sınırlayabilir (Bisson, 1999; Fleet, 2003, Kelly,2024).

Bazı bakteri türleri de, hücre duvarı veya zarının yırtılması nedeniyle hücrenin yok edildiği bir süreç olan “lizis” yoluyla diğer türleri yok eden inhibitör peptitler, proteinler veya glikoproteinler ve enzimler üretebilir. Ancak, mikrobiyel çoğalmanın artmasına yol açan mekanizmalar da vardır. Fermentasyon sırasında çoğalan maya biyokütlesi tahrip olmak suretiyle otolize olarak, sonuçta amino asitler ve vitaminler ortama salınır. Bunlar, üretimde daha sonra diğer türlerin gelişmesini teşvik edebilir. Ek olarak, bu biyokütle, toksik maddeleri (örneğin, metal iyonları, fenoller) gidermek için bir biyo-adsorban olarak işlev görebilir. Proteolitik ve pektolitik maya türleri, enzimlerin etki ettiği substratları (maddeler) üretmek için meyve suyundaki proteinleri ve pektinleri hidrolize edebilir. Bu da diğer türlerin olası gelişmesine neden olabilir. Üzümlerin kabuğunda ve yüzeyinde oluşan hasar, mikrobiyel gelişme için besin maddelerinin bulunabilirliğini artırır. Bu da artan bir popülasyonu ($>10^6$ kob/g) ve maya çeşitliliğini teşvik eder. Bu mayaların, hasarlı meyvelerde de gelişecek olan filamentli mantarları, asetik asit bakterilerini ve laktik asit bakterileri gibi diğer mikroorganizmalarla birlikte var olmalarını sağlar (Charoenchai & ark., 1997; Fleet, & ark., 2002; Fleet, 2003).

Maya-bakteri etkileşiminin bir örneği MLF' dir. Bu fermentasyon sırasında *Oenococcus oeni'* nin çoğalması l-malik asidi l-laktik aside dönüştürerek şarabın asitliğini azaltır. Şarap aroması, ek metabolitlerin üretimiyle oluşur. Şarabın mikrobiyolojik kalitesi de, besin maddelerinin uzaklaştırılmasıyla elde edilir (Fleet, 2003). Şaraplarda *Oenococcus oeni'* nin gelişmesini ve MLF' nin ilerlemesini etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar arasında maya-bakteri etkileşimleri çok önemli olabilir. Araştırmalar, alkollü fermentasyondan sorumlu *S. cerevisiae* suşunun/suşlarının *Oenococcus oeni'* nin gelişmesini ve dolayısıyla MLF' yi engelleyebileceğini göstermektedir. İlişki, hem maya hem de bakteri seviyelerinde büyük ölçüde suşa bağlıdır(Markides,1993). Maya-maya etkileşimleri, diğerlerinde olduğu gibi, negatif veya pozitif olabilir. *S. cerevisiae* tarafından üretilen etanol, fermentasyon sırasında maya çeşitliliğini etkileyen ana bileşiktir. Liu & ark., 2017). Çoğu maya, %3-10 (v/v) etanol konsantrasyonunun üzerinde yaşayamaz. Ancak, bazı *Saccharomyces* olmayan mayalar, alkole karşı yüksek dirençleri nedeniyle asetik fermentasyonun sonuna kadar yaşayabilir. Örnekler arasında *Torulaspora delbrueckii*, *Zygosaccharomyces bailii* ve *Pichia* spp. bulunur (Jolly, Varela & Pretorius, 2014).

Negatif etkileşimin en bilinen örneklerinden biri, bir suşun gelişmesinin bir diğerinin bir arada bulunması ve metabolit salgıları tarafından kısıtlanmasıdır. En uç örnek ise öldürücü fenomendir. Bu, belirli maya suşları (öldürücü mayalar) tarafından daha hassas olan diğer suşları öldüren belirli hücre dışı proteinlerin ve glikol proteinlerinin üretilmesiyle gerçekleşir (Bevan & Makover, 1963). Bu fenomen, fermentasyon boyunca çeşitli maya suşlarının varlığına

katkıda bulunur. *Saccharomyces* olmayan maya suşlarının, diğer *Saccharomyces* olmayan mayalara karşı antimikrobiyel aktiviteye sahip olduğu saptanmıştır. Ayrıca *Brettanomyces/Dekkera* dahil olmak üzere bozulmada etkin mayalara karşı da antimikrobiyel etki gösterdiği belirlenmiştir. *Saccharomyces* olmayan şarap mayalarının ticari suşları mevcuttur. Tipik olarak, *Saccharomyces* olmayan maya aşılır ve ardından bir *Saccharomyces* suşu eklenir. Bu, şarap üreticisine kontrollü bir ortamda istenilen fermentasyonun oluşmasına olanak sağlar (Kelly,2024).

Şarap üretimi için üzüm ve fermente sırası, belirli maya ve bakteri türlerinin varlığını ve aktivitesini belirleyen karmaşık bir ekolojik uygunluğu temsil eder (Ciani & ark., 2016). *S.cerevisiae'* nin sıklıkla baskın olmasına rağmen, spontan ve aşılınmış şarap fermentasyonları sırasında çok çeşitli *Saccharomyces* harici mayaların ve LAB' ın da mevcut olduğu genel olarak kabul edilir. *Saccharomyces* olmayan mayalar ve LAB ayrıca üzüm şekerlerinin etanol, karbondioksit ve şarabın lezzet profili için gerekli olan diğer ikincil metabolitlere dönüşümüne önemli ölçüde katkıda bulunur (Dzialo & ark., 2017).

Başarılı karma kültür fermentasyonları, *Saccharomyces* olmayan mayaların metabolik aktivitelerini ve hayatta kalma sürelerini artırarak daha fazla katkı sağlamaları elde edilebilir (Morrison Whittle & Goddard, 2018). Yakın zamana kadar bilim insanları, *Saccharomyces* olmayan mayaların; fermentasyon sırası bileşimindeki değişikliklere (artan etanol seviyeleri, besin tükenmesi) direnç gösterme kapasitelerinin düşük olması nedeniyle alkolik fermentasyonun başlangıç aşamalarında öldüğüne ve yok

olduğuna inanıyordu. Bununla birlikte, ayrıntılı alışmalar, *Saccharomyces* dışı maya ve bakterilerin hayatta kalma suresinin ve yok olma nedeninin, mikroorganizmalar arasında çeşitli turde antagonistik etkileşimleri içerdiğini göstermiştir (Liu & ark., 2017).

Saccharomyces olmayan mayaların şarap kalitesi üzerindeki etkisi, doğal bir popülasyondan veya aşılanmış bir suştan (ticari veya diğer) kaynaklansa da, büyük ölçüde fermente edilen meyve suyundaki başlangıç popülasyonuna (mikrobiyel sayılar ve tur çeşitliliği) bağlıdır. Ozmotik basınc (şeker seviyesi), glukozun fruktoza oranı, mayanın zmseyebildiği nitrojen, kükürt dioksitin (SO₂) varlığı, sıcaklık, berraklaştırma derecesi (beyaz şıralar için) ve aşılanmış *S. cerevisiae*' nin varlığı/yokluğu, şıra özellikleri, başlangıçtaki *Saccharomyces* olmayan popülasyonun aktivitesini etkiler (Padilla & ark., 2016).

şaraplarda mikrobiyolojik kalite kriterleri değerlendirilirken kontamine olabilecek mikroorganizmaların tespiti ve kabul edilebilir limit değerlerinin belirlenme süreçleri tamamlanır. şarapta bakteriler, küfler ve mayalar mikrobiyolojik kalite kriterlerini oluşturarak, şarabın raf ömrünü etkileyebilmektedir (Cus & ark., 2010).

Neticede; şarap fermentasyonunun sadece mayanın şekeri kullanıp alkole dnşturmesi gibi basit bir süreç olmadığı sonucuna varılabilir. Aksine, çok hoş bir içecek elde etmek için çok karmaşık bir fermentasyon sürecidir. Alkol sadece fermentasyonun son ürünü değerdir. Çünkü süreç aynı zamanda şarabın duyusal ve besin değerine olumlu veya olumsuz katkıda bulunan diğer alt ürünlerle de sonuçlanır. Ayrıca, farklı mikroplar çeşitli substratların

dönüşümünde katalizör görevi gördükleri için duyuşal ve besinsel özellikler üzerinde farklı etkilere sahip olacaktır. Farklı mikroorganizmalar tarafından üretilen kimyasalların ve enzimlerin düzenlenmesi üzerine gelecekteki çalışmalar, ürünün kalitesini artırmak için stratejiler tasarlamaya yardımcı olacaktır (Rai, Bhagat, & Anu Appaiah, 2013). Ancak, şarap endüstrisinin karşı karşıya kaldığı sorunlar, bazı fırsatların değerlendirilmesine yardımcı olabilir. Tablo 3’ de şarap teknolojisinde yaşanan sorunlar ve teknolojik fırsatlar gösterilmektedir.

Tablo 3. Gelecekte şarap mikrobiyolojisi üzerine yapılacak araştırma konuları ve elde edilecek sonuçların teknolojiye yararları

Konu	Sağlanacak Yararlar
Şarap mikroorganizmaları arasındaki etkileşim mekanizmalarının daha fazla araştırılması	Fermentasyon sürecinin tam-kontrolü ve spesifik mikroorganizmaların üründe kullanımı
Mikrobiyel dinamikler bilgisinin entegrasyonu ve şarap üzerindeki etkileri	Şaraptaki spesifik metabolitlerin konsantrasyonunun modülasyonu
Şarap üretiminde omic tabanlı teknolojik imkanların araştırılması	Omics tabanlı teknolojiler kullanılarak fermentasyon sırasında mikroorganizmaların davranışının daha iyi tahmini
Biyoprotektif mikroorganizmalar kullanılarak daha az SO ₂ içeren şarap üretimi	Sağlık açısından olumsuz olduğu düşünölen kimyasal katkı maddeleri içermeyen şaraplara yönelik tüketici taleplerinin karşılanması
Düşük SO ₂ ilavesinin mikrobiyel etkileşimlere etkisinin tespiti	Şaraplarda iyileştirilmiş SO ₂ uygulanması

Kaynak: Englezos & ark., 2022

5. Sonuç

Şarap yapımının başlangıcı bilinmemekle birlikte, tarihinin 7000 yıl öncesine dayandığı tahmin edilmektedir. İlk şarabın bilinçli olarak değil, kendiliğinden üretildiğini kanıtlayan bazı bilimsel kanıtlar da bulunmaktadır. Arkeolojik kazılar, ilk asmanın anavatanının İran, Gürcistan ve Türkiye olduğunu göstermektedir. Şarabın M.Ö. 4000'de yapıldığı, daha sonra şarap üretiminin Hititler, Lidyalılar ve diğer medeniyetlerde yayıldığı bilinmektedir.

Şarap, bağda başlayan ve fermentasyon süresince ve paketlemeye kadar devam eden mayalar, mantarlar ve bakteriler arasındaki karmaşık etkileşimlerin ürünüdür. Bu ilişkiler şarap kalitesi üzerinde olumlu veya olumsuz bir etkiye sahip olabilir. Şarap, çoğunluğu üzümlerden gelen vitaminler ve mineraller gibi binin üzerinde bileşikten oluşurken, etanol ve gliserol gibi diğerleri şarap yapım sürecinin ürünleridir. Alkollü fermentasyon, mayaya etkileşimlerinin ekolojiyi belirlediği çeşitli maya türlerinin ve suşlarının ardışık gelişmesiyle karakterize edilir. Maya-bakteri etkileşimleri, malolaktik fermentasyon'un ilerlemesini ve nihai üründe bozulma bakterilerinin potansiyel gelişmesini belirleyebilir. Şarap fermentasyonu, alkolün tek nihai ürün olmadığı karmaşık bir süreçtir. Fermentasyon ayrıca, şarabın kalitesi üzerinde olumlu veya olumsuz etkisi olan çeşitli diğer bileşiklerin üretimine ve dönüşümüne de öncülük eder.

Şarap üretiminde kullanılan hammaddenin kalitesi ve uygunluğu son ürün kalitesini etkileyen başlıca parametrelerden biridir. Şarap üretiminde uygun olmayan hammadde kullanımı şarabın duyuşal, fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesini olumsuz yönde etkileyebildiği tespit edilmiştir. Yapılan

çalışmalarda mikrobiyolojik kalite açısından şaraplarda karşılaşılan mikotoksin oluşumu ve en yaygın görülen mikotoksin çeşidi okratoksin A'nın oluşum sürecini değerlendirirken yine temel kaynağın kullanılan hammadde, uygulanan üretim metodu ve muhafaza koşullarına bağlı olduğu görülmüştür. şarap endüstrisi, tarihsel kökenlerine dayanan güçlü bir mirasa sahip olmasının yanı sıra, sürekli olarak değişen pazar taleplerine ve çevresel koşullara uyum sağlama yeteneği ile de öne çıkmaktadır. şarap üretiminde kullanılan üzüm çeşitlerinin seçimi, üretim teknikleri ve çevresel sürdürülebilirlik konularında yapılan yenilikler, endüstrinin gelecekteki başarısı için kritik öneme sahiptir. Mikotoksinler gibi mikrobiyel risk faktörlerinin yönetimi, şarap kalitesinin ve tüketiciler güvenliğinin sağlanması açısından büyük bir önceliktir. Bu bağlamda, şarap üreticilerinin bilgi ve deneyimlerini sürekli olarak güncelleyerek, yüksek kaliteli ve güvenli ürünler üretmeleri gerekmektedir. şarap endüstrisi, ekonomik gelişmeye katkı sağlarken, kültürel mirası koruma ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma konusunda da önemli bir rol oynamaya devam edecektir.

6. Kaynaklar

Alexandre, H., Costello, P. J., Remize, F., Guzzo, J. & Guilloux-Benatier, M. (2004). *Saccharomyces cerevisiae-Oenococcus oeni* interactions in wine: Current knowledge and perspectives. *Int. J. Food Microbiol.* 93:141–154.

al-Hassan,A.Y. & Hill, D.R. (1992). *Islamic Technology: An Illustrated History*. 1st ed., Publisher: Cambridge University Press, 322 p.

Allen, H.W. (1961). *A History of Wine*. Publisher: Faber and Faber, 304 p.

Amerine, M.A. Berg, H.W. Crues, W.V. (1972). *The Technology of Winemaking*. The AVI Publishing Campnay, Inc, Vesport, Connecticut. Official Publications of the European Communities, 194 s.

Amerine, M.A.(2024). Wine. In: *Encyclopaedia Britannica*. Encyclopaedia Britannica, Inc., Publisher: Encyclopaedia Britannica, Inc. (29 May 2024 tarihinde <https://www.britannica.com><https://www.britannica.com/topic/wine> adresinden ulaşılmıştır).

Araujo L. D., Parr W., Grose., Hedderley D., Masters O., Kilmartin P. & Valentin D. (2021). In-mouth attributes driving perceived quality of Pinot noir wines: Sensory and chemical characterisation, *Food Research International*,149 (4).

Barbe J.C., Garbay J. & Tempere S.(2021). The Sensory Space of Wines: From Concept to Evaluation and Description. A Review. *Foods*, 10(6), 1424.

Basalekou M., Tataridis P., Georgakis K. & Christos T. (2023). Measuring Wine Quality and Typicity, *Beverages*, 9(2), 41.

BBC News (BBC). (11 January 2011). *Oldest known wine-making facility' found in Armenia*. BBC News (BBC). (14 Temmuz 2024 tarihinde <http://www.bbc.co.uk/news/world-europe-12158341> adresinden ulaşılmıştır).

Belda, I., Zarraonaindia, I., Perisin, M., Palacios, A., & Acedo, A. (2017). From vineyard soil to wine fermentation: Microbiome approximations to explain the “terroir” concept. *Frontiers in Microbiology*, 8, 821.

Berkowitz, M. (September/October 1996). World's Earliest Wine. *Archaeology (Archaeological Institute of America)* 49 (5).

Bevan, E.A. & Makover, M. (1963). The physiological basis of killer character in yeast. In: *Genetics Today: Xth International Congress for Genetics*, pp. 53–58. Geets, S. J., Ed., Pergamon Press, Oxford.

Bisson, L.F. (1999). Stuck and sluggish fermentations. *American Journal of Enology and Viticulture*, 50,1, 107-119.

Bokulich, N.A., Cooins, T.S., Masarweh C., Allen, G., Heymann, H. & Mills, D.A. (2016). Associations among wine grape microbiome, metabolome, and fermentation behavior suggest microbial contribution to regional wine characteristics. *mBio*, 7(3):e00631-16.

Borazan, A. A., Bozan, B. (2006). Kırmızı Şarapta Uygulanan Fermantasyon Tekniklerinin Polifenoller Üzerine Etkisi. UKMK-7, Eskişehir.

Boulton, B., Singleton, L., Bisson, F., Kunkee, E. (1999). *Principles and Practice of Winemaking*. Springer Science Business Media, New York.

Bozalongo, R., Carrillo, J.D., Torroba, M.A.F. & Tena, M.T. (2007). Analysis of french and american oak chips with different toasting degrees by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1173 (1-2):10-17.

Britannica. (2024). *Wine Definition, History, Varieties, & Facts*. (17.08.2024 tarihinde www.britannica.com. adresinden ulaşılmıştır).

Cabaroğlu, T.(1995). Nevşehir-Ürgüp Yöresinde Yetiştirilen Beyaz Emir Üzümünün ve Bu Üzümden Elde Edilen şarapların Aroma Maddeleri Üzerinde Araştırmalar. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 152s.

Charoenchai, C., Fleet, G.H., Henschke, P.A. & Todd, B. E.N.T. (1997). Screening of non- *Saccharomyces* wine yeasts for the presence of extracellular hydrolytic enzymes. *Austr. J. Grape Wine Res.*, 3,2–8.

Cherpion, N., Kruchten, J.M. & Ménassa, L. (1999). *Deux tombes de la XVIIIe Dynastie à Deir el-Medina N° 340 (Amenemhat) et 354 (anonyme)*. Publisher: Institut Francais d'Archeologie Orientale, Le Cairo, pp.95-97.

Christaki, T. & Tzia, C. (2002). Quality and safety assurance in winemaking. *Food Control*, 13, 503- 517.

Chrysopoulos, P.(2023). *The history of wine in ancient Greece*. (14 Temmuz 2024 tarihinde <https://greekreporter.com/2023/06/17/wine-ancient-greece> adresinden ulaşılmıştır).

Ciani, M., Capece, A., Comitini, F., Canonico, L., Siesto, G. & Romano, P. (2016). Yeast interactions in inoculated wine fermentation. *Frontiers in Microbiology*, 7, 555.

Ciani, M., Comitini, F., Mannazzu, I. & Domizio, P. (2010). Controlled mixed culture fermentation: A new perspective on the use of non- *Saccharomyces* yeasts in winemaking. *FEMS Yeast Res.*, 10,123–133.

Considine,J.A. & Frankish,E.(2023). *A Complete Guide to Quality in Small-Scale Wine Making*.Second Ed., Elsevier, 240 p.

Costello, P.J., Morrison, G.J., Lee, T.H. & Fleet, G.H.(1983). Numbers and species of lactic acid bacteria in wines during vinification. *Food Technol. Aust.*, 35, 14–18.

Cus F., Cesnik H.B., Bolta S.V. & Gregorcic A. (2010). Pesticide residues and microbiological quality of bottled wines. *Food Control*, 21,2, 150-154.

Deryaoğlu, A.(1997). Elazığ Yöresinde Yetişen Siyah şaraplık Boğazkere ve Öküzgözü Üzümlerinin Olgunlaşması Sırasında Meydana Gelen Fiziksel ve Kimyasal Değişmeler. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Müh. Anabilim Dalı Doktora Tezi, Adana,148 s.

Duran E., Eryücel Ö. & Özcan Z. (2019). şarap üretimi ve tüketiminin Türkiye turizmindeki yeri: kadim Anadolu bağ rotası

başlangıç noktası olarak Çanakkale örneği. *Turizm ve Araştırma Dergisi*, 8,1,70-83.

Dzialo, M.C., Park, R., Steensels, J., Lievens, B., & Verstrepen, K.J. (2017). Physiology, ecology and industrial applications of aroma formation in yeast. *FEMS Microbiology Reviews*, 41, 95–128.

Eijkhoff, P.(2000). *Wine in China: its historical and contemporary developments*. Nederlands Wijngilde, Utrecht. Wine in China.pdf (eykhoff.nl).

Englezos, V., Neşeli, N., Di Gianvito, P., Rantsiou, K. & Cocolin, L. (2022). Microbial interactions in winemaking: Ecological aspects and effect on wine quality. *Trends in Food Science & Technology*, 127, 99-113.

Espejo F. (2021). Role of commercial enzymes in wine production: a critical review of recent research. *Journal of Food Science and Technology*, 58,1, 9-21.

Etievant, P.X. (1991). Wine. In: *Volatile Compounds in Food and Beverages*, H.Maarse (ed.), Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 483-546.

Feh'er,J., Lengyel,G. & Lugasi,A. (2007). The cultural history of wine - theoretical background to wine therapy. *Central European Journal of Medicine*, 2,4,,379–391.

Fernandez-Cruz, M.L., Mansilla, M.L. & Tadeo, J.L. (2010). Mycotoxins in fruits and their processed products: Analysis, occurrence health implications. *Journal of Advanced Research*,1, 2,113-122.

Ferreira, V., Ardanuy M., Lopez R. & Cacho J.F. (1998). Relationship Between Flavor Dilution Values and Odor Unit Values in Hydroalcoholic Solutions: Role of Volatility and a Practical Rule for its Estimation. *J.Agric. Food Chem.*, 46, 4341-4346.

Fleet, G.H. (2003). Yeast interactions and wine flavour. *Int. J. Food Microbiol.*, 86,11–22.

Fleet, G.H., Lafon-Lafourcade, S. & Ribéreau-Gayon, P. (1984). Evolution of yeasts and lactic acid bacteria during fermentation and storage of Bordeaux wines. *App. Environ. Microbiol.*, 48,1034–1038.

Fleet, G.H., Prakitchaiwattana, C., Beh, A. & Heard, G. (2002). The yeast ecology of wine grapes. In: *Biodiversity and Biotechnology of Wine Yeasts*. Ciani, M., (ed)., Research Signpost, Kerala, pp. 1–17.

Fugelsang, K.C. & Edwards, C.G.(2007). *Wine Microbiology-Practical Applications and Procedures*. Second ed., Springer, Boston, MA.

Gernet, J. (1962). *Daily Life in China on the Eve of the Mongol Invasion, 1250-1276*. 1st Edition, Translated from the French by H. M. Wright, Stanford University Press Stanford, California, 254 p.

Gil-Muñoz, R., Gómez-Plaza, E., López-Roca, J.M., Martinez Cutillas, A.,Carreño Espin, J. & Fernandez, J.I. (1998). Color Evolution During Storage of Red Wines From *Vitis vinifera* L. c.v. Monastrell. Polyphénols Communications 98, XIXèmes Journées Internationales d'Etude des Polyphénols, Lille, France, 361-362.

Gomez, E., Martinez, A., Barron, L.J.R. & Diez, C.(1995). Change in Volatile Compounds During Maturation of Same Grape Varieties. *J. Science Food and Agriculture*, 51, 337-343.

Gorny, R.L. (1996). Viticulture and Ancient Anatolia. In: McGovern,P.E., Fleming,S.J. & Katz,S.H.(eds.), *The Origins and Ancient History of Wine*, 1st Edition, Vol 11, Taylor&Francis: Gordon and Breach Publisher, pp.135-180.

Guasch-Jane´M.R., Andre´s-Lacueva, C.,Ja´ uregui, O. & Lamuela-Ravento´s, R.M. (2006a). The origin of the ancient Egyptian drink Shedeh revealed using LC/MS/MS. *Journal of Archaeological Science*, 33, 98-101.

Guasch-Jane´M.R., Cristina Andre´s-Lacueva, C., Ja´uregui, O. & Lamuela-Ravento´s, R.M. (2006b). First evidence of white wine in ancient Egypt from Tutankhamun´s tomb. *Journal of Archaeological Science*, 33, 1075-1080.

Gutierrez-Escobar R., Aliano-Gonzalez M.J. & Cantos-Villar E. (2021). Wine Polyphenol Content and Its Influence on Wine Quality and Properties: A Review. *Molecules*, 26,3, 718.

Jackisch, P. (1985). *Modern Winemaking*. Cornell University Pres. Ithaca and London.

Jackson, R.S. (2000). *Wine Science*. Acedemic Press, Elsevier Science, USA,648 s.

Johnson,H. (2004). *The Story of Wine*. Publication:Mitchell Beazley, 256 p.

Jolly N.P., Varela, C. & Pretorius, I. (2014). Not your ordinary yeast: non- *Saccharomyces* yeasts in wine production uncovered. *FEMS Yeast Research*,14,2, 215–237.

Kaya, Z. (2017). Şarap Üretimi ve Kalite. *Aydın Gastronomy*, 1 (2):17-30.

Kelebek, H., (2009). Değişik Bölgelerde Yetiştirilen Öküzgözü, Boğazkere ve Kalecik Karası Üzümlerinin ve Bu üzümlerden Elde Edilen Şarapların Fenol Bileşikleri Profili Üzerine Araştırmalar. Çukurova Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü. Gıda Müh. Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana, 259 s.

Kelly, M. (2024). *What's in the Wine Microbiome?* A review of microbial ecology throughout the fermentation process. The Pennsylvania State University.

Keys, D. (28 December 2003). *Now that's what you call a real vintage: professor unearths 8,000-year-old wine. Independent.* (14 Temmuz 2024 tarihinde <https://www.independent.co.uk/news/science/now-that-s-what-you-call-a-real-vintage-professor-unearths-8-000yearold-wine-84179.html> adresinden ulaşılmıştır).

Linskens, H.F. & Jackson J.F. (2009). *Wine Analysis: Modern Methods of Plant Analysis*. Springer International Edition, 398p.

Liu,Y.Z., Rousseaux,S., Tourdot-Marechal,R., Sadoudi,M., Gougeon,R., Schmitt-Kopplin,P. and Alexandre, H. (2017). Wine microbiome: A dynamic world of microbial interactions. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57,4, 856-873.

Macheix,J.J., Sapis, J.C., Fleuriet, A.(1991). Phenolic Compounds and Polyphenoloxidase in Relation to Browning in Grapes and Wines. *Food Science and Nutrition*, 30,3, 441-486.

Markides, A. (1993). Factors influencing the growth of malolactic bacteria and malolactic activity in wine-interactions between wine yeast and lactic acid bacteria. *Australian Grapegrower and Winemaker*.

Metcalfe, T. (2020). *National Geographic*. (18.08.2024 tarihinde <https://www.nationalgeographic.com/history/article/2600-year-old-wine-factory-unearthed-lebanon> adresinden ulaşılmıştır).

Morrison-Whittle, P. & Goddard, M.R. (2015). Quantifying the relative roles of selective and neutral processes in defining eukaryotic microbial communities. *ISME*, 9,9,2003-2011.

Morrison-Whittle, P. & Goddard, M.R. (2018). From vineyard to winery: A source map of microbial diversity driving wine fermentation. *Environmental Microbiology*, 20, 75–84.

Neiman, O. (2015). *Le Vin C'est Pas Sorcier*. Yayıncı: Marabout; Resimli baskı, İstanbul, 240 p.

Nissen, P. & Arneborg, N. (2003). Characterization of early deaths of non-*Saccharomyces* yeasts in mixed cultures with *Saccharomyces cerevisiae*. *Arch. Microbiol.*, 180, 257–263.

Nowak, B and Wichman,B. (2020). Her Yönüyle Şarap. Yayınevi: Akılçelen Kitaplar, İstanbul, 330 p.

Osborne, J.P.(2010). Advances in microbiological quality control. In: Reynolds,A.G. (ed.), *Managing Wine Quality*. Volume

1: Viticulture and wine quality. CRC Press, Washington, DC, pp.162-181.

Padilla, B., Gil, J. V., & Manzanares, P. (2016). Past and future of non-*Saccharomyces* yeasts: From spoilage microorganisms to biotechnological tools for improving wine aroma complexity. *Frontiers in Microbiology*, 7, 411.

Pellechia, T.(2006).*Wine: The 8,000-Year-Old Story of the Wine Trade*. First ed., Publisher : Running Press, London, 272 p.

Pinney,T.(1989). *A History of Wine in America:From the Beginnings to Prohibition*. University of California Press, Berkeley, 572 p.

Pinto da Silva L. & Esteves da Silva J.C.G. (2022). Evaluation of the carbon footprint of the life cycle of wine production: A review. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 2.

Plutarch, M. (1936). *Isis & Osiris*. University of Chicago. (14 Temmuz 2024 tarihinde http://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Plutarch/Moralia/Isis_and_Osiris*/A.html adresinden ulaşılmıştır).

Poo, M.C. (2014). *Wine and Wine Offering in the Religion of Ancient Egypt*. 1st edition, Publisher: Routledge, 256 p.

Rai,A.K. Bhagat,M. & Anu Appaiah,K.A. (2013). Wine Fermentation: Microbial Ecology and Their Influence on Biochemical Changes during Fermentation, Chapter 23, In: Tiwari,S.P., Sharma,R. and Singh,R.K.(eds)., *Recent Advances in Microbiology*. Volume 1, pp.421-439.

Ribereau-Gayon P., Glories Y., Maujean A., Duourdieau D., (2006). Phenolic Compounds. In: *Handbook of Enology. The Chemistry of Wine and Stabilization and Treatments* (2nd ed., Vol. 2). John Wiley and Sons Ltd. 141-199.

Ribéreau-Gayon, P.(1982). *The Anthocyanins of Grapes and Wines. Anthocyanins as Food Colors*. Academic Pres, Inc., Orlondo, FL, 209-243.

Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y.(1986). Phenolics in Grapes and Wine. Proceeding of the Sixth Australian Wine Industry Technical Conference, Terry Lee, Adelaide, South Australia, 14-17 July, 1986, 247-256.

Ribereau-Gayon,J. & Peynaud,E. (1972). Oenologie. Çeviri: Taylan, T., (Çeviren), *İlmi Şarapçılık-Oenologie. Üzüm ve Fermantasyon*. Birinci Kitap, Tekel Enstitüleri Yayınları, No.5, İstanbul.

Ribéreau-Gayon,P., Glories,Y., Maujean,A., & Dubourdieau,D. (2000). *Handbook of Enology*, Volume 2, The Chemistry of Wine-Stabilization and Treatments. 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd., England,441p.

Rouxinol M.I., Martins M.R., Murta G.C., Barroso J.M. & Rato A.E.(2022). Quality Assessment of Red Wine Grapes through NIR Spectroscopy. *Agronomy*,12,3, 637.

Sandler, M. & Pinder, R. (2003).*Wine: A Scientific Exploration*. 1st Edition, CRC Press, 320 p.

Selli, S., Cabaroğlu, T., Canbas, A., Erten, H., Nurgel, C., Lepoutre, J.P. & Gunata, Z., (2004). Volatile Composition of Red

Wine from cv. Kalecik Karasi Grown in Central Anatolia. *Food Chemistry*, 85, 207-213.

Shahidi, F., Naczk, M. (1995). *Food Phenolic Sources: Chemistry, Effects, and Applications*. Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster. 331. U.S.A.

Silva, L. J. G., Rodrigues, A. P., Pereira, A. M. P. T., Lino, C. M., & Pena, A. (2019). Ochratoxin A in the Portuguese wine market, occurrence and risk assessment. *Food additives & contaminants. Part B, Surveillance*, 12,2, 145–149.

Sims, C.A. & Bates, R.P.(1994). Effect of Skin Fermentation Time on The Phenols, Anthocyanins, Ellagic acid Sediment, and Sensory Characteristics of a Red *Vitis rotundifolia* Wine. *Am. J. Enol. Vitic.*, 45,1, 56-62.

Sivan,A., Rahimi,O., Lavi,B., Salmon-Divon, M., Weiss, E., Drori, E. & Hübner, S. (2021). Genomic evidence supports an independent history of Levantine and Eurasian grapevines. *Plants People Planet*, 3,4,414–427.

Standage, T.(2024). *Altı Bardakta Dünya Tarihi*. Çeviri: Ahmet Fethi,A. (çevirmen), Kırmızı Kedi Yayınevi, 288 s.

Sumby, K.M., Bartle, L., Grbin, P.R., & Jiranek, V. (2019). Measures to improve wine malolactic fermentation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 2033–2051.

Temple, R. (1986). *The Genius of China: 3,000 Years of Science, Discovery, and Invention*. With a forward by Joseph Needham. New York: Simon & Schuster, Inc., 288 p.

The Megalithic Portal. (22 April 2007). *Ancient Mashed Grapes Found in Greece*. (14 Temmuz 2024. dsc.discovery.com. <https://www.megalithic.co.uk/article.php?sid=2146412958> adresinden ulaşılmıştır).

Thomas, H. & Maugh, II. (January 11, 2011). *Ancient winery found in Armenia*. Los Angeles Times (Los Angeles Times Media Group). (17 Ağustos 2024 tarihinde <http://articles.latimes.com/2011/jan/11/science/la-sci-ancient-winery-20110111> adresinden ulaşılmıştır).

Tillier, M. & Vanthieghem, N. (2022). Des amphores rouges et des jarres vertes: Considérations sur la production et la consommation de boissons fermentées aux deux premiers siècles de l'hégire ". *Islamic Law and Society*, 30,1–2, 1–64.

Tosun, M. (2005). *Şarap Sektör Araştırması*. Araştırma Müdürlüğü, Ankara.

Troost, G. (1986). *Technologie des Wenes*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Türk Gıda Kodeksi (TGK). (2008). Türk Gıda Kodeksi Şarap Tebliğı. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tebliğ No: 2008/67, Sayı:27131, Ankara.

Türk Standardları Enstitüsü.(TSE).(1976). Şaraplar. TS 521, Konfirme tarihi: 16.08.2009, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

Ubeda, C., Hornedo-Ortega, R., Cerezo, A. B., Garcia-Parrilla, M. C., & Troncoso, A. M. (2020). Chemical hazards in grapes and wine, climate change and challenges to face. *Food Chemistry*, 314, 126222.

Verango, Dan (05-29,2006). *White wine turns up in King Tutankhamun's tomb. USA Today.* (14 Temmuz 2024 tarihinde http://www.usatoday.com/tech/science/columnist/vergano/2006-05-29-tut-white-wine_x.htm. Retrieved 2007-09-06 adresinden ulaşılmıştır).

Vichi, S., Santini, C., Natali, N., Riponi, C., Lo'Pez-Tamames, E. & Buxaderas, S. (2007) Volatile and semi-volatile components of oak wood chips analysed by accelerated solvent extraction (ASE) coupled to gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS). *Food Chemistry*, 102:1260-1269.

Wikipedia.(2024). *History of wine. the free encyclopedia.* (17.08.2024 tarihinde https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_wine adresinden ulaşılmıştır).

Xu W., Liu B., Wang C.C. & Kong X. (2020). Organic cultivation of grape affects yeast succession and wine sensory quality during spontaneous fermentation. *LWT*, 120.

Zoecklein, B.W., Fugelsang, K.C., Gump B.H. & Nury, F.S. (1990). *Production Wine Analysis.* Van Nostrand Reinhold Publs., New York, 475 p.

BÖLÜM II

Alternatif Protein Kaynağı Olarak Yenilebilir Böcekler

Enes SEZER¹
Ali ARSLAN²

Giriş

Artan dünya nüfusu ve buna bağlı olarak gıda talebindeki artış, dünya genelinde habitat kaybına, ormansızlaşmaya, hayvanların aşırı sömürülmesine ve sera gazı emüsyonlarının artmasına neden olmaktadır. Bunun nedeni olarak 2050 yılına kadar %75 oranında artacağı tahmin edilen et tüketimidir (van Huis, Dicke & van Loon, 2015). Bu sorunun çözümü için et tüketiminin azaltılması, tarımsal verimliliğin artırılması ve üretimi için daha az alan ve doğal kaynak gerektiren alternatif gıda ürünlerinin bulunması gibi öneriler yer

¹ Arş. Gör. Enes SEZER, Dicle Üniversitesi, Besin-Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Diyarbakır/Türkiye, Orcid: 0009 0006-2534 2535, enes.sezer@dicle.edu.tr

² Prof. Dr. Ali Arslan, Fırat Üniversitesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Elazığ/Türkiye, Orcid: 0000-0002-3011-5592, aarslan2@firat.edu.tr

almaktadır. Tüketilebilir böcekler bu bakımdan iyi bir alternatif olabilir. Bugüne kadar tanımlanan bir milyondan fazla böcek türü ve keşfedilmeyi bekleyen milyonlarca böcek türü ile doğada en çok bulunan ve en çeşitli hayvan grupları arasında yer almaktadır (Ordoñez-Araque & Egas-Montenegro, 2021). Böcekler aynı zamanda dünyanın ekolojik dengesinde de önemli bir rol oynarlar. Böceklerin bazı türleri tarım zararlıları, bazı türleri bitkilerin üremesini kolaylaştıran tozlayıcılar, bir türü de örneğin ipek böceği de değerli hammadde(ipek) üretir; ve bazı türler dünyadaki hayvanların çoğu için önemli bir besin kaynağını oluşturmaktadır (Prado, García & Sastre, 2018). Böcekler, et üretimiyle ilişkili bazı çevresel sorunları hafifletebilecek umut verici bir alternatif gıda kaynağını oluşturmaktadır. Çünkü böcekler geleneksel hayvancılıktan daha az sera gazı emisyonu üretmektedir. Buna ek olarak böcek tüketimi, sınırlı ekonomik kaynaklara sahip toplumlarda hayvansal protein açığını azaltarak dünya gıda güvenliğini önemli ölçüde artırabilir (Lucas & ark., 2020). Toplam bir milyondan fazla böcek türünden yaklaşık 2000 yenilebilir böcek türü bulunmaktadır. Bu yenilebilir böcekler insanlar için gıda kaynağı olmakla birlikte balık, kümes hayvanları, domuz ve sığır gibi çiftlik hayvanları için yem kaynağı olarak kullanılabilir. Devam eden araştırmalar, tüketime uygun böceklerin sayısını muhtemelen daha da artıracaktır (Imathiu, 2020).

1. Entomofaji'nin Tarihsel Perspektifi

Tarih boyunca, böceklerin bir besin kaynağı olarak kullanıldığını gösteren pek çok kanıt bulunmaktadır. Entomofaji terimi, böceklerin bir organizma tarafından gıda olarak tüketilmesini ifade eder. Bu terim genellikle insanların böcekleri yemek suretiyle

beslenmelerini belirtmek için kullanılmaktadır (Costa-Neto & Dunkel, 2016). Entomofaji, tarih boyunca uzun bir geçmişe sahiptir ve bu uygulama, termit höyüklerini kazmak için kemik aletler kullanan Güney Afrika'daki *Paranthropus* (veya *Australopithecus*) *robustus* (Geç Pliyosen ve Erken Pleistosen) gibi eski hominidler dönemine kadar uzanmaktadır. Örneğin, Kuzey İspanya'daki bir erken dönem hominidin dişlerinde böcek parçacıklarının mikrofosilleri tespit edilmiştir. Ayrıca, ABD'nin Utah eyaletindeki Lakeside mağarasında bulunan koprolitler, göçmen çekirgelerin (*Melanoplus sanguinipes*) insanlar tarafından tüketildiğini göstermiştir (Van Huis, 2017). Tarihsel kayıtlar incelendiğinde, eski Yunan'da Aristoteles'in *Historia Animalium* adlı eserinde ağustos böceklerinin bir lezzet olarak tüketildiğine dair bilgiler bulunmaktadır. Aynı şekilde Yaşlı Plinius (MS 23/24-79) Romalıların uzun boynuzlu böceğin larvalarından oluşan ve çok beğenilen bir yemek olan "cossus" tükettiğini vurgulanmıştır (Van Huis ve ark., 2013). İspanya'da (Nueva España), Azteklerin kanatlı karıncalar, çekirgeler, sivrisinek yumurtaları ve maguey bitkisinden elde edilen solucanlar gibi çeşitli böcekleri tükettikleri belirtilmektedir (Liceaga, 2022). Tarihsel süreçte pek çok bitki ve hayvan türü evcilleştirilip günümüzde temel gıdalar olarak tüketilse de, dünya genelinde tahmini en az iki milyar insanın geleneksel olarak çeşitli böcekleri tüketmeye devam ettiği bilinmektedir (Halloran & ark., 2016) . Tayland, Çin, Afrika, Meksika ve Kolombiya gibi ülkelerde böcekler besinsel faydaları ile bilinmekte ve temel gıda maddesi olarak kabul edilmektedir (Liceaga, 2022); Güney Gana'da ise yerel halk tarafından "Gbamedo" olarak bilinen palmye kurdu larvaları en yaygın tüketilen böceklerden biri olup

lezzetli bir yiyecek olarak kabul edilmektedir (Agbemafle & ark., 2020). Böceklerin gıda olarak tüketimi, Afrika, Asya, Avustralya, Okyanusya ve Latin Amerika'da kültürel yönlerini koruyan eski bir uygulamadır (Halloran & ark., 2016).

1.1 Yenilebilir Böcek Türleri

Böcekler gezegendeki en çeşitli hayvan gruplarından biri olmakla beraber karasal ve sucul ekosistemlerin neredeyse tamamında yaşarlar ve toplam hayvan biyokütlesinin yaklaşık yarısını oluşturmaktadırlar (Hernández, González & Arriola, 2017). Yaklaşık 2000 böcek türü yenilebilir olarak kabul edilmektedir ve bu sayı sürekli artmaktadır. Bu yenilebilir böcek türlerinin %49'unu böcekler (Coleoptera) ve tırtıllar (Lepidoptera), %14'nü arılar, eşek arıları ve karıncalar (Hymenoptera), %13'nü çekirgeler ve cırcır böcekleri (Orthoptera), %10'unu ağustos böcekleri, bitki zararlıları, pul böcekleri ve gerçek böcekler (Hemiptera), %3'nü yusufluklar (Odonata), %3'nü termitler (Isoptera), %2'sini sinekler (Diptera) %5'ini diğer takımlar oluşturmaktadır (van Huis & ark., 2013).

1.2 Yenilebilir böceklerin besin değeri

Yenilebilir bazı böcek türleri ile bazı hayvansal besin kaynaklarının besin içerikleri Tablo 1'de verilmiştir. Böcekler yüksek protein, yağ, vitamin, mineral ve lif içeriği ile oldukça besleyici bir gıda kaynağıdır. Yenilebilir böcekler, insan beslenmesi için gerekli olan besin maddelerini nispeten yüksek miktarlarda içerir ve türlere bağlı olarak böceklerin yaklaşık %77-98'inin sindirilebilir olduğu tahmin edilmektedir (Dobermann, Swift & Field, 2017). Tablo 1'de bazı böcek türleri ile bazı hayvan etlerinin besin içerikleri verilmiştir (Orkusz, 2021).

Tablo 1. Yenilebilir bazı böcek türleri ile bazı hayvan etlerinin besin içerikleri

Besin kaynağı	Enerji (kcal/ 100 g)	Protein (g/ 100 g)	Yağ (g/100 g)	Lif (g/100 g)
Acheta domesticus Y	153	20.5	5.06	4.6
Acheta domesticus L	137.5	15.4-17.5	4.4-7.9	2.3
Tenebrio molitor Y	178	24.13	6.14	7.4
Tenebrio molitor L	247	25	12.91	3.52
Gonimbrasia belina L	161	35.2	15.2	-
Pyralidae L	274.7	16.1	24.9	2.1-3.4
Koyun budu	196.56	15.12	15.12	-
Dana budu	85.32	15.72	2.45	-
Kaz eti	140.63	5.78	13.04	-
Ördek eti	199.04	8.64	18.30	-
Tavuk budu	125	17.8	6	-

Y: Yetişkin, **L:**Larva

Yenilebilir böceklerin besin profilinin türe göre değiştiği ve oldukça değişken olabildiği belirtilmektedir. Aynı böcek türü grubu içinde bile besin değeri beslenme şekli, metamorfik evre, habitat ve çevresel koşullar nedeniyle farklılık olabilmektedir (Lange & Nakamura, 2021). Yenilebilir böcek türleri, insanlar için yüksek oranda sindirilebilen değerli bir protein kaynağı olabilir (Belluco & ark., 2013). Böcek tüketimi insan diyetlerinin beslenme kalitesini önemli ölçüde artırabilir (Bukkens 1997). Kuru böcek maddesindeki ortalama protein içeriğinin %35 (termitler) ile %61 (cırcır böceği, çekirge, çekirge) arasında değiştiği ve bazı son türlerde %77'ye

kadar çıktığı tespit edilmiştir (Rumpold & Schlüter, 2013). Böcek proteininin iyi kalitede olduğu ve yumurta proteininden biraz daha az sindirilebilir, ancak bitki bazlı proteinlerden daha fazla sindirilebilir olduğu bildirilmiştir (Finke, 2015). Yenilebilir böcek türlerinin çoğu fenilalanin, tirozin, triptofan, treonin ve lizin gibi insan beslenmesinde son derece önemli olan esansiyel aminoasitleri içermektedir (Raheem & ark., 2019).

Bazı yenilebilir böcek türlerine ait protein içerikleri Tablo 2’de verilmiştir (Nongonierma & FitzGerald, 2017).

Tablo 2. Bazı yenebilir böcek türlerine ait protein içerikleri

Böceğin adı	Protein içeriği (%)	Kaynak
Şeritli cırcır (<i>Grylloides sigillatus</i>)	70.00	(Zielińska & ark., 2015)
Ev cırcır böceği (<i>Acheta domesticus</i>)	55.00–70.75	(Rumpold & Schlüter, 2013)
Çöl çekirgesi (<i>Schistocerca gregaria</i>)	76.00	(Zielińska & ark., 2015)
Çekirge (<i>Ruspolia differens</i>)	43.10–44.30	(Rumpold ve Schlüter, 2013)
Sarı un kurdu (<i>Tenebrio molitor</i>)	47.18–60.20	(Rumpold ve Schlüter, 2013)
Büyük solucan (<i>Zophobas morio</i>)	43.13–46.79	(Rumpold ve Schlüter, 2013)
Küçük un kurdu (<i>Alphitobius diaperinus</i>)	58.03	(Yi vd., 2013)
İpek böceği (<i>Bombycidae mori</i>)	48.70–69.84	(Rumpold ve Schlüter, 2013)
Eri ipek böceği (<i>Samia ricinii</i>)	54.00–54.80	(Rumpold ve Schlüter, 2013)
Arjantin hamam böceği (<i>Blaptica dubia</i>)	59.20	(Yi vd., 2013)
Madagaskar hamam böceği (<i>Gromphadorhina portentosa</i>)	62.52–63.35	(Oonincx ve Dierenfeld, 2012)
Termit (<i>Macrotermes subhylanus</i>)	39.34	(Kinyuru vd., 2013)

Böceklerin en bol bulunan ikinci besin bileşeni lipitlerdir ve böceğin yaşam evresine bağlı olarak böceğin kuru ağırlığının %4'ünden (sivrisinek yumurtası) %77'sine (*Phassus triangularis* güvesi) kadarını oluşturabilir. Genel olarak, böceklerin lipid içeriği larva evrelerinde yetişkin evrelerine göre daha yüksektir, çünkü yetişkinler genellikle %80 trigliserid ve %20'den az fosfolipid

içermektedir. Buna ek olarak, böcekler doymuş, tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asitleri de dahil olmak üzere besin değeri yüksek yağ asitlerini içermektedirler. Bu yağ asitleri arasında insan sağlığı üzerinde olumlu etkisi olan oleik, linoleik, α -linolenik, laurik ve palmitik asitler bulunmaktadır (Nadeau & ark., 2015). Yapılan bir çalışmada Hymenopteran böcekleri (arılar, eşek arıları ve karıncalar) türlerine bağlı olarak bileşimlerinde yaklaşık %30 doymuş, %48 tekli doymamış ve %15 çoklu doymamış yağ asitleri içerdiği tespit edilmiştir (Santurino & ark., 2016). Ayrıca yenilebilir böceklerin yağ asidi profili genel olarak hayvansal yağlar ve bitkisel yağlar ile benzerlik gösterirken, böceklerin daha yüksek miktarda doymamış yağ asitleri içerdiği ve bu oranın toplam yağ asidi içeriğinin %75'ine kadar çıktığı bildirilmiştir (Sosa & Fogliano, 2017; Yerlikaya & ark., 2013; Tzompa-Sosa & ark., 2014; Zielińska & ark., 2015; Rumpold & Schlüter, 2013).

Mineraller ve vitaminler gibi mikro besinler, yenilebilir böceklerdeki en değişken besin bileşenidir ve böceklerin diyetine bağlı olarak farklı miktarlarda bulunabilmektedir (Baiano, 2020). Böcekler düşük oranda kalsiyum, sodyum ve potasyum içermesine karşın, cırcır böceği ve çekirgelerin yüksek oranda magnezyum içerdiği ve cırcır böceği tozunun da magnezyum, çinko ve bakır açısından zengin olduğu tespit edilmiştir. Cırcır böcekleri ve termitler yüksek konsantrasyonlarda demir ve çinko içermektedir. Çekirge ve un kurtlarındaki bakır, magnezyum, manganez ve çinko oranlarının sığır etine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Montowska & ark., 2019; Latunde & ark., 2016; Rumpold & Schlüter, 2013; Christensen & ark., 2006). Vitamin içeriği açısından, böcekler riboflavin, pantotenik asit ve biyotin aktif

kaynağı olduğu, ancak A, C ve E vitaminleri ise düşük oranda içerdiği vurgulanmıştır (Ordoñez-Araque & Egas-Montenegro, 2021). Bazı böcek türlerinin nispeten yüksek düzeyde B kompleksi vitaminleri (riboflavin, pantotenik asit ve biyotin) içerdiği bildirilmiştir (Finke & Oonincx, 2023; Rumpold & Schlüter, 2013). Yenilebilir bazı böcek türleri ile bazı hayvansal besin kaynaklarının besin içerikleri Çizelge 1’de verilmiştir (Orkusz, 2021).

2. Çevresel Faydaları ve Sürdürülebilirlik

Artan dünya nüfusunu beslemek için buna paralel olarak gıda üretiminde önemli bir artışın olması gerekir (Bukkens, 1997). Bu gelişme enerji, su, toprak ve okyanuslar gibi sınırlı doğal kaynaklar üzerinde ağır bir yük oluşturacaktır. Gıda üretiminin mevcut haliyle devam etmesi halinde ormansızlaşma, çevresel bozulma ve sera gazı emisyonlarında önemli artışlar beklenmektedir. Özellikle hayvancılık, küresel tarımsal arazi kullanımının yaklaşık %70’ini oluşturduğundan, bu çevresel sorunlara katkıda bulunacaktır (FAO 2021). Çiftlik hayvanı ve balık üreten büyük ölçekli tesisler büyük çevresel maliyetlere neden olmaktadır (Fiala 2008: Tilman & ark., 2002). Örneğin, gübre hem yeraltı hem de yüzey sularını patojenler, ağır metaller ve toksinlerle kirletebilir ve gübrenin yayılması ekosistemler üzerinde asitleştirici etkileri olan büyük miktarlarda amonyak emisyonuna yol açabilir (Fiala, 2008: Thorne, 2007). Artan hayvansal üretim ek yem ve ekim alanı gerektirecek, bu da daha fazla ormansızlaşmaya yol açabilecektir (Steinfeld, 2006). Bu bağlamda çevresel açıdan bakıldığında, böcek yetiştiriciliği daha az sera gazı emisyonuna neden olur, daha az su ve alan gerektirir, çok daha düşük bir ekonomik yatırım anlamına gelir ve geleneksel hayvancılığa göre yem dönüşüm oranında daha yüksek bir

verimliliğe sahiptir (Müller & ark., 2016). Örneğin, vücut ağırlığında 1 kg'lık bir artış sağlamak için gereken yem miktarı (yem-et dönüşüm oranı) tavuk için 2,5 kg, domuz eti için 5 kg ve sığır eti için 10 kg'a gerekirken cırcır böceklerinin her 1 kg vücut ağırlığı artışı için 2 kg'dan daha az yem gerektirdiği belirtilmiştir (Collavo & ark., 2005: Smil, 2002). Yine birçok cırcır böceği ve un kurdu türü için 1 kg böcek proteini üretmek için sadece 40 L su gerektiği bildirilmiştir (Abbasi & Abbasi, 2016). Ayrıca, böcekler hızlı bir şekilde çoğalır ve geniş bir coğrafi dağılıma sahiptir (Gjerris, Gamborg & Röcklinsberg, 2016). BM ve FAO, böceklerin aşırı nüfus artışı nedeniyle ortaya çıkabilecek gıda güvensizliğine karşı yenilebilir böceklerin potansiyel bir çözüm olduğuna vurgulamış (Pérez Vázquez, Leyva Trinidad & Gómez Merino, 2018). Böcekler, mutfak ve tarımsal atıklar gibi organik atıkları tüketme ve bunları değerli proteinlere ve diğer besin maddelerine dönüştürme kapasiteleri sayesinde bir başka avantaj daha sağlamaktadır. Bu da atık bertaraf yükünü azaltmaya katkı sağladığı belirtilmektedir(Chavez, 2021).

3. Tüketici Kabulü ve Karşılaşılan Zorluklar

Böceklerin gıda kaynağı olarak kullanımının birçok faydasına rağmen, tüketicinin kabulü, yenilebilir böceklere dayalı diyetlerin benimsenmesinin önünde büyük bir engel olmaya devam etmektedir. Böcekler dünyanın birçok bölgesinde yaygın olarak tüketilirken, birçok batı ülkesinde iğrenme duygusuyla karşılanmakta ve tehlikeli bir yaşam tarzı ve ilkel davranışlarla ilişkilendirilmektedir (Rozin & Fallon, 1987: Hartmann & Siegrist, 2017: Vane-Wright, 1991). Ayrıca, yenilebilir böcekler hiçbir zaman batı yemek kültürünün önemli bir parçası olmadığından dolayı tüketiciler böcekleri bir

besin kaynağı olarak kabul etme konusunda isteksiz olabilirler. Tiksinti, insanların gıdaları reddetmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Fessler & Navarrete, 2003). Gıdaya ilişkin tiksintinin ve böcek tüketiminin kabulü ya da reddinin kökeni, kültürel olarak belirlenmiş gıda alışkanlıklarına dayanmaktadır (Mignon, 2002: Mela, 1999).

3.1 Sosyal Zorlular

Yaş, cinsiyet ve eğitim, tüketiciler arasında böceklerin kabulünü etkileyen etkili sosyal faktörler olarak kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Çalışmaların çoğu, genç bireylerin yaşlı bireylere kıyasla böcekleri daha fazla kabul etme eğiliminde olduğunu ve 15 - 35 yaş arasındaki bireylerin diğer yaş gruplarına kıyasla daha yüksek kabul düzeyleri sergilediğini göstermiştir (Kröger & ark., 2022). Ancak, böcek tüketme geçmişi olan bölgelerde sonuçlar farklı olabilir. Örneğin Çin ve Japonya'da böcek yeme deneyimi olan yaşlı bireylerin böcekli gıdaları benimseme olasılığı genç bireylere kıyasla daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Liu, Li & Gómez, 2019: Payne, 2015). Bu nedenle, yaşın tüketiciler tarafından böceklerin kabulünü nasıl etkilediğine dair daha kesin kanıtlar toplamak önemlidir. Cinsiyetin böcek tüketimi üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalarda, erkeklerin böcekleri daha çok tüketme eğiliminde olduğu ancak yapılan çalışmalarda cinsiyet ile böcek tüketiminin kabulü arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir (Cicatiello & ark., 2016). Yüksek eğitilmiş bireylerin böcek kaynaklı gıdaların tanıtımına yönelik olumlu tutumlara sahip olabildiği vurgulanmıştır. Ancak bazı çalışmalar, eğitim seviyesi ile böcek kaynaklı gıdaların kabulü arasında bir korelasyonun olmadığını göstermiştir (Gere & ark., 2017: Gómez-Luciano, Vriesekoop & Urbano, 2019).

3.2 Kişisel Duygusal Faktörler

Bireylerin böcekleri gıda olarak tüketme konusundaki bilgi ve rahatlık düzeylerinin yanı sıra yeni gıdalara karşı yeni korkular veya tiksintiler geliştirme olasılıkları da yenilebilir böcekleri kabul etme isteklerini etkileyen temel faktörlerdir. İnsanların yenilebilir böcek kavramı hakkındaki farkındalıklarını ve bu tür gıdaları tüketmenin avantajlarına ilişkin anlayışlarını değerlendirmek üzere yapılan bir anket, artan aşinalığın yenilebilir böceklerin kabulü üzerinde kayda değer ölçüde daha güçlü bir olumlu etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. (Woolf & ark., 2019). Yeni gıdaları deneme korkusu da böcek kaynaklı gıdaların kabulünü engelleyebilir. Ancak araştırmalar, yeni gıdalarla ilgili korkunun büyük bir kısmının, içerik olarak bütün bir böcek kullanıldığında ortaya çıktığını göstermiştir. Böcek gıdaya görünmez bir biçimde dahil edildiğinde bu korku azaltılabileceği düşünülmektedir (Ruby, Rozin & Chan, 2015). Avrupa'da böcekler genellikle insanların kaçınmayı tercih ettiği veya hiçbir şey yapmadığı kirli ve itici haşereler olarak kabul edilir (La Barbera & ark., 2018). Birçok kişi böcek tüketmeye karşı direnç göstermekte veya endişe duymaktadır çünkü potansiyel alerjiler ve mikrobiyal(bakteri, küf, virüs, paraziter vb.) riskler konusunda endişe duyabilir veya böceklerin görünümü, tadı veya psikolojik engeller nedeniyle çekinceleri olabilmektedir (Mancini & ark., 2019; Schouteten & ark., 2016; Gumussoy & Rogers, 2023). Araştırmalar, batı ülkelerindeki insanların böcekleri öncelikle yüksek besinsel değerlerinden dolayı tükettiklerini göstermektedir (Woolf & ark., 2019). Bu nedenle, işleme yoluyla gıdalardaki böceklerin görünmezliğinin artırılması ve böcek tüketmenin faydaları konusunda farkındalık ve eğitimin artırılması bu sorunun ele

alınmasına yardımcı olabilir (Schouteten & ark., 2016). Yakın zamanda yapılan bir çalışma, tüketiciler arasında cırcır böceği yeme tercihinin, tanımlayıcı sosyal normları vurgulayan müdahaleler uygulanarak artırılabilceğini göstermiştir (Gumussoy & Rogers, 2023).

3.3 Beslenme Faktörleri

Tüketicilerin beslenme tercihleri ve yeşil beslenme konusundaki bilgileri, böcek kaynaklı gıda seçimlerini etkileyebilir(Onwezen & ark., 2021). Vejetaryenler diyetlerine böcekleri dahil etme konusunda oldukça isteksizdirler (Jarett & ark., 2019: Elorinne & ark., 2019). Yapılan çalışmalarda et severlerin böcekleri kabul etme olasılığı daha yüksek olduğu, ancak geleneksel eti tercih eden et severlerin böcekleri et yerine kabul etme olasılığı daha düşük olduğu görülmüştür (Conti & ark., 2018: Verbeke, 2015). Geleneksel gıda kültürüne sahip kişilerin böcekli gıdaları kabul etme istekleri de düşüktür. Yapılan bir çalışmada, Akdeniz yemek kültürünün hakim olduğu güney İtalya'daki bireylerin genellikle böcekleri beslenme pratiklerine dahil etme konusunda tereddüt gösterdiği tespit edilmiştir (Menozzi & ark., 2017). Daha önce böcek tüketmiş ve böcekler hakkında olumlu bir algı geliştirmiş olan bireyler, böcekli gıdaları benimsemeye daha eğilimli olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, bir böcek gıdasının ilk duyuusal deneyimi, kabulünün belirlenmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Böcek ürünlerinin lezzet profilinin yükseltilmesi, tüketiciler arasında etkili bir şekilde olumlu bir izlenim yaratabilir ve böylece bu gıda ürünlerinin kabulünün artmasına katkıda bulunabilir (Tuccillo, Marino & Torri, 2020). Çoğu alışma, yeşil bir diyete sahip olan ve böcek tüketmenin çevresel faydalarının farkında olan kişilerin böcek

kaynaklı gıdaları daha fazla kabul ettiğini ve tüketicilerin çevre bilincinden yararlanmanın da böcek tüketimini artırmanın önemli bir yolu olduğunu göstermiştir (Menozzi & ark., 2017). Bu yüzden, böcek kaynaklı gıdaların tüketici tarafından kabulünü artırmak için insanların böcek kaynaklı gıdaları tüketmenin faydalarını ve sürdürülebilirliğini anlamalarına yardımcı olacak eğitim ve bilinçlendirme kampanyalarına ihtiyaç vardır (Li & ark., 2023).

4. Mevzuat ve Düzenlemeler

Böcek kaynaklı gıda ürünlerinin kalite ve güvenliğini garanti altına almak için yasal bir düzenleyici çerçevenin oluşturulması çok önemlidir. Net bir mevzuatın olmaması, yenilebilir böceklerin geliştirilmesinde ciddi bir kısıtlamadır. Yenilebilir böceklere yönelik küresel tutum oldukça değerlidir. Ancak, mevzuatta bir ülkeden diğerine önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu ülkeler arasında Avrupa Birliği (AB) yenilebilir böcekler için en kapsamlı ve sürekli gelişen düzenlemelere sahiptir. Avrupa Gıda Güvenliği Kurumu (European Food and Safety Authority/ EFSA) tarafından Ocak 2018’de yürürlüğe konulan “Yenilikçi Gıda Yönetmeliği” (2015/2283 sayılı yönetmelik) ile yenilebilir böcekleri çiftlik hayvanları olarak sınıflandırmış ve *Locusta migratoria* (yetişkin), *Alphitobius diaperinus* (larva), *Acheta domesticus* (yetişkin) ve *Tenebrio molitor* (un kurdu larvası) türlerinin böcek bazlı gıdalarda kullanımına onay vermiştir. Bu gelişme ile beraber Avrupa Birliği’ne üye ülkelerde yasal olarak satılabilir hale gelmiştir. Böcek gıda ürünleri piyasada satılmadan önce geleneksel gıda ürünleriyle aynı düzenleyici gereklilikleri karşılamalıdır (Žuk-Golaszewska & ark., 2022; Zhou & ark., 2022). Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada’da gıda güvenliği düzenlemeleri sırasıyla Gıda ve İlaç

İdaresi (FDA) ve Gıda Denetim Ajansı (CFIA) tarafından denetlenmektedir. ABD'nin 2013 tarihli Gıda, İlaç ve Kozmetik Yasası, böceklerin gıda olarak sınıflandırıldığını ve sağlık ve güvenlik standartları da dahil olmak üzere gıda düzenlemelerine tabi olduğunu belirtmektedir. Böcekleri gıda olarak pazarlanmak yerine gıda için bir bileşen olarak kullanıldığında, bir gıda katkı maddesi lisansı almak zorunlu hale gelmektedir. FDA, *H. illucens* larvalarını hayvan yemlerinde hayvan gıdası için bir bileşen olarak onaylarken, *H. illucens* larvaları onaylanmış organik atık akışlarında yetiştirilebilir. Kanada'da siyah asker sineği larvaları, un kurtları ve ipekböceği pupalarından oluşan evcil hayvan atıştırılmalıklarının satılmasına rağmen böcekli gıdalar için özel bir düzenleme bulunmamaktadır (Lähteenmäki-Uutela, Marimuthu & Meijer, 2021; Grabowski & ark., 2020).

Zengin bir böcekçilik geleneğine sahip olan Afrika'da böcek gıdalarına ilişkin çok az mevzuat bulunmaktadır. Botswana, Afrika'da şu anda mevzuatında böcek tüketimine ilişkin hükümler bulunan tek ülke iken, diğer ülkelerin çoğunda buna ilişkin açık hükümler bulunmamaktadır. Açık mevzuatın yokluğunda, Afrika'nın çoğu yerinde böceklerin gıda olarak kabul edilmesine izin verilmekte ve genel gıda yasaları kapsamında talep edilmektedir (Grabowski et al. 2020). Afrika'daki bazı ülkeler bazı yenilebilir böcekleri koruma altındaki hayvanlar olarak sınıflandırmaktadır, bu nedenle bu bölgelerde Yeşil Burun böceği gibi böceklerin tüketilmesine izin verilmemektedir. Un kurtları ve çekirgeler yenilebilir, ancak tarımsal zararlılar olarak çok sayıda ortaya çıktıklarında büyük ekonomik ve gıda kayıplarına neden olmaktadır.

Asya, Çin, Japonya ve Tayland böcek tüketimi konusunda zengin bir geçmişe sahiptir. Çin Ulusal Sağlık ve Sağlık Komisyonu tarafından yayınlanan Yenilebilir Böcek Kaynakları Kataloğu, 2023 yılı itibariyle 26 böcek türünü yeni kaynak olarak onaylamıştır. Ancak böcekler, pazara erişim, beslenme konseptleri, kamuoyu kampanyaları, eğitim eksikliği ve sınırlı büyük ölçekli endüstriyel destek gibi çeşitli zorluklar nedeniyle şu anda Çin'in vatandaşları için gıda katalog listelerinde yer almamaktadır. Japonya'da böcek yeme geleneği mevcut olmasına rağmen, böcek yiyenlerin sayısının az olduğu ve buna ilişkin düzenlemelerin hala geliştirilmesi gerekmektedir (Raheem & ark., 2019). Ülkemizde, yenilebilir böceklerle ilgili özel bir yasal çerçeve mevcut değildir. Her ne kadar böceklerden elde edilen bazı gıda katkı maddelerinin kullanımı pratikte mevcut olsa da, tüketicilerin bu konuda verdiği tepkiler yüzünden bu alanda yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır.

5. Gıda Güvenliği Endişeleri

Böceklerin sağlık yararları ve besin değerleri göz önüne alındığında, bu canlıların tüketimi sağlıklı olarak değerlendirilebilir. Ancak, çevresel toksinler, böceklerin ürettiği zararlı metabolitler, pestisit kalıntıları, ağır metal birikimleri ve patojen mikroorganizmaların varlığı, gıda güvenliği konusunda önemli endişelere yol açmaktadır (Murefu & ark., 2019). Avrupa Birliği'nde, insan tüketimine sunulacak olan yenilebilir böceklerin gıda güvenliği açısından risk taşımaması, doğru bilgilendirme ve etiketleme yapılması ve beslenme açısından herhangi bir olumsuz etki göstermemesi koşulu gerekmektedir (Özdal & Nakilcioğlu, 2024). Kimyasal ve çevresel risklerin ortadan kaldırılması amacıyla böceklerin entansif yetiştirilmesi, çevresel bulaşanların önlenmesi

açısından etkili bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca, böceklerin bilinen bir diyet ile beslenmeleri, kendi metabolitlerinden kaynaklanan toksisite riskinin azaltılmasını sağlayacaktır. Uygun işleme yöntemlerinin kullanılması, mikrobiyolojik riskleri ortadan kaldırarak, yenilebilir böceklerin yeterli gıda güvenliği standartlarını karşılamasını sağlayacaktır (Murefu & ark., 2019; Baiano, 2020; Imathiu, 2020).

5.1 Allerjenler

Gıda alerjisi, zararsız gıdalara ve gıda bileşenlerine karşı savunma sisteminin geliştirdiği bir reaksiyondur. Bu alerjik reaksiyon, savunma sisteminin gıdalardaki belirli proteinlere karşı gösterdiği anormal bir tepki olarak kabul edilmektedir (de Gier & Verhoeckx, 2018). Yenilebilir böceklerin besin içerikleri ve biyoaktif bileşenler içermesi nedeniyle gıda olarak kullanılmasına rağmen, bu tür böceklerin tüketilmesiyle potansiyel alerjik reaksiyonların gelişmesi mümkündür (Jantzen, Silva & De, 2019). Birçok böcek proteinleri alerjen olarak tanımlanmış ve EFSA tarafından yenilebilir ilk böcek türü olarak onaylanan *Tenebrio molitor* dahil olmak üzere birçok böcek türünde gıda alerjileri görülmüştür (Cunha & ark., 2023). Yang ve arkadaşlarının (2023) yaptığı derlemede, yenilebilir böceklerde en sık karşılaşılan gıda alerjenleri tropomyosin (TM) ve arjinin kinazdan (AK) kaynaklandığı belirtilmektedir. Yenilebilir böcek proteinleri tüketime bağlı olarak kendi başına gıda alerjisine sebep olduğu gibi, diğer gıda alerjenleri ile çapraz reaksiyon göstererek alerjiye de neden olmaktadır. Yapılan bir çalışmada TM ve AK'nin farelerde serumdaki histamin ve IgE seviyesini artırdığı tespit edilmiştir (Han & ark., 2018).

5.2 Patojenik mikroorganizmalar

Yenilebilir böcekler, tüketiciler için sağlık riski oluşturan patojen mikroorganizmalar taşıyabilir; yenilebilir böceklerin kontamine olma derecesi böcek türüne, toplama yöntemine (yabani ve evcil), hijyen uygulamalarına ve böcek hazırlamada kullanılan işleme ve kullanım prosedürlerine göre değişmektedir. Böcek tüketimine bağlı patojenik mikroorganizmaların neden olduğu gıda kaynaklı enfeksiyonlar ve zehirlenmeler bildirilmiştir (Schabel, 2010). Tayland'da yapılan bir çalışmada, yenilebilir böceklerde *Bacillus*, *Clostridium*, *Staphylococcus*, *Streptococcus* ve *Vibrio* dahil olmak üzere çeşitli potansiyel patojenik bakterilerin varlığı rapor edilmiştir (Osimani & ark., 2017). Yine yapılan bir çalışmada Uganda'da çiğ yenilebilir çekirgelerde gıda kaynaklı hastalıklara yol açabilecek *Bacillus*, *Campylobacter*, *Clostridium*, *Neisseria*, *Pseudomonas* ve *Staphylococcus* türleri tespit edilmiştir (Ssepuuya & ark., 2019).

Patojen mikroorganizmalarla ilgili olarak, kontrollü çiftçilik koşullarında yetiştirilen böceklere kıyasla yenilebilir böcekler doğadan toplandığında gıda güvenliği açısından daha önemli bir endişe kaynağı olduğu görülmektedir (Rumpold & Schlüter 2013; Defoliart, 1995). Bu bulgular, mikrobiyal enfeksiyon riskini ortadan kaldırmak ve tüketicilerin sağlığını korumak için üretim, işleme, muhafaza ve dağıtım aşamalarında tüm yenilebilir böcek gıda zinciri boyunca etkili kontrol önlemlerine ve hijyen uygulamalarına ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Lange & Nakamura 2021).

5.3 Mikotoksinler

Mikotoksinler, yenilebilir böceklerde biyolojik bir tehlike olarak sınıflandırılmaktadır. Genel olarak, mikotoksinler *Fusarium*, *Aspergillus* ve *Penicillium* cinslerine ait fitopatojenik ve gıda bozucu küfler tarafından üretilmektedir. Toksinler kansere neden olabilir ve immünoşüpresyon etkide bulunabilir (Mirza Alizadeh & ark., 2022; Omotayo & ark., 2019). Mikotoksinlerin gıdalardan elimine edilmesi zor olabilir ve termal sterilizasyon işlemlerine karşı dirençlidirler (Rojas-Jaimes, 2019). Musundire ve arkadaşları (2016) bir grup evcil cırcır böceğini test etmiş ve Avrupa Birliği tarafından belirlenen maksimum limitlerden daha yüksek konsantrasyonlarda aflatoksin tespit etmiştir. Ayrıca ev sineği örneklerinde boverisin (*Beauveria bassiana* mantarı tarafından sentezlenen bir mikotoksin) ve eniantin A ve A1'i (*Fusarium* spp. tarafından sentezlenen) tespit etmişlerdir. De Paepe ve ark. (2019) çeşitli yenilebilir böceklerde çeşitli mikotoksinlerin varlığını analiz etmiş ve sarı un kurtlarında (*Tenebrio molitor*) mikotoksinlerin (örn, Alternariol, HT-2 toksini ve roquefortine), çekirgelerde (*Locusta migratoria*) nikarbazin, nivalenol, ev cırcır böceklerinde (*Acheta domesticus*) ve kara asker sineklerinde (*Hermetia illucens*) ise sırasıyla alternariol metil eter ve zearalenon tespit ettiklerini bildirmişler.

5.4 Ağır metaller

Ağır metaller bitkilere topraktan ve havadan geçerler. Böylece, yenilebilir böcekler bu ortamda yetişen bitkiler ile beslediği için ağır metaller böceklere geçer (Greenfield & ark., 2014; Zhang & ark., 2009). Yenilebilir böceklerde, daha çok kadmiyum ve kurşun

olmak üzere çeşitli ağır metaller tespit edilmiştir. Örneğin, Güney Afrika'da yapılan bir çalışmada mopane solucanlarında (Imbrasia belina) yüksek konsantrasyonlarda kadmiyum, bakır ve manganez bulunmuştur (Greenfield & ark., 2014). Metal seviyeleri, Avrupa Komisyonu ve Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi'nin insan tüketimi için önerdiği limitlerin üç kat daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Banjo ve ark. (2010) yaptıkları bir çalışmada burun böcekleri (*Rhynchophocus phoenicis*) ve gergedan böcekleri (*Anapleptes trifaciata*) örneklerinde nikel, kadmiyum, bakır ve kurşun tespit etmişler. Benzer şekilde, Zhang ve ark. (2009) Çin'de tüketilen güveler (*Eligma narcissus*), çekirgeler (*Locusta migratoria*) ve uzun başlı çekirgeler (*Acrida chinensis*) gibi yenilebilir böceklerde cıva, kadmiyum ve kurşun bulunduğunu bildirmiştir.

6. Üretim Teknolojileri

Yenilebilir böcekler geleneksel olarak güneşte kurutma, kavurma, haşlama, buharda pişirme, fırınlama, kızartma ve haşlama gibi geleneksel yöntemler kullanılarak hazırlanmaktadır. Günümüzde, bütün böcekler (çiğ veya pişmiş), işlenmiş (tanınmaz halde) ve ekstraktlar şeklinde tüketilmektedir. Gıda endüstrisi, son on yılda birçok yeni şirket ve bilimsel yayın sayısının da gösterdiği gibi, bu yeni protein kaynağına ilgi göstermekte ve pazar eğilimleri önümüzdeki 10 yıl içinde yaklaşık 8 milyar ABD doları tutarında bir küresel yenilebilir böcek pazarının olabileceğini bildirmektedirler ([Liceaga & ark., 2022](#)). Böcekleri unlar veya tozlar, protein hidrolizatları, fermente edilebilir substratlar vb. gibi tanınmayan formlara dönüştüren işleme yöntemlerine dayanmak zorundadır (Liceaga, 2021; Melgar-Lalanne, Hernandez-Alvarez & Salinss-Castro ark., 2019). Farklı kurutma teknolojilerinin kullanımı,

yenilebilir böceklerin korunması ve işlenmesi için en yaygın kullanılan yaklaşım gibi görünmektedir. Ancak, kullanılan her kurutma yönteminin böceklerin besin bileşimi ve stabilitesi üzerinde farklı etkileri olabilmektedir. Örneğin, Kröncke ve ark. (2018) kurutma tekniklerinin sarı un kurtlarının (*Tenebrio molitor*) protein, yağ ve lif içeriğinde küçük değişikliklere neden olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte, fırında kurutma, mikrodalga kurutma, akışkan yatakta kurutma ve vakumla kurutma protein çözünürlüğünü azaltırken ($P < 0.05$), dondurarak kurutulmuş un kurtları diğer kurutma yöntemlerine kıyasla en yüksek lipid oksidasyonuna neden olmuştur. Genel olarak, vakum fırını ve mikrodalga kurutma teknolojilerinin geleneksel fırında kurutma ve dondurarak kurutmaya alternatif olduğu bildirilmiştir (Kröncke & ark., 2018). Yukarıda açıklanan pişirme ve kurutma yöntemleri daha lezzetli böceklerin olmasına neden olmakla birlikte bu yöntemlerde böcekler bütün (tanınabilir) olarak kalmakta, bu da böcek yeme arzusunu birçok insan için itici hale getirmektedir. Bu nedenle, böceklerin, tüketici tarafından kabul edilebilirliğini arttırmak için tanınmayan formlara dönüştürülmesi gerekir (Hall & ark., 2017). Bu bağlamda, böcekler genellikle uygun bir büyüklükte öğütülür, gıda, sağlık ürünleri, hayvan yemi, glutensiz ve yüksek proteinli/az yağlı ürünler gibi çok çeşitli ürün formülasyonlarına eklenebilecek toz veya un haline getirilmektedir (van Huis & ark., 2013). Özellikle gıda ekstrüzyonu, farklı miktarlarda böcek unlarının eklenmesi için bir taşıyıcı olarak kullanılmak ve ürünlerin kalitesini incelemek amacıyla birçok yaygın tahıl bazlı gıdanın (örneğin, unlu mamuller ve makarna) üretiminde kullanılmıştır (Carcea, 2020, Luna & ark., 2021). Ayrıca, pişmiş böceklerin uygun büyüklükte kıyılması,

hamburger, köfte ve sosis gibi et ürünleri üretiminde kullanılabilir (Elhassan & ark.,2019, Fraqueza & Patarata, 2017). Böcek tozuna dayalı protein takviyeleri, içecekler ve enerji barları üretme çabaları da rapor edilmiştir (Mutungi & ark., 2019). Böceklerdeki besinler ve diğer bileşenler de ekstrakte edilebilir. Örneğin, proteinler su, organik çözücüler ve enzimler kullanılarak ekstrakte edilebilir. Ekstraksiyon oranı ve ekstrakte edilen proteinlerin fizikokimyasal, işlevsel ve biyoaktif özellikleri böcek türünden, kullanılan çözücüden, kurutma işleminden ve/veya ekstraksiyon sıcaklığından etkilenir (Melgar-Lalanne & ark., 2019). Elde edilen protein hidrolizatları veya protein tozları, çözünmeyen kitini proteinden etkili bir şekilde ayırarak proteinin fonksiyonel özelliklerinde (örneğin çözünürlük, emülsifikasyon, köpürme) genel bir iyileşmeye neden olabilir. Bu yüksek çözünürlüklü protein hidrolizatları, gıda formülasyonunda protein takviyeleri, emülgatörler ve stabilizatörler ve lezzet arttırıcılar olarak kullanılabilir (Liceaga, 2019). Bir çalışmada, mısır tortillaları %20 cırcır böceği proteini tozuyla formüle edildiği ve bu da sınırlayıcı amino asit lizini 0,2 g'dan 1,0 g/100 g'a çıkardığı ve panelistlerin (n = 112) tortillaların cırcır böceği proteini içerdiğini bilmelerine rağmen aroma ve lezzeti pozitif olarak etkilediği (beğenme derecesi>6,5) vurgulanmış (Luna & ark., 2021).

Sonuç

Yenilebilir böcekler, dünya nüfusunda beklenen artışa bağlı olarak doğal kaynakların tükenme riski ve özellikle protein kaynaklarının yetersizliği gibi sorunları çözmeye yardımcı olabilecek potansiyel protein kaynakları olarak dikkat çekmektedir. Geleneksel hayvansal protein üretimine göre daha düşük çevresel

etkisi, daha az yatırım maliyeti gerektirmesi gibi avantajları, yenilebilir böcekleri dünya çapında sürdürülebilir gıdaların gelecekteki gelişiminde önemli adaylardan biri haline getirmektedir. Böceklerin alternatif protein kaynakları olarak kullanılması, büyük ölçüde tüketicilerin yenilebilir böcekler içeren ürünleri algılamasına ve kabul etmesine bağlı olacaktır. Araştırmalar ile gelecekte güvenli, besinsel değeri yüksek, lezzetli, raf ömrü uzun, daha ekonomik, çevreye daha az zarar verebilen ve hayvansal protein açığını gidermek için böcek bazlı gıda ürünlerinin geliştirilmesi kaçınılmaz olacaktır.

Kaynakça

Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2016). Reducing the global environmental impact of livestock production: the minilivestock option. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1754-1766. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.094>

Agbemafle, I., Hadzi, D., Amagloh, F. K., Zotor, F. B., & Reddy, M. B. (2020). Nutritional, microbial, and sensory evaluation of complementary foods made from blends of orange-fleshed sweet potato and edible insects. *Foods*, 9(9), 1225. <https://doi.org/10.3390/foods9091225>

Baiano, A. (2020). Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science and Technology*, 100(03): 35–50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.040>

Banjo, A. D., Lawal, O. A., Fasunwon, B. T., & Alimi, G. O. (2010). Alkali and heavy metal contaminants of some selected edible arthropods in South Western Nigeria. *Am.-Eurasian J. Toxicol. Sci*, 2, 25-29.

Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C. C., Paoletti, M. G., & Ricci, A. (2013). Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 12(3), 296-313. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12014>

Bukkens, S. G. (1997). The nutritional value of edible insects. *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2-4), 287-319. <https://doi.org/10.1080/03670244.1997.9991521>

Carcea, M. (2020). Quality and nutritional/textural properties of durum wheat pasta enriched with cricket powder. *Foods*, 9 (9), Article 1298. <https://doi.org/10.3390/foods9091298>

Chavez, M. (2021). The sustainability of industrial insect mass rearing for food and feed production: zero waste goals through by-product utilization. *Current Opinion in Insect Science*, 48, 44-49. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.09.003>

Christensen, D. L., Orech, F. O., Mungai, M. N., Larsen, T., Friis, H., & Aagaard-Hansen, J. (2006). Entomophagy among the Luo of Kenya: a potential mineral source?. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 57(3-4), 198-203. <https://doi.org/10.1080/09637480600738252>

Cicatiello, C., De Rosa, B., Franco, S., & Lacetera, N. (2016). Consumer approach to insects as food: Barriers and potential for consumption in Italy. *British Food Journal*, 118(9), 2271-2286.

Collavo, A., Glew, R. H., Huang, Y. S., Chuang, L. T., Bosse, R. E. B. E. C. C. A., & Paoletti, M. G. (2005). House cricket small-scale farming. *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*, 27, 515-540.

Conti, C., Costa, A., Balzaretto, C. M., Russo, V., & Tedesco, D. E. A. (2018). Survey on food preferences of university students: from tradition to new food customs? *Agriculture*, 8(10), 155. <https://doi.org/10.3390/agriculture8100155>

Costa-Neto, E. M., & Dunkel, F. V. (2016). Insects as food: history, culture, and modern use around the world. In *Insects as sustainable food ingredients* (pp. 29-60). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00002-8>

Cunha, N., Andrade, V., Ruivo, P., & Pinto, P. (2023). Effects of insect consumption on human health: a systematic review of human studies. *Nutrients*, 15(14), 3076. <https://doi.org/10.3390/nu15143076>

da Silva Lucas, A. J., de Oliveira, L. M., Da Rocha, M., & Prentice, C. (2020). Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. *Food chemistry*, 311, 126022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126022>

de Gier, S., Verhoeckx, K. (2018). Insect (food) allergy and allergens. *Molecular Immunology*, 100(May), 82–106. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.03.015>

De Paepe, E., Wauters, J., Van Der Borght, M., Claes, J., Huysman, S., Croubels, S., & Vanhaecke, L. (2019). Ultra-high-performance liquid chromatography coupled to quadrupole orbitrap high-resolution mass spectrometry for multi-residue screening of pesticides,(veterinary) drugs and mycotoxins in edible insects. *Food chemistry*, 293, 187-196. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.082>

Defoliart, G. R. (1995). Edible insects as minilivestock. *Biodiversity & conservation*, 4, 306-321.

Dobermann, D., Swift, JA ve Field, LM (2017). Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutrition Bulletin*, 42 (4), 293-308. <https://doi.org/10.1111/nbu.12291>

Elhassan, M., Wendin, K., Olsson, V., & Langton, M. (2019). Quality aspects of insects as food—nutritional, sensory, and related concepts. *Foods*, 8(3), 95. <https://doi.org/10.3390/foods8030095>

Elorinne, A. L., Niva, M., Vartiainen, O., & Väisänen, P. (2019). Insect consumption attitudes among vegans, non-vegan vegetarians, and omnivores. *Nutrients*, 11(2), 292. <https://doi.org/10.3390/nu11020292>

Fessler, D., & Navarrete, C. D. (2003). Meat is good to taboo: Dietary proscriptions as a product of the interaction of psychological mechanisms and social processes. *Journal of Cognition and Culture*, 3(1), 1-40.

Fiala, N. (2008). Meeting the demand: an estimation of potential future greenhouse gas emissions from meat production. *Ecological economics*, 67(3), 412-419. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.12.021>

Finke, M. D. (2015). Complete nutrient content of three species of wild caught insects, pallid-winged grasshopper, rhinoceros beetles and white-lined sphinx moth. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(4), 281-292. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0033>

Finke, M. D., & Oonincx, D. (2023). Insects as food for insectivores. In *Mass production of beneficial organisms* (pp. 511-

540). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822106-8.00019-1>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021). How to feed the world in 2050, 2009.

Fraqueza, M. J. R., & Patarata, L. A. S. C. (2017). Constraints of HACCP application on edible insect for food and feed. *Future foods*, 89-113.

Gere, A., Székely, G., Kovács, S., Kókai, Z., & Sipos, L. (2017). Readiness to adopt insects in Hungary: A case study. *Food quality and preference*, 59, 81-86. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.02.005>

Gjerris, M., Gamborg, C., & Röcklinsberg, H. (2016). Ethical aspects of insect production for food and feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2(2), 101-110. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0097>

Gómez-Luciano, C. A., Vriesekoop, F., & Urbano, B. (2019). Towards food security of alternative dietary proteins: A comparison between Spain and the Dominican Republic. *Amfiteatru Economic*, 21(51), 393-407. <https://doi.org/10.24818/EA/2019/51/393>

Grabowski, N. T., Tchibozo, S., Abdulmawjood, A., Acheuk, F., M'Saad Guerfali, M., Sayed, W. A., & Plötz, M. (2020). Edible insects in Africa in terms of food, wildlife resource, and pest management legislation. *Foods*, 9(4), 502. <https://doi.org/10.3390/foods9040502>

Greenfield, R., Akala, N., & Van Der Bank, F. H. (2014). Heavy metal concentrations in two populations of mopane worms

(*Imbrasia belina*) in the Kruger National Park pose a potential human health risk. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 93, 316-321. DOI 10.1007/s00128-014-1324-4

Gumussoy, M., & Rogers, P. J. (2023). A social norm intervention increases liking and intake of whole crickets, and what this tells us about food disgust. *Appetite*, 188, 106768. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2023.106768>

Hall, F. G., Jones, O. G., O'Haire, M. E., & Liceaga, A. M. (2017). Functional properties of tropical banded cricket (*Gryllobes sigillatus*) protein hydrolysates. *Food chemistry*, 224, 414-422. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.138>

Han, X., Yang, H., Rao, S., Liu, G., Hu, M., Zeng, B., ... Liu, G. (2018). The Maillard Reaction Reduced the Sensitization of Tropomyosin and Arginine Kinase from *Scylla paramamosain*, Simultaneously. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(11): 2934-2943.

Hartmann, C., & Siegrist, M. (2017). Insects as food: Perception and acceptance. Findings from current research. *Ernährungs Umschau*, 64(3), 44-50. DOI: 10.4455/eu.2017.010

Hernández, N. G., González, S. R., & Arriola, A. (2017). Hambre oculta. *Acta Pediátrica Hondureña*, 8(1), 739-750. <https://doi.org/10.5377/pediatrica.v8i1.7593>

Imathiu, S. (2020). Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects. *NFS Journal*, 18(November): 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2019.11.002>

Jantzen, A., Silva, D. A., De, L. M. (2019). Edible insects: an alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. *Food Chemistry*, 126022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126022>

Jarett, J. K., Carlson, A., Serao, M. R., Strickland, J., Serfilippi, L., & Ganz, H. H. (2019). Diets with and without edible cricket support a similar level of diversity in the gut microbiome of dogs. *PeerJ*, 7, e7661. <https://doi.org/10.7717/peerj.7661>

Kinyuru, J. N., Konyole, S. O., Roos, N., Onyango, C. A., Owino, V. O., Owuor, B. O., . . . Kenji, G. M. (2013). Nutrient composition of four species of winged termites consumed in western Kenya. *J Food Compos Anal*, 30(2), 120-124. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.02.008>

Kröger, T., Dupont, J., Büsing, L., & Fiebelkorn, F. (2022). Acceptance of insect-based food products in western societies: a systematic review. *Frontiers in nutrition*, 8, 759885. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.759885>

Kröncke, N., Bösch, V., Woyzichowski, J., Demtröder, S., & Benning, R. (2018). Comparison of suitable drying processes for mealworms (*Tenebrio molitor*). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 50, 20-25. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.10.009>

La Barbera, F., Verneau, F., Amato, M., & Grunert, K. (2018). Understanding Westerners' disgust for the eating of insects: The role of food neophobia and implicit associations. *Food quality and preference*, 64, 120-125. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.10.002>

Lähteenmäki-Uutela, A., Marimuthu, S. B., & Meijer, N. (2021). Regulations on insects as food and feed: a global comparison. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 849-856. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0066>

Lange, K., & Nakamura, Y. (2021). Edible insects as a source of food bioactives and their potential health effects. *Journal of Food Bioactives*, 14. <https://doi.org/10.31665/JFB.2021.14264>

Latunde-Dada, G. O., Yang, W., & Vera Aviles, M. (2016). In vitro iron availability from insects and sirloin beef. *Journal of agricultural and food chemistry*, 64(44), 8420-8424.

Li, M., Mao, C., Li, X., Jiang, L., Zhang, W., Li, M., ... & Hou, X. (2023). Edible insects: A new sustainable nutritional resource worth promoting. *Foods*, 12(22), 4073. <https://doi.org/10.3390/foods12224073>

Liceaga, A. M. (2019). Approaches for utilizing insect protein for human consumption: effect of enzymatic hydrolysis on protein quality and functionality. *Annals of the Entomological Society of America*, 112(6), 529-532. <https://doi.org/10.1093/aesa/saz010>

Liceaga, A. M. (2021). Processing insects for use in the food and feed industry. *Current opinion in insect science*, 48, 32-36. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.08.002>

Liceaga, A. M. (2022). Edible insects, a valuable protein source from ancient to modern times. In *Advances in food and nutrition research* (Vol. 101, pp. 129-152). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.04.002>

Liceaga, A. M., Aguilar-Toalá, J. E., Vallejo-Cordoba, B., González-Córdova, A. F., & Hernández-Mendoza, A. (2022). Insects as an alternative protein source. *Annual Review of Food Science and Technology*, 13(1), 19-34. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-052720-112443>

Liu, A. J., Li, J., & Gómez, M. I. (2019). Factors influencing consumption of edible insects for Chinese consumers. *Insects*, 11(1), 10. <https://doi.org/10.3390/insects11010010>

Luna, G. C., San Martin-Gonzalez, F., Mauer, L. J., & Liceaga, A. M. (2021). Cricket (*Acheta domesticus*) protein hydrolysates' impact on the physicochemical, structural and sensory properties of tortillas and tortilla chips. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(1), 109-120. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0010>

Mancini, S., Moruzzo, R., Riccioli, F., & Paci, G. (2019). European consumers' readiness to adopt insects as food. A review. *Food Research International*, 122, 661-678. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.041>

Mela, D. J. (1999). Food choice and intake: the human factor. *Proceedings of the Nutrition Society*, 58(3), 513-521. <https://doi.org/10.1017/S0029665199000683>

Melgar-Lalanne, G., Hernandez-Alvarez, A., & Salinss-Castro, A. (2019). Edible insects processing: Traditional and innovative technologies. *Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety*. 18 (4). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12463>

Menozzi, D., Sogari, G., Veneziani, M., Simoni, E., & Mora, C. (2017). Eating novel foods: An application of the Theory of

Planned Behaviour to predict the consumption of an insect-based product. *Food quality and preference*, 59, 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.02.001>

Mignon, J. (2002). L'entomophagie: une question de culture?. *Tropicultura*, 20(3).

Mirza Alizadeh, A., Golzan, S. A., Mahdavi, A., Dakhili, S., Torki, Z., & Hosseini, H. (2022). Recent advances on the efficacy of essential oils on mycotoxin secretion and their mode of action. *Critical reviews in food science and nutrition*, 62(17), 4726-4751. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1878102>

Montowska, M., Kowalczewski, P. Ł., Rybicka, I., & Fornal, E. (2019). Nutritional value, protein and peptide composition of edible cricket powders. *Food chemistry*, 289, 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.062>

Murefu, T. R., Macheke, L., Musundire, R., Manditsera, F. A. (2019). Safety of wild harvested and reared edible insects: A review. *Food Control*, 101(March): 209–224. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.03.003>

Musundire, R., Osuga, I. M., Cheseto, X., Irungu, J., & Torto, B. (2016). Aflatoxin contamination detected in nutrient and anti-oxidant rich edible stink bug stored in recycled grain containers. *PloS one*, 11(1), e0145914. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145914>

Mutungi, C., Irungu, F. G., Nduko, J., Mutua, F., Affognon, H., Nakimbugwe, D., ... & Fiaboe, K. K. M. (2019). Postharvest processes of edible insects in Africa: A review of processing

methods, and the implications for nutrition, safety and new products development. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(2), 276-298.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1365330>

Müller, A., Evans, J., Payne, C. L., & Roberts, R. (2016). Entomophagy and power. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2(2), 121-136. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0010>

Nadeau, L., Nadeau, I., Franklin, F., & Dunkel, F. (2015). The potential for entomophagy to address undernutrition. *Ecology of food and nutrition*, 54(3), 200-208.
<https://doi.org/10.1080/03670244.2014.930032>

Nongonierma, A. B., & FitzGerald, R. J. (2017). Unlocking the biological potential of proteins from edible insects through enzymatic hydrolysis: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 43, 239-252.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.014>

Omotayo, O. P., Omotayo, A. O., Mwanza, M., & Babalola, O. O. (2019). Prevalence of mycotoxins and their consequences on human health. *Toxicological research*, 35, 1-7.
<https://doi.org/10.5487/TR.2019.35.1.001>

Onwezen, M. C., Bouwman, E. P., Reinders, M. J., & Dagevos, H. (2021). A systematic review on consumer acceptance of alternative proteins: Pulses, algae, insects, plant-based meat alternatives, and cultured meat. *Appetite*, 159,105058.
<https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.105058>

Oonincx, D. G. A. B., Dierenfeld, E. S. (2012). An investigation into the chemical composition of alternative invertebrate prey. *Zoo Biol*, 31(1), 40-54. <https://doi.org/10.1002/zoo.20382>

Ordoñez-Araque, R., & Egas-Montenegro, E. (2021). Edible insects: A food alternative for the sustainable development of the planet. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 23, 100304. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100304>

Orkusz, A. (2021). Edible insects versus meat—nutritional comparison: Knowledge of their composition is the key to good health. *Nutrients*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/nu13041207>

Ortega, L. P., (2020). Seguridad alimentaria y calidad nutricional del uso de insectos en la dieta. *Pathology*, 147, 60-75.

Osimani, A., Garofalo, C., Milanović, V., Taccari, M., Cardinali, F., Aquilanti, L., ... & Clementi, F. (2017). Insight into the proximate composition and microbial diversity of edible insects marketed in the European Union. *European Food Research and Technology*, 243, 1157-1171. DOI 10.1007/s00217-016-2828-4

Özdal, H.R., Nakilcioğlu, E. (2024). Alternatif protein kaynağı olarak yenilebilir böcekler ve tüketici kabulü. *GIDA* (2024) 49 (3) 567-579 doi: 10.15237/ gida.GD24023

Payne, C. L. R. (2015). Wild harvesting declines as pesticides and imports rise: the collection and consumption of insects in contemporary rural Japan. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(1), 57-65. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0004>

Pérez Vázquez, A., Leyva Trinidad, D. A., & Gómez Merino, F. C. (2018). Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(1), 175-189. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.857>

Prado, M. M., García, D. G., & Sastre, R. M. (2018). Los insectos polinizadores en la agricultura: importancia y gestión de su biodiversidad. *Ecosistemas*, 27(2), 81-90. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1394>

Raheem, D., Raposo, A., Oluwole, O. B., Nieuwland, M., Saraiva, A., & Carrascosa, C. (2019). Entomophagy: Nutritional, ecological, safety and legislation aspects. *Food Research International*, 126, 108672. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108672>

Rojas-Jaimes, J. (2019). Detección de hongos y aflatoxinas en alimentos de importancia en salud pública. *Diagnóstico*, 58(2), 97-100. <https://doi.org/10.33734/diagnostico.v58i2.11>

Rozin, P., & Fallon, A. E. (1987). A perspective on disgust. *Psychological review*, 94(1), 23. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.94.1.23>

Ruby, M. B., Rozin, P., & Chan, C. (2015). Determinants of willingness to eat insects in the USA and India. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(3), 215-226. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0029>

Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular nutrition*

& *food research*, 57(5), 802-823.
<https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>

Santurino, C., García-Serrano, A., Molina García, J., Sierra Fernández, P., Castro-Gómez, M. P., Calvo, M. V., & Fontecha, J. (2016). Los insectos como complemento nutricional de la dieta: fuente de lípidos potencialmente bioactivos. *ANS. Alimentación, nutrición y salud*, 23(2), 50-56.

Schabel, H. G. (2010). Forest insects as food: a global review. *Forest insects as food: humans bite back*, 37, 64.

Schouteten, J. J., De Steur, H., De Pelsmaecker, S., Lagast, S., Juvinal, J. G., De Bourdeaudhuij, I., ... & Gellynck, X. (2016). Emotional and sensory profiling of insect-, plant-and meat-based burgers under blind, expected and informed conditions. *Food quality and preference*, 52, 27-31.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.03.011>

Smil, V. (2002). Worldwide transformation of diets, burdens of meat production and opportunities for novel food proteins. *Enzyme and Microbial technology*, 30(3), 305-311.
[https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(01\)00504-X](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(01)00504-X)

Sosa, D. A. T., & Fogliano, V. (2017). Potential of insect-derived ingredients for food applications. *Insect physiology and ecology*, 2017, 215-231.

Ssepuyua, G., Wynants, E., Verreth, C., Crauwels, S., Lievens, B., Claes, J., ... & Van Campenhout, L. (2019). Microbial characterisation of the edible grasshopper *Ruspolia differens* in raw

condition after wild-harvesting in Uganda. *Food Microbiology*, 77, 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.09.005>

Steinfeld, H. (2006). Livestock's long shadow: environmental issues and options.

Thorne, P. S. (2007). Environmental health impacts of concentrated animal feeding operations: anticipating hazards—searching for solutions. *Environmental Health Perspectives*, 115(2), 296-297. <https://doi.org/10.1289/ehp.8831>

Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>

Tuccillo, F., Marino, M. G., & Torri, L. (2020). Italian consumers' attitudes towards entomophagy: Influence of human factors and properties of insects and insect-based food. *Food Research International*, 137, 109619. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109619>

Tzompa-Sosa, D. A., Yi, L., van Valenberg, H. J., van Boekel, M. A., & Lakemond, C. M. (2014). Insect lipid profile: aqueous versus organic solvent-based extraction methods. *Food research international*, 62, 1087-1094. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.052>

Van Huis, A. (2017). Did early humans consume insects?. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(3), 161-163. DOI 10.3920/JIFF2017.x006

Van Huis, A., Dicke, M., & van Loon, J. J. (2015). Insects to feed the world. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(1), 3-6. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.x002>

van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). Edible insects. Future prospects for food and feed security, FAO Forest; FAO and Wageningen UR. Food and Agriculture Organization of the United Nations

Vane-Wright, R. I. (1991). Why not eat insects?. *Bulletin of Entomological Research*, 81(1), 1-4. <https://doi.org/10.1017/S0007485300053165>

Verbeke, W. (2015). Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society. *Food quality and preference*, 39, 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.07.008>

Wolf, E., Zhu, Y., Emory, K., Zhao, J., & Liu, C. (2019). Willingness to consume insect-containing foods: A survey in the United States. *Lwt*, 102, 100-105. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.010>

Yang, J., Zhou, S., Kuang, H., Tang, C., Song, J. (2023). Edible insects as ingredients in food products: nutrition, functional properties, allergenicity of insect proteins, and processing modifications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0(0), 1–23. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2223644>

Yerlikaya, P., Topuz, O. K., Buyukbenli, H. A., & Gokoglu, N. (2013). Fatty acid profiles of different shrimp species: Effects of

depth of catching. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 22(3), 290-297. DOI: 10.1080/10498850.2011.646388

Yi, L., Lakemond, C. M. M., Sagis, L. M. C., Eisner-Schadler, V., van Huis, A., van Boekel, M. A. J. S. (2013). Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chem*, 141(4), 3341-3348. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.115>

Zhang, Z. S., Lu, X. G., Wang, Q. C., & Zheng, D. M. (2009). Mercury, cadmium and lead biogeochemistry in the soil–plant–insect system in Huludao City. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 83, 255-259. <https://doi.org/10.1007/s00128-009-9688-6>

Zhou, Y., Wang, D., Zhou, S., Duan, H., Guo, J., & Yan, W. (2022). Nutritional composition, health benefits, and application value of edible insects: a review. *Foods*, 11(24), 3961. <https://doi.org/10.3390/foods11243961>

Zielińska, E., Baraniak, B., Karaś, M., Rybczyńska, K., & Jakubczyk, A. (2015). Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Research International*, 77, 460-466. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.008>

Żuk-Gołaszewska, K., Gałęcki, R., Obremski, K., Smetana, S., Figiel, S., & Gołaszewski, J. (2022). Edible insect farming in the context of the EU regulations and marketing-An overview. *Insects*, 13(5), 446. <https://doi.org/10.3390/insects13050446>

BÖLÜM III

Üzümde Mikoflora ve Mikotoksinler

Pelin DEMİR¹
Bahri PATIR²

1. Giriş

Üzüm dünya çapında yetiştirilen çok önemli bir üründür. Uluslararası Bağ ve Şarap Örgütü (State of the World Vine and Wine Sector) (OIV)'e göre, dünya çapında üzüm bağları 7 milyon hektardan fazla alanı kaplamaktadır ve en büyük bağ alanına sahip ülke 955.000 hektar ile İspanya'dır. Türkiye ise, yaklaşık 470 000 hektar bağ alanına sahip olup, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 2022 yılında 4 165 000 ton üzüm üretimi gerçekleşmiştir (OIV, 2022; TÜİK, 2022).

Üzümler, farklı fizyolojik özelliklere sahip, sertliğinin azalması, tane dökülmesi, gövde renginin değişmesi, kuruma ve

¹ Arş.Gör Dr. Fırat Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Elazığ/Türkiye, Orcid: 0000-0002-0824-1672, p.demir@firat.edu.tr

² Prof.Dr., Bingöl Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Bingöl/Türkiye, Orcid: 0000-0001-5933-9971, bpatir@bingol.edu.tr

küflerden ileri gelen çürüme nedeniyle raf ömrü kısa, klimakterik olmayan, oldukça çabuk bozulabilen meyvelerdir. Bünyelerinde; filamentli küfler, mayalar ve bakterileri içeren karmaşık bir mikrobiyel ekolojiye sahiptirler. Muhafaza sırasında düşük sıcaklıklara bağlı olarak gelişebilen ve meyvenin kalitesini etkileyen, toplu olarak “soğuk hasarı” olarak adlandırılan farklı fizyolojik bozukluklar gelişebilmektedir. Ürün tüketiciye ulaşana kadar sorun fark edilmediğinden bu bozukluklar ticari açıdan büyük önem arz etmektedir (Barata & ark., 2012; Aubert & ark., 2014). Hasattan sonra taze meyveler saprofitik veya parazitik patojenlerin saldırısına karşı hassastır.

Bu durum, içindeki yüksek su ve besin içeriğinden kaynaklanmaktadır. Buna ek olarak, bitkiden ayrıldıktan sonra, gelişmeleri sırasında kendilerini koruyan içsel direncin çoğunu kaybederler. Organik asit içerikleri nedeniyle, pH değeri 4,6' nın altına düşer. Bu da, meyvedeki baskın mikrobiyel formların küf kökenli olanlarını destekler. Yine sofralık üzümlerin nakliye ve muhafazası sırasında küf çürümesi, üreticilerin kârlarını ciddi şekilde etkilemektedir. Uzmanlar, dünya çapındaki toplam üzüm üretiminin %10 ila %40'ının kaybının bu sorunlardan kaynaklandığını tahmin etmektedir (Stocco & ark., 2019).

Küfler, çevresel strese karşı metabolik bir yanıt olarak hareket eden ve antagonistlerine karşı kimyasal savunma sağlayabilen ikincil metabolitler üretme yeteneğine sahiptir (Calvo & Cary, 2015; Grintzalis & ark., 2014). Birçok küf türü gıdaları da içeren uygun ortamlarda gelişirken, insanlar, hayvanlar ve kuşlar için toksik olan ve *mikotoksinler* olarak bilinen metabolitleri üretirler. Mikotoksinler, geniş bir biyolojik aktivite yelpazesine sahip olup,

protein yapısında veya enterik toksinler değildir. Çoğu karsinogeniktir. Tüketildiklerinde hepatokarsinoma (karaciğer kanseri) gibi vücudun değişik dokularında kansere sebebiyet verebilirler. Bazıları programlanmış hücre ölümü ve hücre iletişim yolunu değiştirerek organlarda (karaciğer, böbrek) toksisiteye yol açarlar (Bills & Gloer, 2016). Son yıllarda birçok ülkede, hatta gelişmiş ülkelerde, insanlarda mikotoksikozis sıklığı kayıt altına alınmamıştır. Bunun nedeni, birçok gıdada bulunuşu yasal olarak düzenleniyor veya değerlendiriliyor olmasıdır. Ancak, günümüzde bazı gelişmekte olan ülkelerde insidensi kayıt altına alınmaktadır (Brase & ark., 2009; Barreira & ark., 2010).

Mikotoksinler, üzümler de dahil olmak üzere bir çok gıda da düzenli olarak bulunurlar ve gıda güvenliğinde önemli rol oynarlar (Serra, Braga & Venâncio, 2005). Mikotoksin üretme yeteneğinde olan küfler; kurutulmuş meyveler, kuruyemişler, tahıllar ve baharatlar gibi çok sayıda gıda maddesinde gelişirler. Küf oluşumu hasat öncesinde veya hasat sonrasında, muhafaza esnasında, genellikle nemli ve sıcak koşullar altında gıdanın üzerinde veya içinde oluşabilir. Birçok mikotoksin kimyasal yapı olarak stabildir ve gıdanın işlenmesi sırasında aktif kalırlar. Yüzlerce farklı nitelikte mikotoksinin tanımlanması yapılmıştır. Ancak mikotoksinler arasında; *aflatoksinler*, *okratoksin A*, *fumonisinler*, *patulin*, *zearalenon* ve *nivalenol/deoksinivalenol* insan sağlığı ve hayvancılık açısından endişe yaratan en yaygın olanlarıdır. Mikotoksinler, hasat öncesi ve sonrasında mahsullerde küf enfeksiyonu sonucu besin zincirinde ortaya çıkar. Mikotoksinlerin alınma şekli, ya doğrudan enfekte gıdaların tüketilmesiyle, ya da

dolaylı olarak bulaş yemlerle beslenen hayvanlardan, özellikle de sütleriyle olur (WHO, 2023).

İnsan ve hayvanlarda hastalık meydana getiren, hatta sporadik veya toplu bir şekilde ölümlere neden olan küflere dair ilk bilgiler M.Ö. zamana kadar uzanır. Bilinen ilk mikotoksikozis olayı, Orta çağ Avrupasında 14. ve 16. yüzyıllar arasında görülen, “Kutsal Ateş” veya “St. Anthony’s Fire”, “Aziz Antonius Humması” olarak da bilinen *Ergotizm*’dir. Bu hastalık, *Claviceps purpurea* ile enfekte çavdardan yapılan ekmeğin tüketimi sonucu binlerce insanın ölümüne neden olmuştur. Adı geçen hastalıkta belirti olarak; yüksek ateş ile birlikte, el, kol, ayak, bacaklar ile el ve ayak parmaklarında nekrozlar ve gangrenler görülmüş, fakat hastalığın sebebi bilinmemiştir. Ancak, 19. yüzyılda ergot alkaloidinin hastalığa neden olduğu belirlenmiştir. Ergotizm hastalığına, 9 ile 18. yüzyıllar arasında oldukça sık rastlanmıştır. Sonraları, Amerika Birleşik Devletleri’nde 1925 yılında, İngiltere’de 1926-1927 yıllarında, Rusya’da 1928 yılında, Etiyopya’da ise 1978 yılında görülmüştür (Van Egmond, 1989; Hopmans, 1997). Yine, mikotoksikozis’e 17. yüzyılda Japonya’da birkaç toksijenik *Penicillium* türü ile enfekte olmuş pirinçin tüketimi sonucu “sarı pirinç hastalığı”; 20. yüzyılın başlarında Rusya’da toksijenik *Fusarium* türleri ile bulaşmış tahıl tüketimi sonucu gelişen “Alimentary Toxic Aleukia (ATA)” hastalığı örnek olarak verilebilir. Ayrıca, 1960’larda İngiltere’de, *Aspergillus flavus*’un gelişip “aflatoksin” oluşturduğu yer fıstığı yemi ile besleme sonrasında gelişen karaciğer nekrozundan, binlerce hindinin ölmesi vakasındaki gibi son yıllarda hayvanlar ve kuşlarda çeşitli vakalar bildirilmiştir (Çiftçiöglü, 2016).

Bu derlemede; üzümelerde görülen küf türlerini ve ürettikleri mikotoksinleri, konu ile ilgili olarak yayımlanan literatürler ışığında gözden geçirmek amaçlanmıştır.

2. Mikotoksijenik Mantarlar (Küfler)

Mantar (küf) tanımı, ilk defa 1822 yılında CJ. Person tarafından yapılmış ve sirke üretimi sırasında şarap yüzeyinde bulunan mikroskopik organizmayı *Mycoderma mesentericum* olarak isimlendirmiştir. Pasteur 1868 yılında bu organizmanın alkolün asetik aside dönüştürülmesi ile bağlantılı olduğunu kanıtlamış ve *Mycoderma aceti* olarak isimlendirmiştir. Daha sonraları, 1898 yılında Martinus Beijerinck bakterinin ismini *Acetobacter aceti* olarak değiştirmiştir (Heperkan, 2016b).

Küfler; ökaryotik canlılar olup, spor meydana getiren, hücre duvarında kitin veya selüloz bulunan, çoğunlukla eşeyli veya eşeysiz olarak üreyebilen canlılardır. Küfler, 4 ile 8 pH' da, 10 ile 40°C arasında ve 0,7'nin üzerindeki su aktivitesinde (a_w), ya da kuru bir ortamda rahatlıkla üreyebilirler (Mehrotra & Aneja, 1990; Didwania & Joshi, 2013). En sık bozulmaya neden olanlar *Mucor*, *Rhizopus*, *Botrytis*, *Penicillium* ve *Aspergillus* türleridir. Bozulmadan sorumlu olan küflerin bazıları *Penicillium* ve *Aspergillus* gibi, mikotoksin üretirler. Meyveler ve sebzeler küf bozulmalarına karşı son derece duyarlıdır. Örneğin, *Botrytis* türleri üzüm, ahududu, çilek, kivi, armut, şeftali, erik, kiraz gibi meyveler ile havuç, marul bezelye ve fasulye gibi sebzelerin bozulmasına neden olurken *Mucor* ve *Rhizopus* türleri ise elma, çilek, vb. gıdaları etkilemektedir (Kışla, 2016).

Literatür bilgilerine göre küf türlerinin ürettiği 500'den fazla mikotoksin çeşidinin olduğu bilinmektedir (Köppen & ark., 2010). Mikotoksinlerin kimyasal yapıları oldukça karmaşık ve çeşitli olup, fonksiyonları açıkça belirlenememiştir (Roseanu & ark.,2010). Ancak bu toksinlerin, aynı ortamda bulunan diğer mikroorganizmaların yok edilmesinde rol oynadığı ve parazitik küflerin konakçı dokulara yerleşmesine yardımcı olduğu düşünülmektedir. Toksin üretimi genel olarak, küf türünün gelişme hızı ile doğrudan bağlantılıdır (Brase & ark., 2009; Çiftçiöglu, 2016).

Mikotoksin üreten küfler, atmosferin çeşitli katmanları da dahil olmak üzere, rüzgâr ve hava akımlarının etkisiyle taşınmak suretiyle her ortamda bulunabilirler. Bu da; küf sporlarının hava, su, toprak gibi yollarla birlikte; bitki, gıda ve yemlerle bulaşabileceğini göstermektedir. Bu sporlar bulaş sonrası gelişerek, miselleri içinde mikotoksini sentezlerler. Mikotoksinlerin kontaminasyon seviyeleri; ürünün türüne, iklim koşullarına ve coğrafi konumuna bağlı olarak mevsimden mevsime ve yıldan yıla değişebilir (Concon, 1988; Steyn & Stander,1999; Abid & ark., 2003).

Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), birçok temel gıda da dahil olmak üzere dünyadaki gıda mahsullerinin yaklaşık %25'inin mikotoksin ile kontamine olduğunu tahmin etmektedir (Eskola & ark., 2020). Diğer gıda ürünleri gibi üzümler de çeşitli küf türleri tarafından kontamine olabilmektedir (Ayofemi Olalekan Adeyeye, 2020). Bu durum, sadece üzümün kalitesini değiştirmek gibi ekonomik kayıplara yol açmaz, aynı zamanda şarapta ve diğer ürünlerde tüketicinin sağlık güvenliği açısından risk oluşturan mikotoksinleri de üretebilir. Bu; çeşitli çevresel faktörlerin yanı sıra,

uygun olmayan hasat, muhafaza ve üretim işlemlerinden kaynaklanmaktadır (Neme & Mohammed, 2017).

Mikotoksinler sentezlendikleri küf cinsine veya türüne göre sınıflandırılmaz. Çünkü, bazı küf türleri aynı anda farklı mikotoksinleri sentezleyebildikleri gibi, bir mikotoksin de farklı küf türleri tarafından sentezlenebilir. Değişik cins ve türün bazı toksijenik tipleri ve ürettikleri toksinler şöyledir; *Aspergillus flavus* ve *Aspergillus parasiticus*, ikisi de “aflatoksin” üretir. *Aspergillus nidulans* ve *Aspergillus versicolor* “sterigmatosistin” üretir. *Fusarium verticillioides* “fumonisin” üretir. *Fusarium graminearum* “deoksinivalenol-DON” üretir. *Fusarium* spp. “zearalenon” üretir. *Penicillium viridicatum* “okratoksin” üretir. *Penicillium patulum* “patulin” üretir. *Penicillium roqueforti* “roquefortin” üretir ve *Claviceps purpurea* “ergot alkaloidleri” üretir. Toksijenik türler toksijenik olmayan türlerden yalnızca morfolojik özellikleri yoluyla ayırt edilemezler. Bunun için, küfün uygun koşullarda üretilmesi ve materyalin mikotoksin varlığı veya yokluğu yönünden test edilmesi gereklidir. Bu özellikler gıda üretiminde kullanılan değişik cinslere ait küf türleri açısından önemlidir (Çiftçioğlu, 2016). Aşağıda, özellikle üzüm ve kurutulmuş üzümelerde görülen küf cinsleri ve bu cinslere ait türler hakkında bilgi verilmiştir.

2.1. *Aspergillus* cinsi

Aspergillus cinsi tabiatta oldukça yaygındır ve gıdalarda önemli türleri bulunur. Bu grubun üyeleri septalı hif, konidia veya eşeysiz spora sahip olup bazıları siyah renklidir. Çoğu kserofiliktir (düşük a_w 'de gelişir) ve tahıllarda gelişip bozulmaya yol açar. Gıdaların örneğin reçel, jambon, fındık fıstık, meyve ve sebzelerin bozulmasına (çürüme) yol açar. Bazı türlerin suşları

mikotoksin oluşturur. Örneğin *Aspergillus flavus* “aflatoksin” üretir. Bazı türlerin suşları da gıdalarda ve gıda katkı maddelerinin üretiminde kullanılır. *Aspergillus oryzae*, q-ami|az ile nişastayı hidrolize ederek fermente edilmiş pirinçten elde edilen ve alkollü bir içecek olan “sake” nin üretiminde kullanılır. *Aspergillus niger* ise sukrozdan sitrik asit üretiminde ve B-ga|aktozidaz gibi enzimlerin üretiminde kullanılır (Heperkan, 2016a).

Aspergillus türlerinin izole edilemeyeceği az sayıda gıda, emtia ve hammadde vardır. *Aspergillus* cinsine ait türler, büyük tarımsal, epidemiyolojik ve ekonomik etkiye sahip birçok mikotoksin üretir. Mikotoksin tarımsal kirlilikten sorumlu ana ajanlardan biridir ve birçok tarımsal ürünün ortak mikrobiyel florasıyla ilişkilidir. Başta, *Aspergillus flavus* ve *Aspergillus parasiticus* olmak üzere *Aspergillus nomius* en önemli “aflatoksin” üreten türlerdir. Okratoksin A' nın üretimi esas olarak *Aspergillus carbonarius* ve *Aspergillus niger* veya *nigri* cinsi türler ile ilişkilidir ve bunların aynı zamanda “fumonisin”, “sterigmatosistin”, “siklopiazonik asit” ve “patulin” ürettiği de rapor edilmiştir (Plascencia-Jatomea & ark., 2014). Aflatoksin üretimi ile ilişkili küflerin hemen hepsi, toprakta yaygındırlar ve genel olarak bitkisel maddelerin çürümesine sebep olurlar (Jacobsen, Coppock & Mostrom, 2007). Aflatoksin üreten türler için genel üreme koşulları, optimal 25-37°C olmak üzere 13-42°C arasındaki sıcaklık ile %80-85 veya daha fazla bağıl nem içeriğidir. *Aspergillus flavus*'un üremesi için minimum 0,80; toksin üretebilmesi için ise minimum 0,82 su aktivitesi (a_w) gereklidir. *Aspergillus parasiticus*'un üremesi ve toksin üretebilmesi için ise sırasıyla minimum 0,84 ve 0,87 a_w gereklidir. Aflatoksin üretimi için *Aspergillus flavus* ve *Aspergillus*

parasiticus'un optimum 33°C sıcaklık ile 0,99 a_w değerlerine ihtiyaç vardır (Sweeney & Dobson, 1998; Murphy & ark., 2006).

Bağda gelişme ve hasat sırasında üzümlerde pek çok küf oluşabilir. Ancak mikotoksin kontaminasyonu açısından asıl sorun siyah *Aspergillus* spp. (*Aspergillus carbonarius* ve *Aspergillus niger*) dir. Bu türler, üzüm, şarap, kurutulmuş üzüm ve üzüm suyunda “okratoksin A (OTA)” mikotoksinini üretme yeteneğine sahiptirler. Siyah *Aspergillus* spp.’lerin ekolojisini ve fizyolojisini bilmek, üzüm üretimi ve işlenmesinin tüm aşamalarında OTA oluşumunun engellenmesinde fayda sağlayabilir. Bağda yetiştirme, sulama ve budamanın uygun şekilde yapılması, topraktaki siyah *Aspergillus* spp. seviyelerinin en aza indirilmesine yardımcı olabilir. Sonuçta, bu da üzümlerin bu türler tarafından kontaminasyonunu en aza indirebilir. Açık asma kanopileri, yağmur hasarına dayanıklı üzüm çeşitleri ve böcek zararlıları ve küf hastalıklarıyla (örn. küf, *Botrytis* salkım çürüklüğü) mücadele yoluyla asmadaki üzümlere verilen zararın en aza indirilmesi, olgun üzümlerde *Aspergillus* çürüklüğünün görülme sıklığını azaltabilir. Sofralık üzümlerde OTA riski, meyvelerin zarar görmesini ve renginin değişmesini önlemek için dikkatli bir görsel inceleme yapılarak en aza indirilebilir (Hocking & ark., 2007).

Arjantin ve Brezilya'da *Aspergillus niger* türlerinin Arjantin üzüm çeşitlerinde baskın olduğu ve Brezilya çeşitlerinde *Aspergillus niger*, *Aspergillus ochraceus* ve *Aspergillus carbonarius* türlerinin izole edildiği belirtilmektedir (Chulze, Magnoli & Dalcero, 2006).

2.2. *Penicillium* cinsi

Penicillium cinsine ait toksijenik türler ve suşların şaraplık üzüm ve türevleri üzerinde geliştiği ve “aflatoksin”, “patulin”, “okratoksin” gibi çeşitli mikotoksinler ürettiği bilinmektedir. Değişik türlerin bazı toksijenik tipleri ve ürettikleri toksinler şöyledir: *Penicillium viridicatum* “okratoksin” üretir. *Penicillium patulum* “patulin” üretir. *Penicillium roqueforti* ise “roquefortin” üretir. *Penicillium expansum* türünün ise üzümlerde “patulin” ve “sitrinin” sentezinden başlıca sorumlu olduğu bilinmektedir (Çiftçioğlu, 2016; Sajid & ark., 2019; Li & ark., 2020). Yapılan bir çalışmada (Ostry & ark., 2018), üzümde *Penicillium expansum* mikrofungusları izole edilmiş ve bunun “sitrinin” ve yüksek miktarda “patulin” üretme yeteneğinin olduğu doğrulanmıştır. Ayrıca, asmalarda “patulin” mikotoksinini üreten *Penicillium griseofulvum* türü de saptanmıştır (Valente & ark., 2020; Felšćiová & Kaćániová, 2021).

2.3. *Fusarium* cinsi

Fusarium’ un pek çok türü; patates ve tahıllar ile turunçgil meyvelerde çürümeye neden olur. Pamuksu yapıda, hifleri septalı ve konidiaları orak şeklindedir. Bu türler; “fumonisin”, “zearalenon”, “trikotesen” ve “deoksinivalenol (DON)” mikotoksinlerini üretirler. Bu cins içerisinde, *Fusarium verticillioides*, *Fusarium graminearum* ve *Fusarium proliferatum* en önemli türlerdir. Ayrıca, *Fusarium* türlerinden, *F.semitectum*, *F.equiseti*, *F.proliferatum*, *F.oxysporum*, *F.avenaceum*, *F.sporotrichioides*, *F.tricinatum*, , *F.subglutinans*, *F.culmorum*, “moniliformin”; *F.sporotrichioides*, *F.oxysporum*, *F.venenatum*, *F.proliferatum*, *F.poeae*, *F.tricinatum*, *F.avenaceum* “enniatin”; *F.equiseti*, *F.poeae*, *F.sporotrichioides* *F.verticilloides*,

F.subglutinans, *F.oxysporum*, *F.proliferatum*, “beauverisin”; *F.proliferatum*, *F.subglutinans*, *F.oxysporum* ve *F.sporotrichioides* ise “fusaproliferin” mikotoksinlerini üretirler. Çevre koşulları, coğrafi bölgenin özellikleri ve izole edildiği bitki çeşidi *Fusarium* türlerinin dağılımında ve dayanıklılığında etkili olmaktadır. Genel olarak, Avrupa’ nın kuzey ve nemli bölgelerinde, *Fusarium graminearum* ve *Fusarium subglutinans*; daha sıcak ve kuru bölgelerde ise *Fusarium verticillioides*’ in baskın tür olduğu bildirilmiştir (Dorn & ark., 2009).

Küflerin gelişebilmesi için minimum a_w değerinin 0,87 olduğu bilinmektedir. *Fusarium* türleri minimum pH 1,8’ de gelişebilirler. *Fusarium verticilloides*’in optimum gelişme sıcaklık derecesi 22,5-27,5°C arasında olup; 0,85-0,86 a_w değerlerinde toksin üretmediği tespit edilmiştir. *Fusarium proliferatum*, *Fusarium verticilloides* ile benzer özelliklere sahiptir. Bu tür, 0,92-0,97 a_w değerleri arasında mikotoksin üretebilir ve 25-30°C arasında gelişebilir (Sweeney & Dobson, 1998).

2.4. Alternaria cinsi

Hasat sonrası sofralık üzüm patojenlerinden biri *Alternaria* spp.'dir. Bu cinse ait türler toprakta yaygın olarak bulunan patojen ve saprofitik küflerdir. Hem nemli hem de yarı kurak bölgelerde yaygındırlar ve tarlada yetişen bitkileri enfekte edebilirler. *Alternaria* cinsine ait türler, septalı hif ve koyu renkli spor veya konidiaya sahiptirler. Bu türler düşük sıcaklıkta gelişirler. Dolayısıyla genellikle buzdolabında ve depolama sırasında oluşan bozulmayla ilişkilendirilirler (Ostry, 2008). Bu cins; meyve ve sebzelerin tarlada ve ayrıca hasat sonrası, nakliye ve muhafaza sırasında bozulmasından sorumlu olan ve önemli ekonomik

kayıplara neden olan saprofitik veya parazitik bitki patojenlerini içerir. *Alternaria* cinsinin üyeleri, küfün dokuya nüfuz ettiği ve enfeksiyon koşulları uygun olana kadar hareketsiz kaldığı enfeksiyonların sık görülme nedenidir (Pavón Moreno & ark., 2012).

Enfeksiyon için çevresel gereksinimler *Alternaria* türüne ve konakçıya bağlıdır. Ancak uygun sıcaklık ile yağmur, çiy yoğunlaşması veya sulama yoluyla gerçekleşen su tabakasının etkileşimi her zaman gereklidir. Misel büyümesi için optimum sıcaklık 18–25 °C civarında olmalıdır. Ancak sporlar 4-35 °C aralığında çimlenebilir ve enfekte olabilir. Optimum sıcaklık koşullarında enfeksiyon için en az 5-8 saatlik ıslaklık gerekir (EFSA, 2011).

Birçok *Alternaria* türünün toksik ikincil metabolitler olan *Alternaria* mikotoksinlerini ürettiği bilinmektedir (Rotem, 1994; Prendes & ark., 2015). *Alternaria* cinsi içerisinde *Alternaria citri*, önemli bir tür olup, en düşük üreyebildiği a_w değeri 0,84' dür (Sivri, 2016). Siyah küf cinsi olan *Alternaria* Ness ise her yerde bulunur ve çeşitli saprofitik, endofitik ve patojenik türleri içerir. *Alternaria* Ness cinsine ait türlerin çoğu, genellikle tarlada çeşitli gıda ürünlerinin bozulmasına veya hasat sonrası çürümeye neden olur. *Alternaria* spp.'nin neden olduğu çürüklük, hasat sonrası depolama sırasında meyveler üzerinde, genellikle sapsuların yakınında yüzeysel, sert ve koyu kahverengi lezyonlar görülür (Stocco & ark., 2019).

Alternaria cinsine ait küfleri saptamak amacıyla, Slovakya' da yapılan bir çalışmada (Tančinová & ark., 2016), küçük ve orta ölçekli çeşitli bağcılık bölgelerinden, 2011-2013 yıllarında beyaz ve kırmızı üzüm çeşitlerinden elde edilen 47 örnekten toplam olarak

6063 suş izole edilmiştir. İzolatlar, sporlanma şekillerine göre *Alternaria tenuissima* (3579 izolat), *Alternaria alternata* (1369 izolat), *Alternaria arborescens* (734 izolat) ve *Alternaria infectoria* (143 izolat) olmak üzere dört tür grup tanımlanmış, 238 izolat ise tanımlanamamıştır.

Patojen *Alternaria* spp. sofralık üzümlerde yüksek oranda tespit edilmiş ve salkım gelişimi süresince tane, çiçek ve üzüm saplarında kolonize olduğu belirlenmiştir. Hasattan sonra patojenler canlı kalarak lezyonlara neden olabilir. *Alternaria* düşük sıcaklıklarda büyüebildiğinden, hasat sonrası dönemdeki stres faktörleri bu patojenin neden olduğu salkım çürümesine zemin hazırlayabilir. *Alternaria* spp.'nin neden olduğu çürüklük, hasat sonrası depolama sırasında meyveler üzerinde, genellikle sapların yakınında yüzeysel, sert ve koyu kahverengi lezyonlar şeklinde görülür. Sap ve meyvelerde gri miselyum gözlemlenir (Stocco & ark., 2019).

2.5. Botrytis cinsi

Botrytis cinsi içerisinde yer alan *Botrytis cinerea*, 1400'den fazla bitki türünü enfekte eden polifag bir küftür (Elad & ark., 2016). Etken, dünya çapında 200'den fazla mahsulde 'gri küf'e neden olan nekrotrofik yaşam tarzına sahip, havayla taşınan bir bitki patojenidir. Bu küf, yalnızca canlı konakçı dokuyu enfekte eden ve kolonize eden biyotrofik mantarların aksine, besin maddelerinin kolonizasyonu ve emiliminden önce, bitki dokusunu çürüten enzimler salgılar (Mendgen & Hahn, 2002; van Kan, 2005) ve kökleri, sürgünleri, yaprakları, çiçekleri ve meyveleri enfekte eder. Domates, kivi, gül, çilek, sofralık üzüm ve şaraplık üzümler de dahil olmak üzere birçok

önemli ürün bu küften etkilenmektedir (Droby & Lichter, 2004; Williamson & ark., 2007).

Botrytis cinerea, dünya çapında üzümlerin en önemli patojenlerinden biridir. Üzüm asmalarının tüm farklı kısımlarına saldıran ve onları enfekte ederek sorunlara neden olan bir küftür. Ancak *Botrytis Bunch Rot* (BBR) yani “salkım çürüklüğü” en problemlisi olanıdır. Salkım çürüklüğü, hem şaraplık üzümlerin hem de sofralık üzümlerin verimini ve de şarapların kalitesini önemli ölçüde azaltabilir, bağcılıkta önemli ekonomik kayıplara yol açabilir. Soğuk veya ılıman sıcaklıklarla birlikte yüksek nem veya uzun süreli yağmur, meyve yüzeylerinde kalıcı nemin oluşmasına neden olur. Dolayısıyla enfeksiyon ve hastalık gelişimini teşvik eder. Daha önce enfekte olmuş alanlar ve oyuklar gibi korunaklı bağ alanları, hastalığın gelişmesi açısından en büyük risk altında olan yerlerdir. Sıcak ve yağışlı hava (15-20°C, en az %90 nem) *Botrytis cinerea* enfeksiyonuna ve yayılmasına neden olur (Elmer & Michailides 2004; Alzohairy & Miles 2020).

Botrytis cinerea enfeksiyonunun ilk belirtileri bazen çiçeklenmeden önce de görülebilir. Tomurcuklar ve erken sürgünler enfekte olursa kahverengiye dönebilir ve kuruyabilir. Yapraklarda genellikle yaprak kenarlarında kırmızımsı kahverengi, düzensiz nekrotik lekeler gelişebilir. Salkım çürüklüğü belirtileri çoğunlukla ben düşme sonrasında görülür. Beyaz üzüm çeşitlerinde, meyveler ilk önce pembemsi kahverengiye döner ve kuru havalarda meyve pörsümesi görülür ve taneler büzülür veya yağışlı havalarda taneler yarılr. Bu durum, *Botrytis cinerea*'nın meyvenin yüzeyinde gri bir küf olarak görünen conidia'yı üretmeye başlamasını tetikler. Kırmızı çeşitlerde, küf sporlanana kadar semptomların gözlemlenmesi daha

zordur. Bu da hastalığın tespit edilmesini ve yaygınlığını daha da zorlaştırır ve büyük mahsul kayıplarına yol açmasına neden olabilir. Enfekte olmuş meyvelerde, hafif bir baskı uygulandığında meyvenin kabuğunun kaymasına neden olan ve 'kabuk kayması' olarak bilinen bir durum da gelişebilir. Eğer pedicel (sapçık) veya rachis (sap) enfeksiyon kaparsa, üzüm salkımının enfeksiyona uzak kısımlarının solmasına neden olabilecek siyah lezyonlar ortaya çıkabilir (Pearson & Goheen, 1988).

Botrytis cinerea dünyada olduğu gibi, Türkiye’de de bağlarda çiçek enfeksiyonlarına, çiçek yanıklığına neden olan ve dolayısıyla meyve tutumunu ve verimini azaltan önemli bir sorun olabileceği belirtilmektedir (Burçak & Delen, 2000; Özer & ark., 2004; Köycü, Özer & Özer, 2005; Köycü & ark., 2018).

2.6. Byssochlamys cinsi

Byssochlamys cinsi birçok türe sahipken, ekonomik açıdan önemli iki tür içerir. Bunlar *Byssochlamys nivea* ve *Byssochlamys fulva*’dır. Her iki tür de konserve ve şişelenmiş çilek, böğürtlen, kayısı, üzüm, erik, elma, meyve suları ve meyve jeli içeren bebek mamalarının bozulmasına neden olmaktadır. Adı geçen türlerin, dünya çapında, ülkelerde ısıl işlem görmüş meyvelerin bozulmasıyla ilişkili olarak en sık karşılaşılan küfler arasında yer aldığı bildirilmektedir (Tournas, 1994; Kotzekidou,1999). *Byssochlamys* türleri, ısıya dayanıklı olan ve 85°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda önemli sürelerde hayatta kalabilen *askosporlar* üretir (Beuchat & Rice, 1979; Splittstoesser, 1987). Bunlar, ısıya dayanıklılıklarının yanı sıra, çok düşük oksijen gerilimi altında da gelişebilmekte ve pektinolitik enzimler oluşturabilmektedir. Bu üç fizyolojik özelliğin birleşimi, *Byssochlamys* türlerini pastörize ve konserve meyvelerde

çok önemli bozulmaya neden olan küfler haline getirmektedir. *Byssochlamys'* in *Paecilomyces* olarak bilinen anamorfudur (Taniwaki, 1995; Samson & ark., 2009). Toksik bir ikincil metabolit olan Patulin; *Byssochlamys nivea* ve *Byssochlamys fulva* tarafından üretilmektedir (Jackson & Dombrink-Kurtzman, 2006).

3. Küf Mikotoksinleri

Gıdalarda bulunan mikotoksinler; *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Claviceps* ve *Alternaria* cinsleri başta olmak üzere, bazı patojen ve ürünlerde bozulma yapan küfler tarafından üretilen, insan ve hayvanlar için toksik çok sayıdaki ikincil metabolitlerdir. Çoğu henüz tanımlanmamıştır. Bazı toksinler daha önce belirlenmiş ve sınıflandırılmıştır. Birden fazla kimyasal tip vardır. Buna en iyi örnek aflatoksinlerdir. Bunun 2 ana tipi; B₁,B₂,G₁,G₂ ve M₁' dir. Her birinin ise birkaç alt tipi bulunmaktadır. Aflatoksin B₁ en etkili tip olarak dikkate alınmaktadır. Küf mikotoksinlerinin en önemlileri; *Aspergillus* cinsine ait türler tarafından üretilen “aflatoksinler”, hem *Aspergillus* hem de *Penicillium* türleri tarafından üretilen “okratoksin A”, *Fusarium* türleri tarafından üretilen “trikotesenler (tip A: HT-2 ve T-2 toksini ve tip B: deoksinivalenol)”, “zearalenon”, “fumonisin B1 ve B2” dir (Çiftçiöğlü, 2016; Gruber-Dorninger & ark., 2017; Knutsen & ark., 2017; Rai, Das & Tripathi, 2020).

3.1. Yaş Üzümlerde Mikotoksinler

3.1.1. Aflatoksin

Aflatoksinler, insan ve hayvan sağlığı açısından oldukça önemli olan mikotoksinlerdir. Genelde doğal olarak; buğday, mısır, fındık, yer fıstığı, pamuk tohumu, kurutulmuş hindistan cevizi içi,

bazı sebze ve meyvelerde bulunurlar. Aflatoksinler, esas olarak *Aspergillus flavus* ve *Aspergillus parasiticus*'un belirli suşları tarafından yapılan bir grup ikincil metabolitlerdir. Aflatoksin üretme yeteneğinde olan küfler “aflatoksijenik küfler” olarak tanımlanmaktadır. Uygun bir mikrobiyolojik besiyerinde *Aspergillus flavus* suşları 33°C’de, pH 5,0 ve a_w 0,99 değerlerinde optimum düzeyde aflatoksin üretme yeteneğine sahiptir (Çiftçiöglü, 2016; WHO, 2023).

Aflatoksinlerin kanserojen, mutajenik ve teratojenik etkileri olduğu belirlenmiştir. Aflatoksinler, başta karaciğer ve böbrek olmak üzere çeşitli organlarda kansere yol açar. Aflatoksinlerin yapısını oluşturan kumarin, DNA ve RNA mekanizmasını bozarak organizmanın gelişimini engeller. Toksin, uzun süre kontamine gıdalarla alındığında ve vücutta biriktiğinde ortaya çıkan kronik “aflatoksin hastalıkları” özellikle tropikal ülkelerde yaygındır. Bu hastalıklar arasında karaciğer kanseri ilk sırada yer almaktadır. Hepatit ve akciğer kanseri diğer kronik aflatoksin hastalıklarıdır. Kronik aflatoksin hastalıkları, iç organlarda, özellikle karaciğerde yağ dejenerasyonu ile ortaya çıkmaktadır. Aynı anda yüksek düzeyde toksin alımına bağlı olarak ortaya çıkan akut “aflatoksin zehirlenmesi” vakaları çok yaygın değildir. Birçok hayvan türünde akut zehirlenmenin klinik belirtileri; iştahsızlık, kilo kaybı, kontrolsüzlük, nörolojik anormallik, kasılmalar ve ölümdür. (Quintela & ark., 2013; WHO, 2023).

Üzümler, küflerden ileri gelen hastalıklara karşı hassastır ve uygun şartlarda bazı küfler farklı mikotoksinleri üretebilirler (Paterson & Lima, 2010a; Paterson & Lima, 2010b; Pena & ark., 2010). Sıcaklık, yağış ve CO₂ konsantrasyonlarındaki aşırı

değişiklikler küfün gelişimi ve mikotoksin üretimi için en önemli şartlar olduğu tahmin edilmektedir. İklim değişikliği nedeniyle küflerin dağılımında bir değişimin meydana gelebileceği bilinmektedir. Bu durum, diğer faktörlerin yanı sıra, bölgede yağışların ya da sıcaklık ve kuraklık olaylarındaki artış ya da azalışlar ile yakından ilgilidir (Magan, Medina & Aldred, 2011; Medina & ark., 2017). *Aspergillus flavus*, iklim değişikliği nedeniyle coğrafi dağılımının değişmesi beklenen mikotoksijenik küflerden biridir. Ancak, iklim parametrelerindeki değişikliklerin bağlarda *Aspergillus flavus* dağılımını nasıl etkileyebileceğine odaklanan herhangi bir çalışma bulunmamaktadır (Melguizo & ark., 2023).

Üzümlerde *Aspergillus* spp.'lerin varlığını ve *aflatoksin* üretme yeteneklerini ortaya koymayı amaçlayan sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. *Aspergillus flavus* türü, doğal üzüm mikobiyotasının alışılmamış bir üyesi olarak kabul edilmesine karşın, bazı Akdeniz ülkelerinde yapılan çalışmalarda bu türün üzüm bağlarında düşük oranda görüldüğü rapor edilmiştir (Martinez-Culebras & Ramon, 2007; Medina & ark., 2005; Melki Ben Fredj & ark., 2007).

Yapılan çalışmalarda, üzüm bağlarının *Aspergillus flavus* ile kontaminasyonunda geçmiş yıllara göre önemli bir artışın olduğu saptanmıştır. Bu sonuç, bağların kirlenmesini ve bu küf türünün gelişimini etkileyen tüm fiziko-kimyasal parametrelerin daha iyi anlaşılması için, bir veri analizine ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Melguizo & ark., 2023).

Konuyla ilgili olarak, 2005 yılında ben düşme ve hasat dönemlerinde Lübnan üzümlerinden 510 adet filamentli küf türü

izole etmişlerdir. Bunlardan 487 izolatın *Aspergillus* spp.'ye ait olduğu (%95,5) ve bunların %43,1'inin üzüm mikobiyotasının olağan üyesi olmayan *Aspergillus flavus* olduğu görülmüştür. *Aspergillus flavus* izolatlarının aflatoksijenik özellikleri incelendiğinde; %43,4' ü maksimum 22,6 µg/g CYA düzeyinde aflatoksin ürettiği, diğer izolatların hiçbirinin bu mikotoksini üretme kapasitesine sahip olmadığı tespit edilmiştir (El Khoury & ark., (2008).

Yapılan bir diğer araştırmada (Ghuffar & ark., 2020), Ağustos 2015 ve 2016'da Pakistan'ın Pencap Eyaletinde enfekte üzümlerden alınan örneklerin morfolojik ve gelişme özelliklerine dayanarak yapılan incelemede, elde edilen izolatlar *Aspergillus flavus* olarak tanımlanmıştır. Daha önceleri, Tunus'taki (Fredj, Chebil & Mliki, 2009) üzümlerde *Aspergillus flavus*' tan aflatoksin B1 üretimi rapor edilmiş olsa da; bu, Pakistan'da sofralık üzümlerde meyve çürüklüğüne neden olan *Aspergillus flavus*' un tespit edildiği ilk rapor olarak kayda geçmiştir

Yakın zamanda yayımlanan bir çalışmada (Gómez-Albarrán & ark., 2021), İspanyol üzümlerinde de *Aspergillus flavus*' un yüksek oranlarda bulunduğu gözlemlenmiştir. Benzer olarak, yapılan bir diğer çalışmada (Benaziz & ark., 2021), Fas' ta iki bağdan toplanan sekiz üzüm çeşidine ait 49 örnekten toplam 119 küf izolatı elde edilmiştir. Çalışmada, üzümlerden izole edilen *Aspergillus* ve *Penicillium* türlerinin aflatoksin ve patulin mikotoksinlerinin kaynağı olduğu belirlenmiştir. İzolatların morfolojik karakterlerinin incelenmesiyle ilgili tüm sonuçlar, mikotoksin üreten *Aspergillus flavus* ve *Penicillium expansum* türlerinin baskın olduğunu göstermiştir. Araştırmada, özellikle üzümde *Aspergillus* ve

Penicillium cinslerinin izolasyonu oldukça dikkat gerektiren bir işlem olduğu, *Aspergillus* ve *Penicillium*'un hızlı ve spesifik tespiti, gıdanın mikrobiyolojik güvenliğinin sağlanması açısından önemli olduğu vurgulanmıştır.

Yine son zamanlarda birkaç raporda *Aspergillus flavus*' un üzüm bağlarında tanımlandığı belirtilmektedir. Şöyle ki; yapılan bir çalışmada (Melguizo & ark., 2023), spesifik PCR testi kullanılarak, İspanyol bağlarından toplanan 61 üzüm örneğinin 43' ünde *Aspergillus flavus*' un varlığı gösterilmiştir. Gözlemlenen yüksek insidans dikkate alınarak üzümlerin aflatoksin ile kontamine olma riski değerlendirilmiştir. Üzümlerden elde edilen *Aspergillus flavus* izolatları, çeşitli çevresel koşullar altında özel besiyerinde geliştiği, ancak toksin üretme yetenekleri doğrulanmış olmasına rağmen, “aflatoksin B1 (AFB1)” veya “aflatoksin B2 (AFB2)” toksinlerini üretememişlerdir. Bu sonuçlar, iklim değişikliğinin mikotoksijenik küflerin dağılımını etkilediğini, dolayısıyla bağlarda *Aspergillus flavus* oluşumunu doğrular niteliktedir. Bu bağlamda, yapılan laboratuvar çalışmalarında (Gómez-Albarrán & ark., 2021), üzümlerde *Aspergillus flavus* varlığının arttığına dikkat çekilmiştir. Benzer olarak, son zamanlarda Brezilya üzüm bağlarında da *Aspergillus flavus* varlığında bir artışın olduğu gözlemlenmiştir (Dutra-Silva & ark., 2021).

Yukarıda belirtilen çalışmaların ışığında, *Aspergillus flavus*'un üzüm bağlarında sıklıkla görülmesi göz ardı edilemez bir durumdur. Ancak sonuçlar, üzümlerden elde edilen *Aspergillus flavus* izolatlarının, muhtemelen substratta bulunan bazı bileşikler nedeniyle, bu matriste aflatoksin üretemediğini göstermektedir. İklim değişikliği, ilgili çevresel koşullar bu mikotoksinin

Aspergillus flavus tarafından üretilmesini etkilemediği, dolayısıyla üzüm veya ürünlerinde AFB1 veya AFB2' nin düzenlenmesine gerek olmadığı, üzümlerin aflatoksin ile kontamine olma riskinin yeniden gözden geçirilmesi gerektiği önerilmektedir (Ghuffar & ark., 2020).

Gıdaların ve yemlerin önemli miktarlarda aflatoksin içermesi, dolayısıyla gıda güvenliği açısından büyük risk teşkil etmesi, bu mikotoksinin çeşitli gıdalarda ve yemlerde sürekli olarak kontrol altında tutulmasını zorunlu kılmaktadır. Bu konuda Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ile Gıda ve Tarım Teşkilatı (FAO), Gıda Katkıları Ortak Uzmanlar Komitesi (JECFA)'ın yaptığı toplantılarda aflatoksinler ele alınarak değerlendirilmiştir. Komite, insanlardaki epidemiyolojik çalışmalara dayanarak, aflatoksinlerin bilinen en güçlü mutajenik ve kanserojen maddeler arasında yer aldığını ve potansiyel riski olduğunca azaltmak için, diyetle aflatoksinlere maruz kalmanın mümkün olan en düşük seviyelere indirilmesini önermiştir. Bu bağlamda komite, zaman içerisinde mısır ve yer fıstığında tolere edilebilecek toplam aflatoksin (AFL B1, B2, G1 ve G2) miktarını, insan sağlığı lehine olmak üzere yeniden değerlendirerek, daha önce belirlenen 20 µg/kg' dan, 10 µg/kg'a düşürülmesi gerektiğini bildirmiştir. Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (The International Agency for Research on Cancer) (IARC) ise, doğal olarak oluşan aflatoksinlerin insanlar için kesinlikle kanserojen maddeler olduğu sonucuna varmıştır (WHO, 2007; WHO, 2008).

Aflatoksin B1, aflatoksinler arasında en güçlü kanserojendir. Mevcut toksikolojik verilerin çoğu aflatoksin B1 ile ilgilidir. Avrupa Birliği (AB) uygulamalarında, insan tüketimine arz edilen hazır gıdalarda aflatoksin B1 için en fazla 2 ppb ve toplam aflatoksin için

en fazla 4 ppb seviyelerine izin verilmiştir (EC, 2007). Ancak 2010 yılında yayınlanan yeni yönetmeliğe (EC, 2010) göre AFB1 ve toplam aflatoksin miktarları, doğrudan tüketime sunulan ve gıda bileşeni olarak kullanılan antep fıstığı için sırasıyla 12 ve 15 µg/kg'a, fındık için ise 5 ve 10 µg/kg'a çıkarılmıştır. Kuru meyvelere uygulanan limitlerde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

Bugün Türkiye’de yürürlükte olan “*Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği*” (RG, 2023) ile kurutulmuş meyveler (tek bileşen olarak) veya bunların işlenmiş ürünleri (kuru incir hariç) son tüketici için piyasaya arz edilenler veya gıda bileşeni olarak kullanılanlar için “aflatoksin B1” miktarı en çok 8 µg/kg, “toplam aflatoksin” miktarı ise en çok 10 µg/kg ile sınırlandırılmıştır.

3.1.2. Okratoksin A (OTA)

Okratoksin A (OTA), insan ve hayvan sağlığı üzerinde yarattığı tehlike nedeniyle dünya çapında büyük ilgi görmektedir. Tahıllar veya domuz eti ve kümes hayvanı eti gibi ürünlerin OTA içerdiği bilinmektedir. Bununla birlikte, son yıllarda; şarap, üzüm, üzüm suyu, kahve, bira ve süt gibi diğer gıda ürünlerinde OTA kontaminasyonunu bildiren makale sayısı oldukça artmıştır. Tüketilen gıdalarda, sürekli olarak artan OTA maruziyeti sebebiyle, birçok ülkede hem insan kanında hem de birçok üründe yüksek değerlerde OTA tespit edilmiştir (Abarca, 2001).

Okratoksin A (OTA) ilk kez 1965 yılında *Aspergillus ochraceus*' dan ikincil bir metabolit olarak izole edilmiştir (Van der Merwe & ark., 1965). OTA toksik bir metabolit olarak tanımlanmış ve en önemli mikotoksinlerden biri olarak kabul edilmiştir. OTA esas olarak bazı *Aspergillus* ve *Penicillium* cinsi küfler tarafından

üretilmektedir. Okratoksinler, L-fenilalanin'e bağlı izokumarin derivatıyla yakın ilişkili olan ve biyosentetik orijinli poliketid olarak bilinen pentaketidlerden meydana gelmiştir. Okratoksinlerin, kimyasal yapıları birbirine yakın 7 farklı tipi bulunmaktadır (Searcy, Davis & Diener, 1969; Desphande, 2002). Gıdalarda daha çok bulunan ve en toksik olanı OTA'dır. OTA'nın verilen limit değerlerin üzerinde tüketimine maruz kalındığında, insanlarda zarar gören hedef organlar daha ziyade karaciğer ve böbrek iken, vücutta karsinogenik (kanserojen), immunosupresif (bağışıklık sistemine etki eden toksik), genotoksik (DNA üzerine etki eden) ve hepatotoksik (karaciğer üzerine etki eden) gibi toksisite etkileri gözlemlenebilmektedir. Örneğin bu bileşiğin, Balkan yarımadasının merkezindeki kırsal kesimlerde görülen "Balkan endemik nefropati"sine (öldürücü bir böbrek hastalığı) ve "üriner bölge tümörleri"ne neden olduğu bildirilmektedir (Battilani, Giorni & Pietri, 2003; Jackson & Al-Taher, 2008; Welke, 2019).

Üzümlerde OTA'nın üretilmesinden sorumlu olan ana küf türlerinin; *Aspergillus carbonarius*, *Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium verrucosum* ve *Penicillium nordicum* olduğu belirtilmektedir. *Aspergillus* türlerinin daha sık görüldüğü belirtilmektedir. Özellikle de, *Aspergillus carbonarius* ve *Aspergillus niger* en önemli baskın türlerdir (Frisvad & ark., 2007; Amezcua & ark., 2012). Ancak, muhtemelen *Aspergillus tubingensis*' de OTA üretmektedir (Visconti & ark., 2008). Mikotoksijenik küflerin, üzüm hasadı sırasında bulaşması, özellikle kullanılan alet ve kapların temizliğinin yetersiz olduğu durumlarda kritik öneme sahiptir. Benzer şekilde, üzümlerin taşınması ve muhafazası sırasında veya personelin özensiz davranması nedeniyle

de kontaminasyon meydana gelebilir. Çünkü bu meyvelerin kabuğu incedir ve kolayca yaralanabilir. Bu da mikotoksijenik küf türlerinin kolonizasyonuna ve gelişmesine izin verir (Leggieri & ark., 2014).

OTA, genellikle *in vitro* olarak *Aspergillus carbonarius* tarafından, *Aspergillus niger*' den daha yüksek miktarlarda üretilir. Ancak *Aspergillus niger*' in bazı suşları *Aspergillus carbonarius*' tan daha yüksek üreticiler olabilir (Perrone & ark., 2006). *Aspergillus tubingensis* ortalama olarak daha düşük OTA üreticisidir. Yine bunun da bazı suşları *Aspergillus carbonarius*' tan daha yüksek OTA üretebilir. Dolayısıyla, koşulların değişmesi, bu türlerin suşlarının göreceli OTA üretimini etkileyebilir (Paterson & ark., 2018).

Hasat öncesi ve hasat sonrası koşullar, üzüm ve üzümde elde edilen ürünlerde OTA'nın varlığını büyük ölçüde etkilemektedir. Şöyle ki; hasat öncesi koşullardan hava şartları, bağın yeri, üzüm çeşidi ve bağ işletmeciliğinin işlev şekli, üzüm ve üzümde yapılan ürünlerin OTA miktarında etkili olduğu bilinmektedir. OTA, olgunlaşmanın başında dahi üretilebilir. OTA miktarının, üzümün olgunlaşma sürecinde giderek arttığı bildirilmektedir. Bağda uzun süre kalan üzümlerde, okratoksijenik aspergilli kontaminasyonu yayılarak, hasat zamanında üzümlerin hemen hemen tamamının enfekte olmasına neden olabilir (Barkai-Golan & Paster 2008; Jackson & Al-Taher, 2008).

Ülkemizde, OTA'nın yaş üzümlerdeki varlığı üzerine yapılan bir çalışmada (Eltem & ark., 2003), Ege bölgesinden elde edilen 52 adet yaş üzüm örneğinin 37'sinde (%71,2) OTA saptanamazken, 15 örnekte (%28,8) 0,24-1,5 ppb arasında değişen seviyelerde OTA tespit edilmiştir. Ayrıca araştırmada, Ege Bölgesi'nin taze

çekirdeksiz üzümünde hasat sonrası bozulmanın başlıca sorumlusu olduğu belirtilen siyah sporlu küflerin, hem hasat öncesi, hem de hasat sonrasında tüm aşamalarında oldukça etkin olduğu kaydedilmiştir.

Yapılan bir diğer çalışmada (Yalçındağ, 2006), Çukurova bölgesinde yetiştirilen ve satışa sunulan yaş üzümlerden alınan 22 örnekte küf izolasyonları yapılmış ve OTA'nın varlığı araştırılmıştır. İncelenen örneklerde *Aspergillus niger*, *Penicillium citrinum* ve *Moniliella acetoabutens* türleri izole edilmiş ve OTA 0,2-0,7 ppb düzeyinde bulunmuştur.

Dünyada, özellikle üzüm ve şarap üretiminin yoğun yapıldığı ülkelerde okratoksijenik küflerin varlığı ve OTA gelişimiyle ilgili olarak çok sayıda araştırma yapılmıştır. Yapılan bazı araştırmalarda (Leong & ark., 2006; Leong, Hocking & Scott, 2007), üzümlerdeki okratoksijenik *Aspergillus carbonarius* ve *Aspergillus niger* suşlarının sıklığı, Akdeniz ülkeleri ve Avustralya'da benzer olduğu bildirilmiştir. Tazmanya gibi serin ülkelerde ise siyah *Aspergillus* türlerinde belirgin bir azalmanın olduğu görülmüştür (Hocking & ark., 2007). Buna karşın, *Aspergillus niger*' in Güney Amerika'daki üzümlerde bulunan ana okratoksijenik tür olduğu rapor edilmiştir (Da Rocha Rosa & ark., 2002; Magnoli & ark., 2003). *Aspergillus niger* suşları aynı zamanda Arjantin üzümlerinde en sık görülen tür olduğu ve izolatların %27'sinin saptanabilir OTA ürettiği belirlenmiştir (Perrone & ark., 2007). Uruguay'da yapılan bir çalışmada (Garmendia & Vero, 2016) ise, *Aspergillus uvarium* ve *Aspergillus welwitschiae* türlerinin yaygın olduğu saptanmış, ancak *Aspergillus carbonarius* tespit edilememiştir. Barberis & ark., (2014) tarafından yapılan çalışmada da, Arjantin üzüm bağlarında

ağırlıklı olarak *Aspergillus tubingensis* izole edilirken, *Aspergillus carbonarius* daha az derecede izole edilmiştir. Ancak, *Aspergillus carbonarius*' un tamamı diğer izolatlarda tespit edilemeyen OTA' yı üretmiştir.

Fransa'da yapılan bir çalışmada (Sage & ark., 2002), üzüm ve sırada OTA üreten türler ve OTA araştırılmış ve 11 üzüm çeşidinden 59 ipliksi küf ve 2 maya türü izole edilmiştir. Bu 11 örnekten 6'sının *Aspergillus carbonarius* gibi okratoksijenik türlerle potansiyel olarak kontamine olduğu belirlenmiştir. İn vitro deneyler, *Aspergillus carbonarius*' un OTA ürettiğini göstermiş ve bu 11 üzüm çeşidinin 8'inde OTA tespit edilmiştir. Böylece şaraptaki OTA kontaminasyonunun, şarabın yapıldığı üzümlerin OTA üreten türlerle kontaminasyonu ile ilişkili olduğu ortaya konmuştur.

Fransa'da yapılan diğer bir çalışmada (Sage, Garon & Murandı, 2004), üzüm bağlarında okratoksin A riskini değerlendirmek için 5 şarap üretim bölgesinden, hasat zamanı ve sezon sonunda alınan 60 üzüm örneğinin fungal mikroflorası araştırılmıştır. Çalışmada, tanımlanan 90 küf türünün hemen hemen yarısı mikotoksin üreticisi olarak belirlenmiştir. Ancak, sadece 2'sinin (*Aspergillus carbonarius* ve *Aspergillus niger*) potansiyel olarak okratoksinojenik olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, Fransız güney bölgesi şıralarındaki OTA'nın varlığıyla (0,01-0,43 µg/L) uyumlu olduğu ve *Aspergillus carbonarius*' un OTA kontaminasyonundaki önemli etkisini doğrular niteliktedir.

Farklı Avrupa ülkelerindeki 107 üzüm bağından elde edilen üzüm örnekleri üzerinde yapılan bir araştırmada (Perrone & ark., 2007), dört ana aspergilli popülasyonu tanımlanmıştır. Bunlar

arasında; *Aspergillus aculeatus*, *Aspergillus japonicus*, *Aspergillus uvarum*, *Aspergillus ellipticus*, *Aspergillus heteromorphus*, *Aspergillus carbonarius*, *Aspergillus ibericus*, *Aspergillus brasiliensis*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus foetidus* ve *Aspergillus tubingensis* yer almaktadır. Bunların küçük bir bölümü OTA üreticisidir. Yine Akdeniz, Güney Amerika ve Avustralya'daki şaraplık üzümlerde ve üzüm bağlarında predominant olarak görülen siyah aspergilli oluşumu üzerine yapılan çalışmada (Garmendia & Vero, 2016), *Aspergillus niger*, *Aspergillus carbonarius* ile *Aspergillus aculeatus* ve *Aspergillus japonicus*' un en yaygın türler olduğu ortaya konmuştur. Bir diğer araştırmada (Freire & ark., 2017) ise, Brezilya üzümlerinden OTA üreten *Aspergillus carbonarius* izole edilmiştir.

İtalya'da Cozzi & ark. (2006), tarafından şaraplık üzümlerde OTA kontaminasyonu üzerine *Lobesia botrana*'nın etkisi araştırılmış ve incelenen örneklerde 0,02 ng/g'dan 681 ng/g'a kadar değişen miktarlarda OTA saptamışlardır. Araştırmacılar, *L.botrana*'nın zarar verdiği üzümlerde daha fazla OTA'nın geliştiğine dikkat çekmişlerdir.

Portekiz'de yapılan bir araştırmada (Serra & ark., 2003), 2002 yılı hasadı sırasında elde edilen 11 şaraplık üzüm örneğinin, üçünde 0,035 ila 0,061 g kg⁻¹ arasında değişen seviyelerde OTA tespit edilmiştir.

Konu ile ilgili olarak yapılan diğer bazı araştırmalarda (Ratola & ark., 2005; Freire & ark., 2018) ise, üzümler henüz asmadayken olgunlaşma döneminde, OTA kontaminasyonunun ve küf enfeksiyonlarının daha aktif olduğu tespit edilmiştir.

Okratoksin A toksininin insan sağlığı açısından olumsuz etkilerinden korunmak amacıyla bazı yasal düzenlemeler ve kabul edilebilir tespit limitleri, ilgili birimlerce belirlenmiştir. Dünya Sağlık rgt, Gıda Katkıları Ortak Uzmanlar Komitesi” (JECFA), OTA için geçici olarak tolere edilebilir bir haftalık alımı 112 ng/kg/vücut ağırlığı olarak belirlemiştir (EC, 2007). “Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği” (RG, 2023) ile En az %20 kurutulmuş üzüm meyveleri (kuş üzümü ve kuru üzüm) ve/veya kuru incir içeren ürünler okratoksain A miktarı en çok 4 ug/kg sınırlandırılmıştır.

3.1.3. Fumonisinler

Fumonisinler, daha ziyade mısır ve mısır ürünlerinde bulunan ve genel olarak *Fusarium* spp. tarafından üretilen mikotoksinlerdir. Bu mikotoksin, ilk olarak 1988 yılında Güney Afrika'nın Transkei Bölgesi'nde tüketilen mısırlardan izole edilen ve eski adı *Fusarium moniliforme* Sheldon MRC 826 olan *Fusarium verticilloides* izolatlarından elde edilmiştir (Gelderblom & ark., 1988). Konu ile ilgili olarak son yıllarda yapılan çalışmalarda (Logrieco & ark., 2009; Logrieco & ark., 2010; Mogensen & ark., 2010; Smith, 2012), zm, kuru üzüm ve şarapta da fumonisinlerin varlığı ortaya konmuştur

Fumonisin mikotoksinlerinin, bir zamanlar yalnızca *Fusarium* kf türleri ile ilişkili olduğu biliniyordu. Ancak, *Aspergillus niger*'in aynı zamanda *fum8 geni* yoluyla “fumonisin B2 (FB2)” ürettiği rapor edilmiştir. *Aspergillus niger*, daha sıcak iklimlerde gelişen ve kolaylıkla FB2 mikotoksin üreten bir kf türüdür. Fumonisin B2 üretimini kolaylaştıran çevresel koşullar aynı zamanda *muscadine* zmlerinin gelişmesi ve olgunlaşması için gerekli olan koşullarla

aynıdır. ABD'de, şarap ve üzüm bazlı içeceklerde mikotoksin kontaminasyonunun oluşumu üzerine çok az çalışma yapılmıştır. Hükümet yönergeleri alkollü olsun veya olmasın içecekleri *fumonisin* kontaminasyonu açısından ele almamaktadır. Yayınlanan ilgili kılavuzlar yalnızca mısır ve mısır ürünleri için geçerlidir (Lewis, 2016).

Fumonisinler; A, B, C ve P olmak üzere 4 gruba ayrılır. A grubu fumonisinler; *Fusarium verticilloides* kültürlerinden ve mısır tanelerinden, C grubu fumonisinler küflü mısırlardan, P grubu fumonisinler ise mısırdaki gelişen *Fusarium proliferatum* kültürlerinden izole edilmişlerdir. Gıdalarda B grubu fumonisinlerden genellikle B1 (FB1), B2 (FB2) ve B3 (FB3)' e rastlanmaktadır (Sugita-Konishi & ark., 2012; Waskiewicz, Beszterda & Golinski, 2012).

Potansiyel olarak kanserojen olduğu da bilinen fumonisin grubu, dünya çapında üzüm ve üzüm ürünlerinde tanımlandıktan sonra büyük ilgi görmüştür (Varga & ark., 2010; Perrone & ark., 2013; Qi & ark., 2016; Ostry & ark., 2017). Fumonisin B2 (FB2), üzüm ve şarap üretimi açısından en önemli fumonisindir ve ilk olarak İtalya'daki şıra örneklerinde (Logrieco & ark., 2009) ve daha sonra şarapta (Logrieco & ark., 2010; Mogensen, Larsen & Nielsen, 2010) tespit edilmiştir.

Üzümlerde *Aspergillus* türleri tarafından üretilen FB2 miktarı küçük değerlerde ($0,01-0,4 \mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$) (Logrieco & ark., 2009) bulunsa da, eko-fizyolojik koşullar dahil olmak üzere birçok faktör büyük ölçüde etki edebilir ve risk oluşturabilir (Mogensen & ark., 2009; Perera & ark., 2021). Siyah aspergilli'nin genellikle hasada

yakın üzümelerde meydana geldiği göz önüne alındığında, enfekte üzümlerden yapılan şarabın, enfekte meyveler şarap yapımından önce çıkarılmadığı sürece kontaminasyona uğrama potansiyeli yüksektir. Ticari koşullar altında, özellikle üzümlerin elle hasat yerine, makineyle hasat edildiği ülkelerde, enfekte üzümlerin fiziksel olarak uzaklaştırılması her zaman mümkün olmayabilir (Hocking & ark., 2007; Somma, Perrone & Logrieco, 2012; Steel, Blackman & Schmidtke, 2013).

FB2 kontaminasyonu ilk kez, İtalya’da depolanan üzümlerden alınan örneklerde saptanmıştır. Yapılan çalışmada (Logrieco & ark., 2009), üzümde izole edilen 8 *Aspergillus niger* izolatının 4 tanesinin 29-293 µg/g FB2 ürettiği bildirilmiştir. Bir diğer çalışmada (Mogensen & ark., 2010), kuru üzümde izole edilen *Aspergillus niger* suşlarının %77’sinin FB2 ürettiği tespit edilmiştir. Adı geçen çalışmada, fumonisin üretebilme kapasitesine sahip 10 adet *Aspergillus niger* suşlarının üzüme inokülasyonu neticesinde, üzümde 171-7841 µg/kg FB2 ve 14-1157 µg/kg FB4 oluşumu gözlemlenmiştir.

3.1.4. Patulin

Patulin,1940'larda bir antibiyotik olarak keşfedilmiştir. Bakteri ve küfler üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiş olsa da, doymamış lakton yapısı nedeniyle bitki ve hayvanlar için toksik ve kanserojen bir madde olduğu tespit edilmiştir (Dickens ve Jones, 1961; Enomoto ve Saito, 1972). Mutajenik, teratojenik, hepatoksik, nefrotoksik ve genotoksik etkiler de dahil olmak üzere şiddetli toksikoz, insanların enfekte ürünlerin tüketimi yoluyla patuline maruz kalmasına neden olabilir. İnsanlardaki akut etkiler mide bulantısı, böbrek hasarı ve gastrointestinal travmayı içerir. Patulinin

yüksek dozlarda immünosupresif bir role sahip olduğu belirtilmektedir (Barkai-Golan, 2008). Patulin gibi mikotoksinlerin insan ve hayvan sağlığına olumsuz etkilerinden dolayı birçok ülkede mikotoksin oluşumuna duyarlı gıda maddelerine kısıtlamalar getirilmiştir.

Patulin, elma ve elma ürünlerinin yanı sıra, diğer hasat edilmiş şeftali, kayısı, kiraz, kuş üzümü ve zeytinlerde de sıklıkla bulunur. İsveç'te, çocuklarda 1995 yılında görülen ishal salgınına, yüksek patulin içeren böğürtlenlerin neden olduğu belirlenmiştir. Patulinin kuru incirde de bulunduğu bildirilmiştir. Küflü taneler içeren üzümlerde ve enfekte üzümlerin depolanması sürecinde patulin oluşumu gözlemlenebilir (Barkai-Golan, 2008). Meyvede patulin oluşumu; a_w , pH ve meyvenin diğer özellikleri gibi faktörlere bağlıdır (Morales ve ark., 2006). Patulin, pastörizasyon sıcaklıklarında (örneğin 90°C de 10 saniye) oldukça stabil kaldığından, pastörizasyondan önce yüksek miktarda patulin içeren meyve sularında patulin seviyesi düşürülemez (Moss, 2008).

Fas'ta yaygın olarak tüketilen üzüm, şaraplık üzümler ve şarap yapımı ürünlerinde “sitrinin”, “patulin” ve “aflatoksin” üreten küflerin kontaminasyon derecesini değerlendirmek amacıyla çok az sayıda çalışmanın mevcut olduğu bildirilmektedir. Fas'ın Meknes bölgesindeki üzüm çeşitleri üzerinde yapılan bir çalışmada (Benaziz & ark., 2021), iki bağdan toplanan sekiz üzüm çeşidinden alınan 49 örnekten toplam 119 küf izolatu elde edilmiştir. Elde edilen *Penicillium* ve *Aspergillus* suşları, başta “patulin”, “sitrinin” ve “aflatoksin” olmak üzere mikotoksin üretme potansiyelleri açısından incelenmiştir. Dağılım sonuçları, tüm üzüm çeşidi örneklerinde *Penicillium* ve *Aspergillus* cinslerinin mevcut olduğunu, en fazla

enfekte üzüm çeşitlerinin ise “Chardonnay” ve “Cabernet sauvignon” olduğunu göstermiştir. Bu çeşitlerde değerler sırasıyla %22,6 ve %15,1 olarak bulunmuştur. Analiz sonuçları, 16 *Penicillium* izolatından 5'inin ve 38 *Penicillium* izolatından 8'inin sırasıyla ben düşme ve olgunluk aşamasında *patulin* ürettiğini göstermiştir. Yüksek patulin miktarı (41 ug ml⁻¹), ben düşme aşamasında izole edilen *Penicillium expansium* tarafından üretilmiştir. Çalışmada test edilen 119 izolattan elde edilen ekstraktta “sitrinin” tespit edilememiştir.

3.1.5. *Alternaria* mikotoksinleri

Birçok *Alternaria* türünün toksik ikincil metabolitler olan *Alternaria* mikotoksinlerini ürettiği bilinmektedir (Rotem, 1994; Prendes & ark., 2015). İnsan sağlığı için risk oluşturduğu düşünülen başlıca *Alternaria* bileşikleri; “alternariol” (AOH), “alternariol monometil eter” (AME), “tenuazonik asit” (TeA), “tentoksin” (TEN) ve “altenuen” (ALT) dir (EFSA, 2011). Ancak gıdayla ilgili *Alternaria* türleri çok daha fazla metabolit üretebilmektedir (Ostry, 2008; Logrieco, Moretti & Solfrizzo, 2009).

Slovakya' da yapılan bir çalışmada (Tančinová & ark., 2016), 2011-2013 yıllarında beyaz ve kırmızı üzüm çeşitlerinden elde edilen 47 örnekten *Alternaria alternata*, *Alternaria infectoria*, *Alternaria tenuissima* ve *Alternaria arborescens* suşları tanımlanmıştır. Bu suşların; “altenuen”, “alternariol” ve “alternariol monometileter” mikotoksinlerini ürettikleri tespit edilmiştir. İleri araştırmalarda bu mikotoksinlerin üzüm, şıra, şarap ve diğer üzüm ürünlerindeki varlığının takip edilmesi gerektiği önerilmiştir.

3.1.6. *Botrytis* mikotoksinleri

Botrytis cinerea iki grup toksin üretir: Seskiterpen botryanlar (Collado & ark., 2007) ve poliketidler botcininler (Botcs) (Tani & ark., 2005). Çok sayıda botryane analogu vardır. Bunlardan “botrydial (BOT)” en büyük miktarlarda üretilen analogdur (Colmenares & ark., 2002; Pinedo & ark., 2008).

3.2. Kuru Üzümlerde Mikotoksinler

Çeşitli gıdaların kurutulması, ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski muhafaza yöntemlerinden biridir. Kurutulmuş gıdalar genellikle %25'ten fazla nem içermeyen ve su aktivitesi (a_w) 0,00 ile 0,60 arasında olan gıdalardır. Bunlar arasında geleneksel olarak kurutulmuş gıdalar önemli bir yer tutar. Tarım ürünlerinin kurutulmasıyla mikroorganizmaların çoğalması engellenir ve enzimler inaktive edilir. Böylece, gıdaların bozulmasında etkili olan mikroorganizmaların ve enzimlerin faaliyeti engellenerek, besin değerinde az bir kayıpla ürünlerin bozulmadan uzun süre dayanmaları sağlanır. Ürünlerin güneşe ve rüzgara maruz bırakılması, kullanılan en yaygın kurutma yöntemidir. Ancak, kurutulmuş ürünlerde oluşan mikotoksinler, sağlık ve ekonomik açıdan önemli bir problem olarak görülmektedir. Kurutulmuş üzümler, küflerin bulaşmasına ve mikotoksin oluşumuna en uygun ürünlerin başında gelmektedir (Jay, Loessner & Golden, 2005).

Üzümlerin kurutulma işlemi üzümün türüne bağlı olarak farklı şekillerde yapılmaktadır. Doğal kurutma yöntemi; genellikle siyah, çekirdekli üzüm çeşitlerinde kullanılır. Bu yöntemde hasadı yapılan üzümler, bağda önceden hazırlanmış, bol güneş gören toprak üzerine serilir veya salkımlar iplere dizilerek çardaklarda ya da sundurma

altlarında gölgede kurutulur. Bir diğerkurutma işleminde; özel olarak hazırlanmış ve halk arasında *potas, potas tozu, kuru üzüm tozu, üzüm kurutma tozu* olarak bilinen çözelti kullanılır. Bu çözelti, gerek çekirdeksiz gerekse çekirdekli üzümlere uygulanabilir. İşlem için, toplanan üzümler, içerisinde 100 litre suya, 5 kg potasyum karbonat (K_2CO_3) ve 1-1,5 litre zeytinyağı ilave edilerek kazanlarda hazırlanmış olan çözelti (potas) içerisine, plastik sepetlerdeki üzümler 5-10 kez bandırılır. Sonra sergi alanına taşınarak güneşte kurutulur. Potasa bandırma işlemiyle, tane üzerindeki mumsu pus tabakası giderilerek, salkımların berrak bir hal almasıyla birlikte, kurumunun iki üç kat daha hızlı olması sağlanır. Türkiye’de ve dünyanın farklı bölgelerinde, genellikle salkımlar potas eriğiğine batırılarak bandırma işlemi yapılmaktadır. Ancak, Ülkemizde Besni üzümü hasattan sonra tanelendikten sonra potas eriğiğine bandırılır. Taneleme işlemiyle; rengi bozuk, çürük, hastalıklı, normalden küçük olan taneler ayıklanır. Bu işlemler, kuru üzümün daha uzun süre muhafaza edilmesini sağlar. Potas eriğiğine bandırılmış olan üzüm taneleri 5-7 gün süreyle toprak, kağıt, beton, polipropilen kanaviçeler üzerinde veya tel sergi yerlerinde kurutulur. Kuruyan üzümler torbalanır, havadar ve nemsiz bir ortamda depo edilerek tüketime hazırlanır (Seçer & İç, 2003; Altındişli & İşçi, 2005; Akdeniz, 2011; Türkpate, 2018; Arıcı, 2019).

Ülkemizde farklı bölgelerde hazırlanan kuru üzümler üzerine yapılan çok sayıda çalışma mevcuttur. Konu ile ilgili olarak, yapılan bir araştırmada (Altındişli, 2003), farklı özelliklere sahip seçilmiş bağlardan 3 farklı dönemde (ben düşme, hasat ve kuru üzüm) alınan üzüm ve toprak örneklerinde küflerin izolasyonları, tanımlanmaları ve OTA üretim, üretmedikleri incelenmiştir. Çalışmada, örneklerde

OTA miktarları kantitatif olarak tespit edilmiş ve sonuçta OTA'nın çok sayıdaki küf türü tarafından oluşturulabildiği gösterilmiştir.

OTA'nın varlığına yönelik bir araştırmada (Meyvacı & ark, 2005) ise, 1998-2000 yılları arasında paketlenen tesislerinden toplanan 264 işlenmemiş kuru üzüm örneği incelenmiştir. Sonuçta, analiz edilen kuru üzüm örneklerinin %32,2'sinin tespit edilebilir OTA içermediğini, numunelerin %9,8'inde OTA konsantrasyonlarının $10 \mu\text{g kg}^{-1}$ 'in üzerinde olduğunu ve kalan %58'inin ise $0,026 - 10 \mu\text{g kg}^{-1}$ arasında OTA içerdiği saptanmıştır. Araştırmada, yıllar arasında OTA konsantrasyonlarında büyük farklılıkların olduğu, analiz edilen örnekler arasında tespit edilen en yüksek OTA değerinin $54 \mu\text{g kg}^{-1}$ olduğu bildirilmiştir.

Bir diğer araştırmada (Yalçındağ,2006), Çukurova bölgesinde satışa sunulan Sultani kuru üzümlerden küf izolasyonları yapılmış ve OTA'nın varlığı araştırılmıştır. Analizi yapılan 22 kuru üzüm örneğinde, OTA 5,2-18,2 ppb miktarında tespit edilmiştir. Araştırmada, kuru üzüm örneklerinden elde edilen değerlerin büyük bir kısmının, Türk Gıda Kodeksi'nde belirtilen maksimum OTA limitini ($10 \mu\text{g/kg}$) aştığı görülmüştür.

Çağlarırnak (2006), incelediği kuru üzüm ve kuru üzümdeki ortalama OTA değerlerini sırasıyla $4,64$ ve $2,98 \mu\text{g/kg}$ olarak tespit etmiştir. Araştırmacı incelenen örneklerin, Avrupa Topluluğu tarafından $10 \mu\text{g/kg}$ olarak önerilen OTA güvenlik sınırı kapsamında değerlendirilebileceğini belirtmiştir.

Aksoy & ark., (2007) tarafından, 5 hasad yılında (1999-2003 yılları arasında) elde edilen 1885 kuru üzüm örneğinde OTA'nın varlığı araştırılmıştır. Kullanılan analitik yöntemde, (yüksek

performanslı sıvı kromatografisi) OTA için tespit edilebilir limit 0,3 $\mu\text{g kg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, örneklerin sadece %9,1' inin tespit edilebilir düzeyde OTA içermediğini; %0,6'sının 10 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 1 aşan miktarlarda; kalan %90,3'ünün ise 0,3-10 $\mu\text{g kg}^{-1}$ aralığında OTA içerdiğini göstermiştir. Analiz edilen toplam 1885 örnekteki genel ortalama OTA konsantrasyonu $1,36 \pm 2,91 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

Yine, Adana'da satılan çekirdeksiz kuru üzümde OTA varlığı yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) yöntemiyle araştırılmıştır. Çalışmada analiz edilen 40 kuru üzüm örneğinin 26' sında 0,38-20,90 $\mu\text{g/kg}$ düzeyinde OTA saptanırken, bu örneklerin 3'ünde OTA miktarının sırasıyla 11,34; 19,39 ve 20,9 $\mu\text{g/kg}$ olduğu ve bu miktarların Türk Gıda Kodeksi'nde belirtilen maksimum limit olan 10 $\mu\text{g/kg}$ değerini aştığı belirlenmiştir (Çelik, 2008).

Ünal (2009) ise, İstanbul'da elde ettiği 50 kuru üzüm ve 10 üzüm suyu örneğinin 6'sında 0,19-2,59 ppb aralığında OTA tespit etmiştir.

Ege Bölgesi'nde satılan kuru üzümde elde edilen 80 örnekte OTA varlığı araştırılmıştır. Yapılan analizde, 26 örnekte (%32,5) 2,54-32,91 $\mu\text{g/kg}$ aralığında OTA saptanmıştır. Çalışmada, 8 örnekte (%10) saptanan OTA değerlerinin (11,27-32,91 $\mu\text{g/kg}$) Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'nde bildirilen değerlere uymadığı tespit edilmiştir (Türköz Bakırcı, Çakmak & Özdemir, 2016).

Konu ile ilgili olarak yapılan bir çalışmada (Arıcı, 2019), Adıyaman ilinde kurutulmuş Besni üzümünde aflatoksin ve OTA'nın varlığı incelenmiştir. Çalışmada incelenen 25 örnekte

aflatoksin saptanamamıştır. Yalnızca iki örnekte OTA 0,146 ve 0,151 µg/kg olarak tespit edilmiş olup, bu değerin OTA için bildirilen yasal limitin (10,0 µg/kg) altında kaldığı belirlenmiştir.

Kurutulmuş üzümelerde mikotoksinlerin varlığı yabancı ülkelerde de araştırılmıştır. Yapılan incelemelerde, kurutulmuş üzümlerin, şaraplık üzümlere göre daha fazla OTA oluşumu riski altında olduğu belirtilmektedir. Çünkü kurutma işlemi sırasında *Aspergillus carbonarius*' un oranı, *Aspergillus niger*'e göre artmaktadır. *Aspergillus niger* hasattan önce dominant türdür ve bu tür nadiren OTA üretir. Bununla birlikte, kurutma işlemi *Aspergillus carbonarius*' un gelişimini destekler ve bu türün hemen hemen bütün suşları genellikle 0,92 a_w değerinde OTA oluşturabilir. Kurutma sırasında havadaki nem miktarında kısa süreli bir yükselme bile, ürünlerdeki OTA üretimini artırabilmektedir (Ostry, Ruprich & Skarkova, 2002; Battilani & Pietri, 2004; Hocking & ark., 2007).

Kanada'da 1998-2000 yılları arasında, perakende satış noktalarından elde edilen 85 kuru üzüm örneğinin 67'sinde (%79) OTA, ölçülebilir minimum seviyenin (0,1 ng g⁻¹) üzerinde tespit edilmiştir. Araştırmada, OTA ortalama olarak 1,8 ngg⁻¹ olarak bulunmuştur (Lombaert & ark., 2004).

Battilani & Pietri, (2004), 1999-2000 yıllarında İtalya'da ülkenin kuzey ve güney bölgelerinde yetişen üzümlerden *Aspergillus* ve *Penicillium* türlerini izole etmişlerdir. Araştırmacılar, üzümlerde OTA oluşumunda sıcaklık, nem ve yağışın etkili olduğunu belirtmişlerdir. Üzüm ve ürünleri arasında en fazla OTA miktarının kuru üzümde tespit edildiğini (40 µg/kg'dan fazla) bildirmişlerdir.

Magnoli & ark. (2004), Arjantin'deki pazarlardan toplanan 50 kuru üzüm örneğinde (31 siyah, 19 beyaz üzüm) OTA'nın varlığını araştırmışlardır. Sonuç olarak, incelenen kuru üzüm örneklerinin 37'sinde (%74) OTA tespit edilmiştir. Yine, 31 siyah üzümün 21'inde ve 19 beyaz üzümün 16'sında OTA saptanmıştır. OTA, siyah kuru üzüm örneklerinde ortalama 6,3 µg/kg, beyaz kuru üzümde ortalama 4,42 µg/kg düzeyinde belirlenmiştir.

Benzer olarak, Valero & ark., (2005) tarafından yapılan bir çalışmada, olgunlaşmanın farklı zamanlarında güneşte kurutulmuş kuru üzümde küflerin varlığı incelenmiş ve elde edilen 5 izolat (*Alternaria alternata*, *Cladosporium herbarum*, *Penicillium decumbens*, *Aspergillus carbonarius* ile *Aspergillus niger* ve alt türü *A.nigri*) farklı a_w ve sıcaklıklarda gelişmeleri test edilmiştir. Sonuçta, özellikle *Aspergillus niger*' nin oluşma sıklığı ile olgunlaşma arasında pozitif bir ilişkinin varlığı tespit edilmiş, geniş bir sıcaklık ve a_w aralığında türün genellikle baskın davranış gösterdiği görülmüştür.

Arjantin'de 2001-2002 hasad yılında üreticilerden ve perakende satış yerlerinden temin edilen kurutulmuş 11 üzüm (2200 tane) örneğinde mikotoksijenik küfler ve toksin üretme yetenekleri araştırılmıştır. Sonuçta, en baskın küf cinslerinin *Aspergillus* (%50,2), *Eurotium* (%21,4) ve *Penicillium* (%13,5) olduğu belirlenmiştir. *Aspergillus niger*' in ise en yaygın tür olduğu, ancak incelenen 293 izolatın sadece 3'ünün OTA ürettiği, *Aspergillus carbonarius*' un ise daha az yaygın olduğu, buna karşın taranan 48 suşun %96'sının okratoksijenik olduğu ortaya konmuştur (Romero & ark., 2005).

Iamanaka & ark., (2005), Brezilya'da yaptıkları çalışmada 43 kuru üzüm örneği (24 siyah üzün, 19 beyaz üzün) hem toksijenik küfler hem de okratoksin A varlığı açısından analiz edilmiştir. İncelenen örneklerde *Aspergillus niger*' in predominant olduğu görülmüştür. Siyah kuru üzüm örneklerinin %33'ünün 5 µg/kg-1'den fazla okratoksin A içerdiği saptanmıştır. Ancak beyaz kuru üzüm örneklerinin hiçbirinde bu limiti aşan değer tespit edilememiştir.

Konu ile ilgili olarak, Arjantin'de yapılan bir çalışmada (Chulze, Magnoli & Dalcerro, 2006), kurutulmuş üzüm örneklerinden elde edilen *Aspergillus carbonarius* izolatlarının yaklaşık %83' ünün, 2 ile 5200 ng mL⁻¹ arasında değişen düzeylerde OTA ürettiği saptanmıştır.

Macaristan' da kuru üzümler üzerine yapılan bir çalışmada (Varga & ark., 2010), izole edilen 30 adet *Aspergillus niger/Aspergillus awamori* suşlarından 20 tanesinin fumonisin oluşturduğu, kontaminasyon miktarının ise 0,017-19,6 mg/kg arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Yine, 7 kuru üzüm örneğinde siyah *Aspergilli* tarafından üretilen 4,55-35,49 mg/kg miktarında fumonisin tespit edilmiştir.

4. Sonuç

Mikotoksinlerin genel olarak gıda ürünlerinde bulunması, tüketiciler için ciddi sağlık sorunlarına yol açmaktadır ve bu nedenle düzeylerinin sürekli olarak izlenmesi ve kontamine ürünlerin insan ve hayvan gıda zincirlerinden çıkarılması hayati önem taşımaktadır. Bu derlemede; beslenmede vaz geçilmez bir yeri olan üzüm ve kuru üzümlerdeki mikotoksijenik küf türleri ile bunların ürettikleri

toksinler ve miktarları üzerine yapılan çalışmalar gözden geçirilmiştir.

Bağlarda küflerden ileri gelen hastalıklar, üzümlerin kalitesini düşürür. Üzümlerde filamentli küflerin gelişimi ile üzüm ve özellikle kuru üzümlerde *aflatoksin*, *okratoksin A (OTA)*, *fumonisin B₂*, *patulin* vs. gibi mikotoksinler oluşabilir. OTA, üzüm ve ürünlerinde yaygın olarak incelenen en önemli mikotoksindir. Bu mikotoksin, halk sağlığı ve endüstri için bir endişe kaynağıdır. Konu ile ilgili olarak, iklim değişikliğinin asma üzerindeki etkilerini ve toksijenik küflerin dayanıklılığını dikkate alan çalışmalar oldukça yetersizdir. İlave olarak, farklı bölgelerdeki üzüm çeşitleri ve ürünlerinde okratoksin A ve diğer mikotoksinlerin birlikte ortaya çıkışının, insanların bu bileşiklere maruz kalma riskinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, üzümlerde OTA analiz sonuçları, risk değerlendirme çalışmalarında önem arz etmektedir. OTA kontaminasyonu riskin tahmin edilmesini ve gerekli tedbirlerin planlanmasını ve uygulanmasını mümkün kılmaktadır.

Isıl işlemlerine karşı direnç gösterebilen ısıya dayanıklı olan *Byssoschlamys* cinsine ait küfler, diğer küfler arasında gıda sektörü için ayrı bir öneme sahiptir. Bu bakımdan ısıya dayanıklı küflerin verdiği zararlar göz önüne alındığında, ürettikleri metabolitler ve mikotoksinlerle halk sağlığına verebilecekleri zarar, gıda bozulması nedeniyle sebep oldukları ekonomik kayıptan çok daha önemlidir.

Aspergillus flavus türü, doğal üzüm mikobiyotasının alışılmamış bir üyesi olarak kabul edilmesine karşın, yapılan bazı çalışmalarda, bu türün üzüm bağlarında tespit edildiği, dolayısıyla

üzüm bağlarının *Aspergillus flavus* tarafından kirlenmesinde artan bir eğilimin olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak; konu ile ilgili çalışmalardan elde edilen bilgiler ışığında; üzüm ve özellikle kurutulmuş üzümlerin, farklı küf toksinlerinin önemli bir kaynağı olduğu söylenebilir. Dolayısıyla, gıdalarda tüketici maruziyeti ve mikotoksin oluşumunun değerlendirmeye yönelik çalışmaların az sayıda olduğu dikkate alındığında, halk sağlığı ve ekonomi için endişe verici bir durum ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, üzüm ve üzümden elde edilen ürünler dahil olmak üzere, daha geniş bir yelpazedeki gıda ürünlerinde çeşitli mikotoksin içeriği için referans değerleri oluşturmayı ve etkili kontrol araçları sunmayı amaçlayan daha detaylı araştırmaların yapılmasının gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır.

Kaynaklar

Abarca, M.L., Accensi, F., Bragulat, M.R. & Cabanes, F.J. (2001). Current Importance of Ochratoxin A-Producing *Aspergillus* spp. *Journal of Food Protection*. 64(6), 903-906.

Abid, S., Hassen, W., Achour, A., Skhiri, H., Maarufi, K., Ellouz, F., & ark. (2003). Ochratoxin A and human chronic nephropathy in Tunisia: is the situation endemic? *Human Experimental Toxicoloji*, 22,77-84.

Akdeniz, B. (2011). Geleneksel usullerde sultani çekirdeksiz üzüm çeşidinin kurutulması. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 13-22.

Aksoy, U., Eltem, R., Meyvacı, K.B., Altındışli, A. & Karabat, S. (2007). Five-year survey of ochratoxin A in processed Sultanas from Turkey. *Food Additives and Contaminants*, 24(3):292-296.

Altındışli, A. (2003). Kuru üzüm üretiminde OTA'nın engellenmesine yönelik iyi tarım uygulamaları. (Eltem, R., Aksoy, U.&Meyvacı,K.B. (editörler). *Mikotoksinler Biyoteknolojisi; Sorunlar ve Çözümler Çalıştayı*. 17-20 Haziran, İzmir, ss.85-91.

Altındışli, A. & İşçi, B. (2005). Kuru üzüm elde edilmesinde kullanılan bandırma erişiğindeki yağ miktarının tespiti için yeni bir analiz yönteminin kullanılabilirliği. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(3), 13-19.

Alzohairy, S. & Miles, T. (2020). *Managing Botrytis Bunch Rot*. MSU Department of Plant, Soil and Microbial Sciences, Michigan State University, Michigan,U.S., 1- 4.

Amezqueta, S., Schorr-Galindo, S., Murillo-Arbizu, M., Gonzalez-Peñas, E., De Cerain, A.L. & Guiraud, J. (2012). OTA-producing fungi in foodstuffs: A review. *Food Control*, 26, 259–268.

Arıcı, A. (2019). Kuru Besni Üzümünde Aflatoksin ve Okratoksin A Varlığı. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş, 40 s.

Aubert C., Bony,P., Chalot,G., Landry,P. & Lurol, S. (2014). Effects of storage temperature, storage duration, and subsequent ripening on the physicochemical characteristics, volatile compounds, and phytochemicals of Western Red nectarine (*Prunus persica* L. Batsch). *J. Agric. Food Chem.*, 21,62(20),4707-4724.

Ayofemi Olalekan Adeyeye, S. (2020). Aflatoxigenic fungi and mycotoxins in food: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(5), 709-721.

Barata, A., Malfeito-Ferreira, M. & Loureiro, V. (2012). The microbial ecology of wine grape berries. *International Journal of Food Microbiology*, 153 (3), 243-259.

Barberis, M.G., Merlera, G., Reynoso, M.M., Chulze, S.N. & Torres, A.M. (2014). Factors affecting distribution and abundance of *Aspergillus* section *Nigri* in vineyard soils from grapevine growing regions of Argentina. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 3001–3007.

Barkai-Golan, R. (2008). *Penicillium* Mycotoxins, In: Barkai-Golan, R. & Paster, N. (eds.). *Mycotoxins in Fruits and Vegetables*. Academic Press, UK, ss.153-185.

Barkai-Golan, R. & Paster, N. (2008). Mouldy fruits and vegetables as a source of mycotoxins: Part 1. *World Mycotoxin Journal*, 1(2), 147-159.

Barreira, M.J., Alvito, P.C. & Almeida, C., M.M. (2010), Occurrence of patulin in apple-based-foods in Portugal, *Food Chemistry* 121,653–658.

Battilani, P., Giorni, P. & Pietri, A. (2003). Epidemiology of toxin-producing fungi and Ochratoxin A occurrence in grape. *European Journal of Plant Pathology*, 109,715-722.

Battilani, P. & Pietri, A. (2004). Risk assesment and management in practice: Ochratoxin in grapes and wine. In: *Mycotoxins in Food-Detection and Control*. Magan,N. & Olsen,M. (eds), pp.244-261.

Benaziz, M., Hajji, L., Jadouali, S., Nait' Mbark,H., Hajjaj, H., Ainane, A. & Ainane, T. (2021). Mycotoxigenic fungi of wine grape in meknes viniyards (Morocco). *Archives*, 2, 566-575.

Beuchat, L.R. & Rice, S.L. (1979). *Byssosclamyces* spp. and processed fruits. *Adv. Food Res.*, 25, 237-288.

Bills, G.F. & Gloer, J.B. (2016). Biologically active secondary metabolites from the fungi. *Microbiology Spectrum*, 4(6).

Brase, S., Encinas, A., Keck, J. & Nising, C.F. (2009), Chemistry and Biology of Mycotoxins and Related Fungal Metabolites. *Chemical Reviews*, 109 (9), 3903–3990.

Burçak, A. & Delen, N. (2000). Bağlardan izole edilen kurşuni küf (*Botrytis cinerea* Pers.) izolatlarının bazı fungusitlere

duyarlılıkları üzerinde araştırmalar. *Bitki Koruma Bülteni*, 40(3-4),153-168.

Calvo, A.M., & Cary, J.W. (2015). Association of fungal secondary metabolism and sclerotial biology. *Frontiers in Microbiology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00062>.

Chulze,SN., Magnoli, CE. & Dalcero,AM. (2006). Occurrence of ochratoxin A in wine and ochratoxigenic mycoflora in grapes and dried vine fruits in South America. *Int J Food Microbiol*, 111(1), 5-9.

Collado, I.G., Sanchez, A.J.M. & Hanson, J.R. (2007). Fungal terpene metabolites: biosynthetic relationships and the control of the phytopathogenic fungus *Botrytis cinerea*. *Nat. Prod. Rep.*, 24, 674–686.

Colmenares, A.J., Aleu, J., Duran-Patron, R., Collado, I.G. & Hernandez- Galan, R. (2002). The putative role of botrydial and related metabolites in the infection mechanism of *Botrytis cinerea*. *J. Chem. Ecol.*, 28, 997-1005.

Concon, J.M. (1988). Mold and mycotoxin contamination of food products. In: *Food Toxicology, Part B: Contaminants and Additives*. Marcel Dekker Inc, New York, pp.677-770.

Cozzi, G., Pascale, G., Perrone, G., Visconti, A. & Logrieco, A., (2006). Effect of *Lobesia botrana* damages on black aspergilli rot and ochratoxin A content in grapes. *International Journal of Food Microbiology*, 111,1, 82-92.

Çağlarırnak, N. (2006). Ochratoxin A, Hydroxymethylfurfural and Vitamin C Levels of Sun-Dried Grapes

and Sultanas. *Journal of Food Processing and Preservation*, 3,549-562.

Çelik, C. (2008). Adana'da Bazı Marketlerde Satışa Sunulan Çekirdeksiz Kuru Üzümlerde Okratoksin A Varlığının HPLC Yöntemi ile Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 55 s.

Çiftçioğlu, G. (2016). Fırsatçı patojen bakteriler, küfler ve mikotoksinler, virüsler, parazitler, balık ve çift kabuklu toksinleri - Bölüm 28. İçinde: Heperkan, D. (Çeviri ed.), *Temel Gıda Mikrobiyolojisi*. Ray, B. ve Bhunia A.(Eds.), *Fundamental Food Microbiology*. 5. Baskı, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., Ankara, ss.387-406.

Da Rocha Rosa, C.A., Palacios, V., Combina, M., Fraga, M.E., De Oliveira Rekson, A., Magnoli, C.E. & ark. (2002). Potential ochratoxin A producers from wine grapes in Argentina and Brazil. *Food Additives and Contaminants*, 19, 408–414.

Desphande, S.S. (2002). *Handbook of Food Toxicology*. Marcel Dekker, Inc. 270 Madison Avenue, New York, NY, USA, pp.387-457.

Dickens, F. & Jones, H.E.H. (1961). Carcinogenic activity of A series of reactive lactones and related subétances. *Brit. J. Cancer.*, 15, 85 - 100.

Didwania, N. & Joshi, M. (2013). Mycotoxins: A critical review on occurrence and significance. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5, 1014-1019.

Dorn, B., Forrer, H., Schürch, S. & Vogelgsang, S. (2009). *Fusarium* species complex on maize in Switzerland: occurrence, prevalence, impact and mycotoxins in commercial hybrids under natural infection, *Eur. J. Plant. Pathol.*, 125, 51-61.

Droby, S. & Lichter, A. (2004). Post-harvest *Botrytis* infection: etiology, development and management. In: Elad, Y., Williamson, B., Tudzynski, P. & Delen, N. (eds). *Botrytis: Biology, Pathology and Control*. Dordrecht Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 349-67.

Dutra-Silva, L., Pereira, G.E., Batista, L.R. & Matteoli, F.P. (2021). Fungal diversity and occurrence of mycotoxin producing fungi in tropical vineyards. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 37, 112.

El Khoury, A.E., Rizk, T., Lteif, R., Azouri, H., Delia, M.L. & Lebrihi, A. (2008). Fungal contamination and Aflatoxin B1 and Ochratoxin A in Lebanese wine—grapes and musts. *Food Chem. Toxicol.*, 46, 2244–2250.

Elad, Y., Pertot, I., Cotes Prado, .M.A. & Stewart, A. (2016). Plant hosts of *Botrytis* spp. In: Fillinger, S. & Elad, Y. (eds), *Botrytis—the Fungus, the Pathogen and its Management in Agricultural Systems*. Springer, Switzerland, pp. 413–486.

Elmer, P.A.G. & Michailides, T.J. (2004). Epidemiology of *Botrytis cinerea* in orchard and vine crops. In: Elad, Y., Williamson, B., Tudzynski, P. & Delen, N. (eds). *Botrytis: Biology, Pathology and Control*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp. 243-272.

Eltem, R., Aksoy, U., Altınışli, A., Sarıgöl, N., Taşkın, E., Aşkun, T. & ark. (2003). Ege Bölgesinde Çekirdeksiz Kuru Üzümlerde OTA Oluşumunun Belirlenmesi. Ulusal Mikotoksin Sempozyumu, 18-19 Eylül, İstanbul, ss.54-59.

Enomoto, M. & Saito, M. (1972). Carcinogens Produced by Fungi. *Ann. Rev. Microbiol.*, 26, 279,- 312.

Eskola, M., Kos, G., Elliott, C.T., Hajřlová, J., Mayar, S., & Krska, R. (2020). Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25%. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60 (16), 2773-2789.

European Commission (EC). (2007). EC Commission of Regulation No: 1881/2006 (Ammended by 1126/ 2007).

European Commission (EC). (2010). EC Commission of Regulation No:165/2010 (Ammended by 1881/ 2006).

European Food Safety Authority (EFSA). (2011). EFSA J. 9, 2407. (16/06/2024 tarihinde, <http://dx.doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2407> www.efsa.europa.eu/efsajournal) adresinden ulaşılmıştır).

Felřöciová, S., & Kačániová, M. (2021). Microfungi of grapes from Small Carpathian region in Slovakia. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2021, 478-482.

Fredj, S.M.B., Chebil, S. & Mliki, A. (2009). Isolation and characterization of ochratoxin A and aflatoxin B1 producing fungi infecting grapevines cultivated in Tunisia. *Afr.J.Microbiol.Res.*, 3,523-527.

Freire, L., Guerreiro, T.M., Caramês, E.T.S.; Lopes, L.S., Orlando, E.A., Pereira, G.E. & ark. (2018). Influence of Maturation

Stages in Different Varieties of Wine Grapes (*Vitis vinifera*) on the Production of Ochratoxin A and Its Modified Forms by *Aspergillus carbonarius* and *Aspergillus niger*. *J. Agric. Food Chem.*, 22 (66),33, 8824–8831.

Freire, L., Reinis, F., Passamani, F., Betsy, A., Cássia, R.D., Resende, M. & ark.(2017). Influence of physical and chemical characteristics of wine grapes on the incidence of *Penicillium* and *Aspergillus* fungi in grapes and ochratoxin A in wines. *International Journal of Food Microbiology*, 241, 181–190.

Frisvad,J.C., Larsen,T.O., De Vries,R., Meijer,M., Houbraken, J., Cabañes,F.J. & ark. (2007). Secondary metabolite profiling, growth profiles and other tools for species recognition and important *Aspergillus* mycotoxins. *Studies in Mycology*, 59, 31–37.

Garmendia, G. & Vero, S. (2016). Occurrence and biodiversity of *Aspergillus* section *Nigri* on “Tannat” grapes in Uruguay. *International Journal of Food Microbiology*, 216, 31–39.

Gelderblom, W.C.A., Jaskiewicz, K., Marasas, W.H.O., Thiel, P.G., Horak, R.M., Vleggar, R. & ark. (1988). Fumonisin- Novel Mycotoxins with Cancer-Promoting Activity Produced by *Fusarium moniliforme*. *Applied and Environmental Microbiology*, 54, 1806-1811.

Ghuffar,S., Irshad,G., Zeshan Ahmed,M., Ahmad Zeshan,M., Ali,R., ul Haq,E. & ark. (2020). First Report of *Aspergillus flavus* Causing Fruit Rot of Grapes (*Vitis vinifera*) in Pakistan. Published Online:18, (16/06/2024 tarihinde <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-20-0863-PDN> adresinden ulaşılmıştır).

Gómez-Albarrán, C., Melguizo, C., Patiño, B., Vázquez, C. & Gil-Serna, J. (2021). Diversity of mycobiota in Spanish grape berries and selection of *hanseniaspora uvarum* U1 to prevent mycotoxin contamination. *Toxins*, 13, 649.

Grintzalis, K., Vernardis, S.I., Klapa, M.I., & Georgiou, C.D. (2014). Role of oxidative stress in sclerotial differentiation and aflatoxin B1 biosynthesis in *Aspergillus flavus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(18), 5561–5571.

Gruber-Dorninger, C., Novak, B., Nagl, V. & Berthiller, F. (2017). Emerging mycotoxins: Beyond traditionally determined food contaminants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(33), 7052–7070.

Heperkan, D.(2016a). Gıdalardaki baskın mikroorganizmaların özellikleri. Bölüm 2. İçinde: Heperkan, D. (çeviri ed.), *Temel Gıda Mikrobiyolojisi*. Ray, B. & Bhunia A.(eds.), *Fundamental Food Microbiology*. 5. Baskı, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., Ankara, ss.11-31.

Heperkan, D.(2016b). Tarihçe ve gıda mikrobiyolojisinde gelişmeler. Bölüm 1. İçinde: Heperkan, D. (çeviri ed.), *Temel Gıda Mikrobiyolojisi*. Ray, B. & Bhunia A.(eds.), *Fundamental Food Microbiology*. 5. Baskı, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., Ankara, ss.3-10.

Hocking, A.D., Leong, S. I. L., Kazi, B.A., Emmett, R.W. & Scott, ES. (2007). Fungi and mycotoxins in vineyards and grape products. *International Journal of Food Microbiology*, 119, 1-2, 84–88.

Hopmans, E.C. (1997). Patulin: a mycotoxin in apples. *Perishables Handling Quarterly*, 91, 5–6.

Iamanaka, B.T., Tanıwaki, M.H., Menezes, H.C., Vicente, E. & Fungaro, M.H.P. (2005). Incidence of Toxigenic Fungi and Ochratoxin A in Dried Fruits Sold in Brazil. *Food Additives and Contaminants*, December, 22(12):1258-1263.

Jackson, L. & Dombrink-Kurtzman, M.A. (2006). Patulin, In: Sapers, G.M., Gorny, J.R. & Yousef, A.E. (eds). *Microbiology of fruits and Vegetables*. GRC Press, Boca Raton Fl. pp. 281-311.

Jackson, L.S. & Al-Taher, F., (2008). Factors affecting mycotoxin productions in fruits, In: Barkai-Golan, R. & Paster, N. (eds.). *Mycotoxins in Fruits and Vegetables*. Academic Press, UK, pp.75-104.

Jacobsen, B.J., Coppock, R.W. & Mostrom, M.S. (2007). *Mycotoxins and Mycotoxicoses* (Extension Publication EBO174). Montana State University, Bozeman, MT.

Jay, J.M., Loessner, M.J. & Golden, D.A. (2005). *Modern Food Microbiology*. Seventy ed., Springer, New York, USA, 790 p

Kışla, D.(2016). Gıdaların mikroorganizmalar ile bozulmasında önemli faktörler. İçinde: Heperkan, D. (çeviri ed.), *Temel Gıda Mikrobiyolojisi*. Ray, B. & Bhunia A. (eds.) *Fundamental Food Microbiology*. 5. Baskı, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., Ankara, ss. 245-253.

Knutsen, H.K., Alexander, J., Barregård, L., Bignami, M., Brüschweiler, B., Ceccatelli, S. & ark. (2017). Risks to human and animal health related to the presence of deoxynivalenol and its

acetylated and modified forms in food and feed. *EFSA Journal*, 15(9), Article e04718.

Kotzekidou, P.(1999). *Byssochlamys*. *Encyclopedia of Food Microbiology*, 328-333.

Köppen, R., Koch, M., Siegel, D., Merkel, S., Maul, R. & Nehls, I. (2010). Determination of mycotoxins in foods: current state of analytical methods and limitations, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 86,1595–1612.

Köycü, N.D., Özer,N. & Özer,C. (2005). Reactions agains to gray mold of wine grape varieties in Tekirdağ. In: *6th Turkish Vine Symposium*. September Tekirdağ, Turkey, pp. 305-309.

Köycü, N.D., Özer,C., Solak,E. & Delen,N. (2018). Farklı fungusit uygulama programlarında Semillon üzümünde *Botrytis cinerea*'nın enfeksiyonu. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15 (3), 61-67.

Leggieri, M.C., Mitchell, D., Aldred, D., Battilani, P. &Magan, N. (2014). Hydro-and thermotimes for conidial germination kinetics of the ochratoxigenic species *Aspergillus carbonarius* in vitro, on grape skin and grape flesh. *Fungal Biol.*, 118, 996–1003.

Leong, S.L., Hocking, A.D., Pitt, J.I., Kazi, B.A., Emmett, R.W. & Scott, E.S. (2006). Australian research on ochratoxigenic fungi and ochratoxin A. *International Journal of Food Microbiology*, 111, S10–17.

Leong, S.L., Hocking, A.D. & Scott, E.S. (2007). *Aspergillus* species producing ochratoxin A: Isolation from vineyard soils and

infection of Semillon bunches in Australia. *Journal of Applied Microbiology*, 102, 124–133.

Lewis, D.C. (2016). Assessment of Fumonisin B2 Contamination in Muscadaine Wine and Grape Juice as A Major Risk Factor to Human Health. Ph.D. thesis, University of Florida, Gainesville, FL, USA.

Li, B., Chen, Y., Zhang, Z., Qin, G., Chen, T., & Tian, S. (2020). Molecular basis and regulation of pathogenicity and patulin biosynthesis in *Penicillium expansum*. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19 (6), 3416-3438.

Logrieco, A., Ferracane, R., Haidukowsky, M., Cozzi, G., Visconti, A. & Ritieni, A. (2009). Fumonisin B2 production by *Aspergillus niger* from grapes and natural occurrence in must. *Food Additives and Contaminants*, 26, 1495-1500.

Logrieco, A., Ferracane, R., Visconti, A. & Ritieni, A. (2010). Natural occurrence of fumonisin B2 in red wine from Italy. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 27 (8), 1136–1141.

Logrieco, A., Moretti, A. & Solfrizzo, M. (2009). *Alternaria* toxins and plant diseases: an overview of origin, occurrence and risks. *World Mycotoxin Journal*, 2 (2), 129-140.

Lombaert, G. A., Pellaers, P., Neumann, G., Kitchen, D., Huzel, V., Trelka, R., Kotello, S., Scott P.M. (2004). Ochratoxin A in dried vine fruits on the Canadian retail market. *Food Additives and Contaminants*, 21(6),578-585.

Magan, N., Medina, A. & Aldred, D. (2011). Possible climate-change effects on mycotoxin contamination of food crops pre- and postharvest. *Plant Pathol.*, 60, 150–163.

Magnoli, C., Astoreca, A., Ponsone, L., Combina, M., Palacio, G., Rosa, C.A.R., Dalcerro, A.M. (2004). Survey of Mycoflora and Ochratoxin A in Dried Vine Fruits from Argentina Markets. *Letters in Applied Microbiology*, 39,3 26-331.

Magnoli, C., Violante, M., Combina, M., Palacio, G. & Dalcerro, A. (2003). Mycoflora and ochratoxin-producing strains of *Aspergillus* section *Nigri* in wine grapes in Argentina. *Letters in Applied Microbiology*, 37, 179–184.

Martinez-Culebras, P.V. & Ramon, D. (2007). An ITS-RFLP method to identify black *Aspergillus* isolates responsible for OTA contamination in grapes and wine. *Int.J. Food Microbiol.*, 113 (2), 147–153.

Medina, A., Akbar, A., Baazeem, A., Rodriguez, A. & Magan, N. (2017). Climate change, food security and mycotoxins: Do we know enough? *Fungal Biol. Rev.*, 31, 143–154.

Medina, A., Mateo, R., Lopez-Ocana, L., Valle-Algarra, F.M. & Jimenez, M. (2005). Study of Spanish grape mycobiota and ochratoxin A production by isolates of *Aspergillus tubingensis* and other members of *Aspergillus* section *Nigri*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 71, 4696–4702.

Mehrotra, R.S. & Aneja, K.R. (1990). *An Introduction to Mycology*. New Age International, New Delhi, pp:1-65.

Melguizo,C., Patiño,B., Ramos,A.J., Vázquez,C. & Gil-Serna,J. (2023). Reconsidering the co-occurrence of *Aspergillus flavus* in Spanish vineyards and aflatoxins in grapes. *Agriculture*,13(10),1-12.

Melki Ben Fredj, S., Chebil, S., Lebrihi, A., Ghorbel, A. & Mliki, A. (2007). Occurrence of pathogenic fungal species in Tunisian vineyards. *Int. J. Food Microbiol.*, 113 (3), 245–250.

Mendgen, K. & Hahn, M. (2002). Plant infection and the establishment of fungal biotrophy. *Trends in Plant Science*, 7, 352-6.

Meyvacı, K.B., Altındışli, A., Aksoy, U., Eltem, R., Turgut, H., Arasiler, Z., Kartal, N. (2005). Ochratoxin A in Sultanas From Turkey I: Survey of Unprocessed Sultanas From Vineyards and Packing-Houses. *Food Additives and Contaminants*, 22(11):1138-1143.

Mogensen,J.M., Larsen, T.O.& Nielsen, K.F. (2010). Widespread occurrence of the mycotoxin fumonisin *b* (2) in wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58 (8), 4853–4857.

Mogensen, J.M., Nielsen, K. F., Samson, R. A., Frisvad, J. C. & Thrane,U. (2009). Effect of temperature and water activity on the production of fumonisins by *Aspergillus niger* and different *Fusarium* species. *BMC Microbiology*, 9 (1), 281– 312.

Mogensen,M.F., Frisvad, J.C., Thrane, U. & Nielsen,K.F. (2010). Production of fumonisin B2 and B4 by *Aspergillus niger* on

grapes and raisins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 954-958.

Morales, H., Marin, S., Rovira, A., Ramos, A.J. & Sanchis, V., (2006). Patulin Accumulation in Apples by *Penicillium expansum* During Postharvest Stages. *Letters in Applied Microbiology*, 44, 30-35.

Moss, M.O. (2008). Fungi, Quality and Safety Issues in Fresh Fruits and Vegetables. *Journal of Applied Microbiology*, 104, 1239-1243.

Murphy, P.A., Hendrich, S., Landgren, C. & Bryant, C.M. (2006). Food Mycotoxins: An Update. *Journal of Food Science*, 71, 51-65.

Neme, K. & Mohammed, A. (2017). Mycotoxin occurrence in grains and the role of postharvest management as a mitigation strategies. A review. *Food Control*, 78, 412-425.

Ostry, V. (2008). Alternaria mycotoxins: an overview of chemical characterization, producers, toxicity, analysis and occurrence in foodstuffs. *World Mycotoxin Journal*, 1 (2), 175-188.

Ostry, V., Malir, F., Cumova, M., Kyrova, V., Toman, J., Grosse, Y. & ark. (2018). Investigation of patulin and citrinin in grape must and wine from grapes naturally contaminated by strains of *Penicillium expansum*. *Food and Chemical Toxicology*, 118, 805-811.

Ostry, V., Malir, F., Toman, J. & Grosse, Y. (2017). Mycotoxins as human carcinogens the IARC monographs classification. *Mycotoxin Research*, 33 (1), 65-73.

Ostry, V., Ruprich, J. & Skarkova, J., (2002). Raisins, ochratoxin A and human health. *Mycotoxin Research*, 18 (2), 178-182.

Özer, N., Köycü, N.D., Özer, C. & Ippolito, A. (2004). *Evaluation of Susceptibility of table grape cultivars to botrytis bunch rot*. XIII. International *Botrytis* Symposium. Abstracts, 85.

Paterson, R.R.M. & Lima, N. (2010a). How will climate change affect mycotoxins in food? *Food Research International*, 43, 1902–1914.

Paterson, R.R.M. & Lima, N. (2010b). Toxicology of mycotoxins. *EXS*, 100, 31–63.

Paterson, R.R.M., Venâncio, A., Lima, N., Guilloux-Bénatier, M., & Rousseaux, S. (2018). Predominant mycotoxins, mycotoxigenic fungi and climate change related to wine. *Food Research International*, 103, 478–491.

Pavón Moreno, M.Á., González Alonso, I., Martín de Santos y, R. & García Lacarra, T. (2012). Importancia del género *Alternaria* como productor de micotoxinas y agente causal de enfermedades humanas. *Nutr Hosp.*, 27(6), 1772-1781.

Pearson, R.C. & Goheen, A.C. (1988). *Compendium of grape diseases*. St. Paul, MN, USA, APS Press.

Pena, A., Cerejo, F., Silva, L. J.G. & Lino, C.M. (2010). Ochratoxin A survey in Portuguese wine by LC-FD with direct injection. *Talanta*, 82, 1556–1561.

Perera, D., Savocchia, S., Prenzler, P.D., Thomson, P.C. & Steel, C.C. (2021). Occurrence of fumonisin-producing black

aspergilli in Australian wine grapes: effects of temperature and water activity on fumonisin production by *A. niger* and *A. welwitschiae*. *Mycotoxin Research*, 37 (4), 327–339.

Perrone, G., De Girolamo, A., Sarigiannis, Y., Haidukowski, M.E. & Visconti, A. (2013). Occurrence of ochratoxin A, fumonisin B2 and black aspergilli in raisins from western Greece regions in relation to environmental and geographical factors. *Food Additives & Contaminants, Part A*, 30 (7), 1339–1347.

Perrone, G., Mule, G., Susca, A., Battilani, P., Pietri, A. & Logrieco, A. (2006). Ochratoxin A production and amplified fragment length polymorphism analysis of *Aspergillus carbonarius*, *Aspergillus tubingensis*, and *Aspergillus niger* strains isolated from grapes in Italy. *Applied and Environmental Microbiology*, 72, 680–685.

Perrone, G., Susca, A., Cozzi, G., Ehrlich, K., Varga, J., Frisvad, J. C. & Samson, R.A. (2007). Biodiversity of *Aspergillus* species in some important agricultural products. *Studies in Mycology*, 59, 53–66.

Pinedo, C., Wang, C.M., Pradier, J.M., Dalmais, B., Choquer, M., Le Pecheur, P. & ark. (2008). Sesquiterpene synthase from the botrydial biosynthetic gene cluster of the phytopathogen *Botrytis cinerea*. *ACS Chem. Biol.*, 3, 791–801.

Plascencia-Jatomea, M. Susana, M., Gómez, Y. & Velez-Haro, J.M. (2014). *Aspergillus* spp. (Black Mold)- Control Strategies. Ed. Silvia Bautista-Ban, Chapter 8, 267-286. Academic Press.

Prendes, L.P., Merín, M.G., Andreoni, M.A., Ramirez, M., & Morata de Ambrosini, V.I. (2015). Mycobiota and toxicogenic *Alternaria* spp. strains in Malbec wine grapes from DOC San Rafael, Mendoza, Argentina. *Food Control*, 57, 122-128.

Qi, T.F., Renaud, J.B., McDowell, T., Seifert, K.A., Yeung, K.K.C. & Sumarah, M.W. (2016). Diversity of mycotoxin producing black *Aspergilli* in Canadian vineyards. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64 (7), 1583-1589.

Quintela, S., Villar'an, M.C., L'opez de Armentia, I. & Elejalde, E. (2013). Ochratoxin A removal in wine: a review. *Food Control*, 30 (2), 439-445.

Rai, A., Das, M. & Tripathi, A. (2020). Occurrence and toxicity of a fusarium mycotoxin. *Zearalenone. Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 60(16), 2710-2729.

Ratola, N., Abade, E., Simoes, T., Venâncio, A. & Alves, A. (2005). Evolution of ochratoxin A content from must to wine in Port Wine microvinification. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 382 (2), 405-411.

Resmi Gazete (RG). (2023). *Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği*. Başbakanlık, Resmi Gazete, Sayı 32360, Ankara.

Romero, S.M., Comerio, R.M., Larumbe, G., Ritieni, A., Vaamonde, G. & Pinto, V.F. (2005). Toxicogenic Fungi Isolated From Dried Vine Fruits in Argentina. *International Journal of Food Microbiology*, 104: 43-49.

Roseanu, A., Jecu, L., Badea, M. & Evans, R.,W. (2010), Mycotoxins: An overview on their quantification methods, *Rom. J. Biochem*, 47 (1), 79–86.

Rotem, J. (1994). *The genus Alternaria: biology, epidemiology and pathogenicity*. St. Paul, MN: The American Phytopathological Society, 326 p.

Sage, L., Garon, D. & Murandi, S.F. (2004). Fungal Microflora and Ochratoxin A Risk in French Vineyards. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 5764-5768.

Sage, L, Krivobok, S., Delbos, E., Seiegle-Murandi, F. & Creppy, E.E., (2002). Fungal flora and ochratoxin A production in grapes and musts from France. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 50, 1306-1311.

Sajid, M., Mehmood, S., Yuan, Y. & Yue, T. (2019). Mycotoxin patulin in food matrices: occurrence and its biological degradation strategies. *Drug metabolism reviews*, 51(1), 105-120.

Samson, R.A, Houbraken, J, Varga, J, & Frisvad, J.C (2009). Polyphasic taxonomy of the heat resistant ascomycete genus *Byssochlamys* and its *Paecilomyces* anamorphic. *Personia* 22,14-27.

Searcy, J.W., Davis, N.D. & Diener, L. (1969). Biosynthesis of Ochratoxin A. *J Appl Microbiol*, 18, 622-627.

Seçer, E. & İç, E. (2003). Kuru Üzümlerde Küflenmeye Neden Olan *Aspergillus Niger* van Tieghem'e Gama Işınlmasının Etkisi. VIII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Sözlü Bildiriler Kitabı, 15-17 Ekim 2003, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.

Serra, R., Braga, A. & Venâncio, A. (2005). Mycotoxinproducing and other fungi isolated from grapes for wine production, with particular emphasis on ochratoxin A. *Research in Microbiology*, 156 (4), 515-521.

Serra, R., Mendonça, C., Abrunhosa, L., Pietri, A. & Venancio, A. (2004). Determination of Ochratoxin A in Wine Grapes: Comparison of Extraction Procedures and Method Validation. *Analytica Chimica Acta*, 513,41-47.

Sivri, D. (2016). Düşük Su Aktivitesi ve Kurutma ile Kontrol. Bölüm 35. İçinde: Heperkan, D. (Çeviri Ed.), *Temel Gıda Mikrobiyolojisi*. Ray, B. ve Bhunia A.(Eds.), *Fundamental Food Microbiology*. 5. Baskı, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., Ankara, ss.467-474.

Smith, G.W. (2012). Fumonisin. *Veterinary Toxicology*, 1206-1219.

Somma,S., Perrone, G. & Logrieco, A.F. (2012). Diversity of black *Aspergilli* and mycotoxin risks in grape, wine and dried vine fruits. *Phytopathologia Mediterranea*, 51(1), 131–147.

Spittstoesser, D.F. (1987). Fruits and fruit products. In: Beuchat L.R. (ed), *Food and Beverage Mycology*. 2nd ed., 101-128. Van Nostrand Reinhold, NewYork, USA.

State of the World Vine and Wine Sector (OIV). (2022). Available online: (16/06/2024 tarihinde https://www.oiv.int/sites/default/files/documents/2023_SWWWS_report_EN.pdf adresinden ulaşılmıştır).

Steel, C.C., Blackman, J.W. & Schmidtke, L.M. (2013). Grapevine bunch rots: impacts on wine composition, quality, and potential procedures for the removal of wine faults. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61 (22), 5189– 5206.

Steyn, P.S. & Stander, M.A. (1999). Mycotoxins with special reference to the carcinogenic mycotoxins: Aflatoxins, ochratoxins and fumonisins, In: Ballantyne, B., Marrs, T.C, & Syversen, T.L.M, (eds). *General and Applied Toxicology*. 2nd Edition. United Kingdom, Macmillan Reference Ltd, pp. 2145-76.

Stocco A.F., Diaz M.E., RodríguezRomera M.C., Mercado L. A., Rivero M.L. & Ponsone, M.L. (2019). Biocontrol of postharvest *Alternaria* decay in table grapes from Mendoza province. *Biological Control*, 134, 114-122.

Sugita-Konishi, Y., Kamata, Y., Sato, T., Yoshinari, T. & Saito, S. (2012). Exposure and risk assessment for ochratoxin A and fumonisins in Japan, *Food Additives and Contaminants*, Part A, 1-10.

Sweeney, M.J. & Dobson, A.D.W. (1998). Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* species. *Int. J. of Food Micr.*, 43, 141–158.

Tančinová, D., Mašková, Z., Rybárik, L., Felšöciová, S. & Cíсарová, M. (2016). Colonization of grapes berries by *alternaria* sp. and their ability to produce mycotoxins. *Potravinárstvo*, 10 (1), 7-13.

Tani, H., Koshino, H., Sakuno, E. & Nakajima, H. (2005). Botcinins A,B,C, and D, metabolites produced by *Botrytis cinerea*,

and their antifungal activity against *Magnaporthe grisea*, a pathogen of rice blast disease. *J. Nat. Prod.*, 68, 1768–1772.

Taniwaki, M.H. (1995). Growth and Mycotoxin Production by Fungi under Modified Atmospheres. PhD thesis, Kensington, NSW: University of New South Wales, Australia.

Tournas, V. (1994). Heat-Resistant fungi of importance to the food and beverage industry. *Crit. Rev. Microbiol.*, 20, 243-263.

Türk Patent ve Marka Kurumu (TÜRKPATENT). (2018). Adıyaman Besni Üzümü. Türk Patent ve Marka Kurumu, Tescil tarihi: 08/06/2018, Tescil no: 357., Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2022). Bitkisel Üretim İstatistikleri. 16.06.2024.tarihinde [https://data.tuik.gov.tr/ Bulten/ Index?p=BitkiselUretim-Istatistikleri-2022-45504](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=BitkiselUretim-Istatistikleri-2022-45504). Adresinden ulaşılmıştır.

Türköz Bakırcı, G., Çakmak, F. & Özdemir, D. (2016). Ege Bölgesi'nde satışa sunulan kuru üzümelerde Okratoksin A ve küf ilişkisi. *Akademik Gıda*, 14(4), 407- 411.

Ünal, A.S. (2009). Kuru Üzüm ve Ürünlerinde Okratoksin A Varlığının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 69s.

Valente, S., Cometto, A., Piombo, E., Meloni, G. R., Ballester, A. R., González-Candelas, L., & Spadaro, D. (2020). Elaborated regulation of griseofulvin biosynthesis in *Penicillium griseofulvum* and its role on conidiation and virulence. *International Journal of Food Microbiology*, 328, 108687.

Valero, A., Marín, S., Ramos, A. J., & Sánchez, V. (2005). Ochratoxin A Producing Species in Grapes and Sun-Dried Grapes and Their Relation to Ecophysiological Factors. *Letters in Applied Microbiology*, 41,196-201.

Van der Merwe, K.J.; Steyn, P.S.; Fourie, L.; Scott, D.B. & Theron, J.J. (1965). Ochratoxin A, a toxic metabolite produced by *Aspergillus ochraceus* Wilh. *Nature*, 205,1112-1113.

Van Egmond, H.P. (1989). Aflatoxin M1: occurrence, toxicity, regulation. In: Van Egmond, H.P. (ed.). *Mycotoxins in Dairy Products*. Elsevier Applied Science, New York, pp.11-55.

van Kan, JAL. (2005). Infection strategies of *Botrytis cinerea*. In: Marissen,N., VanDoorn,W.G.,&VanMeeteren,U. (eds),*Proceedings of the Viiiith International Symposium on Postharvest Physiology of Ornamental Plants*. Acta Horticulturae, 669. International Society Horticultural Science, Leuven 1, pp 77-89

Varga,J., Kocsube,S., Suri,K. Szigeti, G., Szekeres, A., Varga, M. & ark. (2010). Fumonisin contamination and fumonisin producing black *Aspergilli* in dried vine fruits of di3erent origin. *International Journal of Food Microbiology*, 143 (3), 143–149.

Visconti, A., Perrone,G., Cozzi,G. & Solfrizzo,M. (2008). Managing ochratoxin A risk in the grape-wine food chain. *Food Additives and Contaminants*, 25(2), 193–202.

Waskiewicz, A., Beszterda, M. & Golinski, P. (2012). Occurrence of fumonisins in food- An interdisciplinary approach to the problem, *Food Control*, 26, 491-499.

Welke J.E. (2019). Fungal and mycotoxin problems in grape juice and wine industries. *Current Opinion in Food Science*, 29, 7-13.

Williamson, B, Tudzynski B, Tudzynski, P. & Van Kan JaL. (2007). *Botrytis cinerea*: the cause of grey mould disease. *Molecular Plant Pathology*, 8, 561-80.

World Health Organization (WHO). (2007). Evaluation of certain food additives and contaminants: Sixty eighth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO technical report series ; no. 947, Geneva, Switzerland, p.225.

World Health Organization (WHO). (2008). Safety evaluation of certain food additives and contaminants- Aflatoxins. WHO Food Additives Series: 59, World Health Organization, Geneva.

World Health Organization (WHO). (2023). Mycotoxins. (16/06 /2024 tarihinde <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mycotoxins> adresinden ulaşılmıştır).

Yalçındağ, D. (2006). Piyasada Bulunan Yaş ve Kuru Üzümlerden Küf İzolasyonu ve Okratoksin A'nın Elisa Yöntemi ile Saptanması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 51 s.

BÖLÜM IV

Et ve Süt Endüstrisinde Biyofilmler

Rabia Mehtap TUNCAY
Yakup Can SANCAK
Burcu ÖNER
Sümeyye TOPRAK ÇETİN

1. Biyofilm Tarihçesi

Bakteriyel biyofilm varlığından ilk olarak 17. yüzyılda Antoni van Leeuwenhoek tarafından bahsedilmiştir. Leeuwenhoek, dışındaki plaktan aldığı örneği mikroskopla inceleyerek plaklar içerisinde yaşayan mikrobiyal kolonilerin varlığından bahsetmiş olmasına rağmen 1978 yılına kadar biyofilmin öneminden gerçek anlamda bahsedilmemiştir (Aydemir, 2018; Altıntok, Gürpınar & Eser, 2018; Onur, 2021).

1970'lerin başlarında, dağlık bölgelerdeki akarsularda yaşayan bakterilerin büyük bir çoğunluğunun suyun yüzeyine tutunarak yaşamalarını sürdürdükleri rapor edilmiştir. 1973'de

endüstriyel su sistemlerindeki mikrobiyal toplulukların yüzeye sıkıca tutunarak klor gibi dezenfektanlara karşı yüksek direnç gösterdiği tespit edilmiştir (Özpınar, 2011; Arar, 2015). İlerleyen yıllarda ise Marshall, bakterilerin farklı yüzeylere tutunmasını mümkün kılan ince ekstrasellüler polimer fibrillerin varlığını ortaya koymuştur (Arar, 2015; Onur, 2021).

Costerton ise 1978 yılında bakterilerin, yeterli besine sahip ekosistemlerde yüzeye tutunmasını sağlayan biyofilim tabakası oluşturan matriks içinde çoğaldıklarını söyleyerek ‘biyofilim’ terimini ilk kez kullanmıştır (Arar, 2015; Aydemir, 2018; Onur, 2021).

Daha sonraki araştırmalarda, biyofilmlerin derin yer altı suları, okyanus derinlikleri dışında su ekosistemleri ve tüm doğal ekosistemlerde oluşabildiği kabul görmüştür (Özpınar, 2011).

Zobell yaptığı çalışmada, su ortamında biyofilm oluşturan bakterilerin sayısının, suda serbest halde bulunan bakterilere kıyasla çok daha fazla olduğunu bildirmiştir (Arar, 2015).

Heukelekson ve Heller ise su ekosistemindeki mikroorganizmaların öncelikle yüzeylere tutunduğunu ve bu süreçten sonra aktivite ve büyüme hızlarının belirgin bir şekilde arttığını belirtmişlerdir (Arar, 2015).

Biyofilmlerle ilgili yapılan çalışmalar son 20-30 yıl içerisinde artış göstermiş ve elde edilen bilgilerle biyofilm tanımının gelişmesi sağlanmıştır. Son 20 yıldır biyofilm yapıları, ışık mikroskobu, taramalı elektron mikroskobu ve mikrobiyolojik kültür teknikleri kullanılarak detaylı bir şekilde incelenmektedir. Biyofilm yapısının incelenmesinde son 10 yılda yapılan iki çalışmanın literatüre büyük

katkısı olmuştur. Bu çalışmalarda; lazer taramalı konfokal mikroskobu kullanılarak biyofilmin ultrastrüktürel yapısı belirlenmiş ve biyofilm oluşumu sırasında hücrelerin birbirine tutunmasını sağlayan genler araştırılmıştır (Donlan, 2002; Kuba, 2012). Biyofilm yapısının incelenmesinde en yeni teknik olarak konfokal taramalı lazer mikroskobu kullanılmaktadır (Kartal, Ekinci & Poyraz, 2021).

2. Biyofilmin Tanımı ve Yapısı

Biyofilimler, mikroorganizmaların kendi ürettikleri polimerik maddelerle çevreledikleri ve bir yüzeye tutunarak jelsi bir yapıda bir arada bulunan mikrobiyel hücre topluluğu olarak tanımlanabilir (Gün & Ekinci, 2009; Onbaşı, Çelik & Ökçesiz, 2017). Bu jelsi yapı, mikroorganizmaların yüzeye tutunmasını sağlayan ve bakteri hücreleri tarafından üretilen hücre dışı polisakkarit, ‘eksopolisakkarit’ veya hücre dışı polimer ‘eksopolimer (EPS)’ matrisi adı verilen polisakkarit bazlı bir ağ yapısına sahiptir (Onbaşı, Çelik & Ökçesiz, 2017).

Biyofilimler, makroskobik düzeyde opak bir yapıya sahip olup, genellikle 100-500 µm boyutlara ulaşır ve çevresel şartlara bağlı olarak boyutları değişebilir. Bu yapılar kaygan ve pürüzsüzdür (Ölmez, 2009). Biyofilmin bileşiminde %2-5 mikroorganizmalar, %97 su, %1-2 proteinler, %1-2 polisakkaritler, %1-2 DNA ve iyonları bulunur. Ancak bu oranlar, biyofilmi oluşturan mikroorganizmaların türüne, fizyolojik özelliklerine, büyüme koşullarına, akışkan türüne ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Gün & Ekinci, 2009; Evren & ark., 2020).

Mikroorganizma hücrelerinin yüzeye tutunması ve biyofilm oluşumu, çeşitli moleküller tarafından yönlendirilir. Polisakkaritler, bu süreçte mikroorganizma hücrelerinin yüzeylere bağlanmasında önemli bir rol oynar. Biyofilm yapısındaki bakteri hücreleri arasındaki iletişim ise proteinlerin işleviyle sağlanır. Glikolipitler ise bakterilerin virülans özelliklerinin kazanmasında etkili olur. Ayrıca, mikroorganizma hücreleri arasındaki yatay gen transferi, yüzeyin hidrofobik özelliklerinin düzenlenmesi ve biyofilmin üç boyutlu yapısının oluşumu, ekstraselüler DNA (eDNA) tarafından yönetilir (Kartal, Ekinci & Poyraz, 2021).

EPS'ler mayalar, bakteriler, küfler, mantarlar ve mavi-yeşil algler gibi çeşitli mikroorganizmalar tarafından üretilir ve hücre yüzeyine kovalent bağlarla tutunurlar. Ayrıca hücre dışında da salınım salınım gösterebilirler. Biyofilmler içinde en yaygın bulunan EPS türleri arasında selüloz, poli-N-asetil glukozamin ve aljinat yer alır. Aljinat, özellikle kahverengi algler ve *Azotobacter vinelandii* ile *Pseudomonas aeruginosa* gibi bazı bakteri türleri tarafından üretilmektedir (Kartal, Ekinci & Poyraz, 2021). EPS üretiminde birçok enzim ve düzenleyici proteinler yer almaktadır. Bu süreçte gerekli enerji kaynağı olarak şekerler, azot kaynağı olarak amino asitler ve amonyum tuzları kullanılmaktadır. EPS yapısının belirlenmesinde açığa çıkan karbon ve azot oranı önemli olmaktadır. Maksimum EPS üretimi için en uygun C:N oranının 10:1 olduğu belirlenmiştir. (Canberi, 2022). EPS üretimi ile bakteriler yüzeye dönüşümsüz olarak tutunur ve bu durum biyofilm oluşumunun bir göstergesi olarak kabul edilir. Olgun bir biyofilmin toplam kütlelerinin %75–90'ı EPS'lerden oluşmaktadır (Gün & Ekici, 2009).

Proteinler bakteriyel tutunmada önemli rol almaktadır. Biyofilm matriksindeki proteinler, dört ana grupta toplanabilir: lektinler, biyofilmle ilişkili proteinler (BAP, Biofilm associated protein), kıvrımlı fimbriya ve ototransporter proteinlerdir. Kıvrımlı fimbriya ve pili bakterilerin protein bazlı yapışkan uzantılarıdır (Çelik, 2018). Yüzey proteinleri biyofilm matriksinde bulunur ve bazıları, EPS varlığında biyofilm oluşumunu teşvik eder. Biyofilmle ilişkili proteinler, bakterilerin yüzeye yerleşmesi ve bu yüzeylere kalıcı olarak tutunması açısından önemli bir rol oynamaktadır (Gün & Ekinci, 2009).

Hücre dışı eDNA, 2002 yılında keşfedilen en önemli biyofilm bileşenlerinden birisidir. eDNA, bakterilerin konakçı bağışıklık sistemi ve antimikrobiyal ajanlara karşı korunmasında önemli bir rol oynar. eDNA, EPS'nin yapısında fazla miktarda bulunur. Bakteriyel biyofilm topluluklarının gelişimini anlamak için eDNA'nın yapısal özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir. İlk olarak eDNA, *Streptococcus mutans*, *Streptococcus intermedius*, *Pseudomonas aeruginosa*, ve *Enterococcus faecalis* gibi bakterilerin biyofilmlerinde tespit edilmiştir (Kartal, Ekinci & Poyraz, 2021).

Biyofilmler canlı (bitki, hayvan ve insan vücudu gibi) ve cansız (endüstriyel su boruları, medikal aletler, aşındırıcı parçalar gibi) yüzeylerde gelişebilmektedir. Bir biyofilmin oluşması için mikroorganizma, glikokaliks ve yüzey gereklidir. Bu bileşenlerden herhangi biri eksik olduğunda biyofilm oluşumu gerçekleşmemektedir (Kartal, Ekinci & Poyraz, 2021).

Biyofilmler, homojen ve heterojen olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Homojen biyofilmler aynı türden bakterilerden

oluşan mikrobiyel topluluklardır ve doğada nadiren görülür. Heterojen biyofilmler ise birden fazla bakteri türünün birlikte bulunduğu ve etkileştiği topluluklar olup doğada yaygın olarak bulunur (Evren & ark., 2020; Kartal, Ekinci & Poyraz, 2021).

Yapılan çalışmalarda biyofilmlerin, su ve besin maddeelerinin iletildiği kılcal damarlar ve su kanalları içeren gözenekli bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Bu su kanalları mikrokolonilerin hem altında hem de arasında bulunmaktadır. Besin maddeleri, bu özel kanallar aracılığıyla biyofilm tabanına taşınmaktadır. Su ve pasif difüzyon, bu taşıma sürecini kolaylaştırarak biyofilm içine moleküllerin geçişine imkan tanımaktadır. Ayrıca, su kanallarının biyofilm içinde oksijen taşıma işlemi gördüğünde belirtilmiştir (Gün & Ekinci, 2009). Biyofilm tabakasının en önemli fonksiyonu bakterileri ultraviyole, radyasyon, pH değişiklikleri, ozmotik basınç, antibiyotik ve su kaybı gibi birçok faktöre karşı korumaktır (Onbaşı, Çelik & Ökçesiz, 2017).

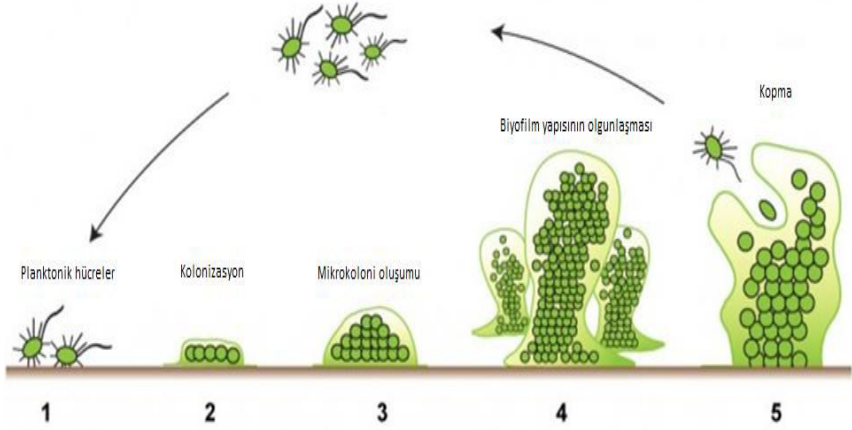
3. Biyofilm Oluşumu ve Aşamaları

Mikroorganizmalar savunma, adezyon, kolonizasyon, yaşanabilir çevre geliştirmek, ve koloni oluşturmak gibi nedenlerle biyofilm oluşturmaktadırlar (Arar, 2015). Patojenik veya bozulma etmeni olan pek çok mikroorganizma, alüminyum, ahşap, teflon, paslanmaz çelik ve plastik gibi yüzeylerde biyofilm oluşturabilmektedir (Gün & Ekinci, 2009). Çoğu patojen mikroorganizmalar uygun koşullar altında gıda ve gıda ile temas eden yüzeylerde biyofilm oluşturarak özellikle gıda endüstrisi ve halk sağlığı açısından büyük problemlere yol açmaktadır (Abebe, 2020; Uyanık & ark., 2022).

Biyofilm oluşumu zaman gerektiren ve çok aşamalı bir süreç gerektirmektedir (Şen, Odabaşı & Mutlu, 2008; Aydemir, 2018). Bakterilerin yüzeye tutunabilmesi; ortamdaki pH düzeyi, sıcaklık, bakteri türü, bakterinin tutunduğu yüzeyin özellikleri, bakterinin hareketli olup olmadığı, bakterinin yapısal özellikleri, ortamın iyon derişimi, ortamda bulunan besin maddeleri gibi genetik ve çevresel faktörlere bağılı olarak değişkenlik göstermektedir (Aydemir, 2018; Biçer, 2018).

Biyofilm oluşumu için bakterilerin yüzeye yakın olması gereklidir. Bakteriler yüzeye yaklaşırken, yüzeyden 10-20 nm uzaklıkta, bakteri hücreesindeki negatif yükler ile çevredeki yüzeyin negatif yükleri arasında bir itme kuvveti oluşur. Oluşan bu itme kuvveti, bakteriyel hücreler ile yüzey arasındaki Van der Waals kuvvetleri aracılığıyla gerçekleşmektedir. Ayrıca, bakteriler yüzeye mekanik bağlantı kurmak için flagella ve fimbria gibi yapıları da kullanmaktadırlar (Kartal, Ekinci & Poyraz, 2021).

Biyofilm oluşumu geri dönüşümlü tutunma, geri dönüşümsüz tutunma, kolonizasyon, biyofilm olgunlaşması ve biyofilm yapısının koparak ayrılması şeklinde 5 aşamada gerçekleşmektedir (Srey; Jahid & Do Ha, 2013). Şekil 1'de biyofilm oluşumunun aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 1. Biyofilm oluşum aşamaları (Yanıkan, 2020).

3.1. Geri dönüşümlü tutunma

Bakterinin yüzeye tutunmasının ilk aşaması olarak bilinmektedir. Bu aşamada gerçekleşen olaylar fizyokimyasal etkileşimlerin sonucu ortaya çıkmaktadır. Bakterinin yüzeye dönüşümlü olarak tutunmasında, Van der Waals etkileşimleri, hidrofobik etkileşimler, elektrostatik kuvvetler, besin maddelerinin ortamdaki varlığı, sıcaklık ve pH gibi çeşitli fizyokimyasal özellikler belirleyici olmaktadır (Canberi, 2022). Yüzeye tutunan bakteriler az miktarda EPS içerir ve bağımsız olarak hareket etme yeteneğine sahiptirler (Yörükce, 2019). Bu aşama geri dönüşümlü bir aşama olmakla birlikte mikroorganizmalar tutunma durumundan her an tekrar serbest duruma geçebileceği bir aşamadır. Bu nedenle gevşek adezyon aşaması “geri dönüşümlü adezyon” ya da “primer adezyon” aşaması da denilmektedir (Canberi, 2022).

3.2. Geri dönüşümsüz tutunma

Tutunmanın ikinci aşamasıdır ve yüzeye geri dönüşümsüz tutunan bakteriler, duyuşal proteinlerinin uyarılması ile EPS üretmeye başlarlar. EPS varlığı bakteri hücrelerinin oluşturduğu zayıf bağların kalıcı bağlara dönüşmesini sağlamaktadır (Abebe, 2020; Kement, 2021). Geri dönüşümsüz tutunma esnasında mikrobiyal hücre ile yüzey arasında iyonik bağlar, hidrojen bağları, kovalent bağlar, dipol-dipol bağları, ve hidrofobik etkileşimler yoluyla polimerik fibril yapıdan oluşan bir köprü meydana gelmektedir (Duran, 2021). EPS içeriğinde bulunan çeşitli polisakkaritler, eDNA ve proteinler mikroorganizmaların birbirlerine ve yüzeye geri dönüşümsüz bağlanmasını sağlar yani bakterilerin oluşturduğu bağların kalıcı hale geçmesini sağlamaktadır. Bu nedenle tutunma geri dönüşümsüz olarak gerçekleştiği için, bu aşamaya “geri dönüşümsüz adezyon” ya da “sekonder adezyon” aşaması olarak da adlandırılmaktadır. (Canberi, 2022).

Geri dönüşümsüz tutunma gerçekleştikten sonra biyofilm yapısını yüzeyden uzaklaştırabilmek için mekanik güç, enzim, sanitizerler, deterjan, dezenfektan ve etkili ısı işlem gibi çeşitli uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır (Yörükce, 2019). Tutunma geri dönüşümsüz hale geldiğinde, bakteriler çeşitli adaptasyon süreçlerinden geçer. Bu süreçlerin başında, dış ortamda hayatta kalmalarını sağlayan EPS üretimi ve antimikrobiyal ajanlara karşı direnç kazanma yer alır. Bunun yanı sıra, bakterilerin hücreler arası iletişim sistemi olan Quorum Sensing aracılığıyla, belirli bir hücre yoğunluğuna ulaştıklarında çoğalmalarını durdurabilme yeteneğine de sahiptirler (Yörükce 2019).

3.3. Kolonizasyon

Kolonizasyon aşamasında geri dönüşümsüz olarak tutunan bakteri hücreleri, ortamda mevcut besinleri kullanarak çoğalır ve bölünerek mikrokolonileri oluşturur. Mikrokoloniler, bakteri hücrelerinin çoğalmasıyla büyüüp birleşerek yüzeyi kaplarlar (Çelik, 2018). Heterojen biyofilm yapılarında bulunan bakteri türleri kendi arasında bir araya gelerek mikrokoloniler oluştururlar. Ortamda bulunan planktonik mikroorganizmalar da mikrokoloni yapılarına katılarak, yapının daha sağlam olmasına katkıda bulunurlar (Canberi, 2022). Bu süreç boyunca tutunan hücreler aynı zamanda EPS üretir ve bu EPS, yüzeydeki hücrelerin sabitlenmesine yardımcı olurken, aynı zamanda çevreden gelen bozucu etkilere karşı koloniyi korumaktadır (Yıldırım, 2013; Kılıç, 2016).

3.4. Biyofilmin Olgunlaşması

Bu aşamada mikrokoloniler büyür ve olgunlaşırlar. Mikrokoloniler arasında gaz alışverişi ve besin alımının sağlandığı, aynı zamanda metabolik atıkların dışarı atıldığı mikro kanalların olduğu evredir. Mikro kanallar, biyofilme mantar şeklindeki yapılara veya kulelere benzeyen bir görüntü ve 3 boyutlu bir yapı kazandırmaktadır (Garrett, Bhakoo & Zhang, 2008; Abebe, 2020). Bu kanallar, aynı zamanda bakterilerin hücreler arası iletişimini sağlayan quorum sensing moleküllerini de taşımaktadır. Bu quorum sensing sistemi bakterilerin hücre yoğunluğuna göre gen ekspresyonun düzenlenmesini sağlamaktadır (Çelik, 2018). Hücrelerin bu olgun yapıya ulaşabilmesi için genellikle 10 gün veya daha uzun bir süre gerekmektedir (Srey; Jahid & Do Ha, 2013).

3.5. Koparak Ayrılma

Biyofilm oluşumunun son aşamasında, bakteriler biyofilmden koparak ortama dağılmaktadır. Bu kopma olayı dış faktörlere bağlı olabileceği gibi, biyofilm oluşum sürecinin bir parçası olarak da tek veya birçok hücrenin ayrılması şeklinde gerçekleşebilmektedir. İç enzimatik bozulma, artan akış gücü, EPS veya yüzeye bağlayan proteinlerin ortaya çıkması, ortamda besin kaynağının tükenmesi gibi faktörler hücrel kopmaların önemli bir sebebi olabilmektedir (Yörükce, 2019).

4. Et ve Süt Endüstrisinde Biyofilm Oluşturan Mikroorganizmalar

Gıda işletmelerinde biyofilm oluşumu, hem ekipmanların hem de gıdaların kontamine olmasına yol açmaktadır. Gıda teknolojisi açısından biyofilm oluşumu, insan sağlığı üzerinde önemli etkiler yaratır. Gıdalla temas eden yüzeylerde bakterilerin yapışması, gıdaların bozulmasına yol açmakta, ekonomik kayıplara ve hijyen sorunlarına neden olmaktadır. Bu durum, gıda güvenliği ve kalite standartlarının korunmasını zorlaştırarak işletmeler için büyük bir risk oluşturmaktadır (Ataol, 2011).

Gıda endüstrisinde biyofilm oluşturan mikroorganizmalar üretim alanın özelliklerine ve üretim süreçlerine göre farklılık göstermektedir. Süt endüstrisinde genellikle *Lactobacillus* spp., *Streptococcus* spp., *Listeria* spp., *Micrococcus* spp., *Bacillus* spp., *Enterobacter* spp., yaygın olarak biyofilm oluştururken su ürünleri endüstrisinde; *Vibrio cholerae*, *V. parahaemolyticus*, *V. alginolyticus*, *V. vulnificus*, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*, *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., *Aeromonas* türlerine

rastlanmaktadır. Kümes hayvanları endüstrisinde; *Campylobacter* spp., *Salmonella* spp., et ens trisinde *E. coli* O157:H7, *Acinetobacter calcoaceticus*, hazır gıda endüstrisinde ise özellikle *E. coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes* biyofilm oluşturan başlıca mikroorganizmalardır ( nal Turhan & Erginkaya, 2019).

4.1. Süt endüstrisi

Biyofilmler, süt işleme tesislerinde bakteriyel kontaminasyonun başlıca kaynaklarından biridir. Gıda endüstrisindeki ekipmanlar ve su sistemlerinde biyofilm oluşumu, gıdaların bozulmasına ve ekipmanların arızalanmasına yol açarak ciddi ekonomik kayıplara yol açabilmektedir (Kartal, Ekinci & Poyraz, 2021; Kılıç, Karaca & Cihan 2021). Süt endüstrisinde biyofilm bulaŐının en yaygın kaynakları arasında baŐlantı elemanları,  iŐ süt hattı, pastörizatör giriş-çıkıŐ noktaları, süt tankları, depolama tankları, dirsekler, atık su boruları, vanalar, yer döŐemeleri ve contalar yer almaktadır. Biyofilm mekanizması tam olarak aydınlatılmamıŐ olsa da mikroorganizmaların özellikleri, yüzey materyalinin yapısı, iŐletme koşulları ile hijyen ve sanitasyon uygulamaları bu süreçte önemli rol oynamaktadır (Ayhan, 2016).

Süt işletmelerinde genellikle biyofilm oluşumları ultrafiltrasyon membranlarında *E.coli* ve *P. aeruginosa* evaporatörler ile ters-osmoz membranlarında *B. subtilis* ve *B. cereus*, süt transfer hattında *Acinetobacter*, peynir üretimi ve süt pastörizasyonunda ise *S. thermophilus*'un neden olduğu bildirilmiştir (Mucchetti, 1995; Flint & ark., 1997).

Özellikle *Staphylococcus aureus* kaynaklı biyofilm oluşumu, basit genom yapıları sayesinde  vreysel stres koşullarına kolayca

adapte olarak kısa sürede gelişim gösterebilmektedir (Kaya, 2016). *S. aureus* çoğunlukla yüksek nişasta ve protein içeriğine sahip gıda ürünlerinde gelişim gösterir ve özellikle makarna, patates, süt ve et ürünleri ve bunlardan yapılan yiyeceklerde sıklıkla görülmektedir. Stafilokokal zehirlenme durumu genellikle hijyenik koşullarda üretilmeyen ve olumsuz muhafaza koşullarında bekletilen yiyeceklerde tehlike oluşturmaktadır (Yaygın, 1998).

Yapılan araştırmalar, bakterilerin süt işleme sırasında borular içerisinde kısa bir sürede tutunarak biyofilm oluşturabildiklerini göstermektedir. Süt işletmelerinde sağım hattında soğutmaya gönderilen sütün paslanmaz çelik borularda 25°C'deki sütte *Pseudomonas aeruginosa*'nın sadece 30 dk içinde borularda tutunabildiği, soğumadan işleme gönderilen sütün geçtiği 4°C'deki paslanmaz çelik borularda ise bakterilerin 2 saat içinde tutunabildiği tespit edilmiştir. Ayrıca , *Listeria spp.*, 'nin 4°C'deki sadece 20 dakika yüzeylere tutunabildiği saptanmıştır (Duran, 2011).

Gıdalarda biyofilm etkinliğinin araştırıldığı bir çalışmada, süt işletmelerinden toplanan çevresel numunelerden izole edilen *Staphylococcus aureus* suşlarında biyofilm üretme yeteneği ve *icaA* ve *icaD* genleri araştırılmıştır. İzole edilen 42 örnekten 39'u güçlü biyofilm üreticisi olarak sınıflandırılırken, 1 suş orta derecede biyofilm üretebilmiş ve 1 suş ise zayıf biyofilm üretme kapasitesine sahip olurken 1 suşun biyofilm üretme yeteneğinin olmadığı tespit edilmiştir (Kaya, 2016).

Dondurma üretim tesisinde gerçekleştirilen bir çalışmada, üretimden 8 saat sonra dondurma makinesinin taşıyıcı kayışından alınan örneklerde biyofilm tabakasında gram pozitif bakterilerden

Leuconostoc, *Pediococcus* spp., *Streptococcus* gibi laktik asit bakterileri ve *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Listeria* gibi patojenler tespit edilmiştir (Gündüz & Tuncel, 2006).

Akçay & Gündoğan (2019) 'ın yaptığı çalışmada peynir numunelerinden izole edilen *L. paracasei*, *L. plantarum*, *L. brevis* ve *L. fermentum* bakterilerinin biyofilm oluşumuna neden olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada çiğ süttten izole edilen *L. Paracasei*, *L. plantarum*, *L. brevis*, *L. fermentum*, ve *L. zaeae* bakterilerinin biyofilm oluşturduğu ancak *L.amyolyticus*'un biyofilm oluşturmadığı belirtilmiştir.

Süt işletmelerinde, ürün işleme ve ambalajlama süreçlerinde taşıyıcı sistemlere kontamine olan *L. monocytogenes*'in biyofilm oluşturduğu bildirilmiştir. Bu biyofilmin önlenmesinde 10 mg/L konsantrasyonda isotiazolon mikrobisinin etkili olduğu belirtilmiştir (Mittelman, 1998).

Vasudevan ve ark., (2003) 'nın yaptığı araştırmada mastitisli ineklerden elde ettikleri 35 *S. aureus* izolatının, 24 (%68,6)'ünde biyofilm oluşumu tespit edilmiştir. Pastörize süt, çiğ süt ve dondurma numunelerinde çalışan Gündoğan ve ark., (2006)' izole ettikleri *S.aureus*'ların %52,7'sinin biyofilm oluşturduğunu bildirmişlerdir.

4.2. Et endüstrisi

Etin mikrobiyal yükü, hayvanın kesim sırasındaki fizyolojik durumu, kesimhanede gerçekleşen kontaminasyonlar ve dağıtım sürecinde sıcaklık ile muhafaza koşulları gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir ve bozulma oranını büyük ölçüde etkilemektedir (Küçükata & ark., 2024). Özellikle kesme, traşlama, çalkalama,

yıkama, paketlenme ve drenaj sistemlerinin kullanımı gibi üretim süreçlerinde biyofilm oluşumu ile sıklıkla karşılaşmaktadır (Srey; Jahid & Do Ha, 2013; Yanıkan, 2020; Kartal, Ekinci & Poyraz, 2021). Et ürünlerine biyofilm hücrelerinin transferi etin türü, kültür ortamı, hücre yapısı, bağlanma kuvveti ve ekzopolisakkarit üretim düzeyi gibi faktörlerden etkilenmektedir (Küçükata, Yetim & Metin, 2024).

Biyofilmler, üretildiği bakteriyi antibiyotiklere, dezenfektanlara ve çeşitli kimyasallara karşı direnç kazandırarak çeşitli avantaj sağlamaktadır (Kartal, Ekinci & Poyraz, 2021).

Biyofilmlerin et işletmelerinde işleme ve paketlenme aşamalarında önemli kontaminasyonlara yol açtığı ve ürünün raf ömrünü kısaltmaktadır. Bir araştırmada, kesimden hemen sonra karkasların mikroflorası incelenmiş, üretim sürecinin her aşamasından örnekler alınmış ve buzdolabı yüzeyleri ile paketlenme alanlarından bulaşan biyofilm içinde yer alan *E coli* spp. gibi tehlikeli gıda patojenleri tespit edilmiştir (Duran, 2011).

Stafilokokların biyofilm oluşturma yetenekleri sayesinde gıda üretiminde kullanılan ekipmanlara ve tezgah yüzeylerine kolayca tutunmasını sağlayarak çapraz bulaşma yoluyla gıdalara geçişlerine zemin hazırlamaktadır (Kartal, Ekinci & Poyraz, 2021).

Listeria monocytogenes bağışıklık sistemi zayıf bireylerde görülen ve nadir olmasına rağmen ölümcül olabilen listeriosis hastalığına neden olan önemli bir gıda kaynaklı patojendir. Bu bakteri, işleme ekipmanlarının yüzeylerine yapışarak biyofilm oluşturmakta ve bu durum et işleme alanlarından tamamen yok

edilmesini zorlaştırarak kontaminasyon riskini arttırmaktadır (Kartal, Ekinci & Poyraz, 2021).

Et işleme alanlarında yapılan işlemlerde, taşıyıcı bantlarda, nemin biriktiği tavanlarda, özellikle kanallarda ve diğer ıslak bölgelerde *Listeria* spp. tespit edilmiştir. Sosis soyma makineleri, taşıyıcı bantlar, silindirler, bıçaklar, dilimleyiciler ve paketleme ekipmanları, uzun süre ıslak kalan ve temizlenmesi zor olanlar olup, bu yüzeylerde *L. monocytogenes* gibi *Listeria* spp. türleri için uygun barınma alanları oluşturur ve biyofilm gelişimi için uygun ortam sağlamaktadır (Duran, 2021).

Pseudomonas türlerinin, etin yüzeyine en iyi tutunan bakteri türlerinden biridir. Yapılan araştırmalarda, *Acinetobacter* türlerinin ve *P. fluorescens*'in durulama işleminden sonra et yüzeyinde kaldığı, *Lactobacillus* hücrelerinin ise et yüzeyine tutunamadığı belirtilmiştir (Piette & Idziak ,1989).

Balık endüstrisinde biyofilm oluşturma yeteneği olan ve balık enfeksiyonlarına sebep olan mikroorganizmalar incelendiğinde *Listeria*, *Vibrio*, *Aeromona*, *Shigella*, *Salmonella* ve *Bacillus* bakterilerinin yer aldığı gözlenmiştir (Kılıç, 2016).

Balık ve kırmızı etlerde yaygın olarak görülen *P. lundensis*'in düşük sıcaklıklarda bile biyofilm oluşturabildiği bildirilmiştir. Aynı zamanda *P. lundensis*'in ürettiği biyofilmin, patojenik ve bozulma yapan diğer bakterilerin de hayatta kalmasını sağlayarak, bu mikroorganizmaların gelişimlerini desteklediği tespit edilmiştir. (Wickramasinghe & ark., 2019).

Gündoğan ve Ataol (2012) 'un yaptığı çalışmada kıyma örneklerinden izole ettikleri *S. aureus*'ların %50'sinde, koagülaz

negatif stafilokok'ların %18'inde biyofilm oluşumu gözlenirken, tavuk örneklerinden izole ettikleri koagülaz negatif stafilokok'ların %41,5'inde biyofilm oluşumu gözlenmiştir.

Aydın ilinde yapılan bir çalışmada açıkta satışı sunulan tavuk, balık, et-tavuk döner, peynir, tatlı, simit, zeytin, çiğ köfte ve midye tezgahları, gıda yüzey ve gıdaya temas eden cam ve metal yüzeylerinden örnekler alınarak bakteriler tanımlanmış ve biyofilm oluşturma yetenekleri incelenmiştir. Tanımlanan türler *Enterococcus faecalis* strain 2623, *Enterococcus faecium* strain CAU1957, *Enterococcus faecium* strain 4525, *Enterococcus gallinarum* strain CCFM8325, *Staphylococcus epidermidis* strain 3039, *Bacillus cereus* strain TBMAX51, *Citrobacter freundii* strain E2WCTM1, *Pantoea conspicua* strain B6, *Bacillus cereus* strain PJA1.5 bakterileri olup bunların biyofilm oluşturma kabiliyetlerine sahip oldukları saptanmıştır (Onur, 2021).

5. Biyofilm Oluşumunun Önlenmesi ve Korunma

Gıda endüstrisinde biyofilm oluşumu, genellikle temizlik işlemlerinin yetersiz veya eksik olmasından kaynaklanmaktadır (Turhan & Erginkaya, 2018). Bu nedenle, mikroorganizmaların yüzeye tutunmasını engellemek için organik maddeler ortamdan tamamen uzaklaştırılmalı ve etkili dezenfeksiyon yöntemlerinin uygulanması büyük önem taşımaktadır (Köküner, 2013). Biyofilm oluşumunun önlenmesinde ilk ve en önemli adımı hücrelerin yüzeye tutunmalarını engellemek amacıyla düzenli ve etkin temizlik ve dezenfeksiyon işlemlerinin uygulanmasıdır (Turhan & Erginkaya 2018).

Biyofilmdeki hücreler, kendi ürettikleri ve çevresel etkilere karşı kimyasal ve mekanik koruma sağlayan bir matriks içinde yer almaktadır. Bu matriks, biyofilmdeki bakterilerin dezenfektanlara ve kuruma gibi stres faktörlerine karşı korunmasına yardımcı olmaktadır (Karaca, 2018). Biyofilmleri ortadam uzaklaştırmak için kullanılan antimikrobiyal maddelerin, biyofilmi saran EPS matriksine nüfuz ederek mikrobiyal hücrelere geçişi sağlanmalıdır (Turhan & Erginkaya 2019).

Gıdanın temas ettiği yüzeylerde küçük bir miktar besin artığı dahi, birçok mikroorganizmanın bu yüzeylere tutunarak biyofilm oluşmasına neden olabilir. Eğer besin bulaşı bulunan yüzeylerde oluşan biyofilmler temizlenmezse, bu yüzeylerle temas eden gıdaların sürekli olarak kontamine olma riski ortaya çıkar. Bu nedenle, üretim alanı ve ekipmanların hijyenik gereksinimlerine uygun şekilde tasarlanması, kullanılan malzemelerin doğru seçimi ve kullanımı, fiziksel temizlik yöntemlerinin yanı sıra doğru deterjan ve dezenfektanların seçimi gibi önlemlerle, gıda temaslı yüzeylerde biyofilm oluşumunun etkin bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir (Karaca, 2018).

Biyofilm kontrolünde genellikle kimyasal bazlı antimikrobiyal maddeler kullanılmakta, ancak son yıllarda bakteriyosinler, ultrasonikasyon, enzimler ve fajlar gibi yenilikçi kontrol yöntemleri de araştırılmaya başlanmıştır. Yüksek konsantrasyonlarda kullanılan dezenfektanlar, ortamda bulunan hassas mikroorganizmaları belirli ölçüde öldürebilmekte, fakat zamanla antimikrobiyallere karşı dirençli mikroorganizmalar ortaya çıkabilmektedir. Bu durumdan kaynaklı faj uygulamaları bakterileri hedef alarak öldüren, toksik

etkisi olmayan ve oldukça spesifik yöntemler arasında yer almaktadır (Küçükduman & ark., 2021).

HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) ve CIP (Clean-in-Place) sistemleri de biyofilm kontrolünde yaygın olarak kullanılan etkili yöntemlerdir (Kartal, Ekinci & Poyraz, 2021).

Biyofilmin yüzeyden uzaklaştırılması için temizlik sırasında yüzeylere mekanik kuvvet ve fiziksel işlemler de uygulanabilir. Fiziksel temizlik yöntemleri, hijyen sanitasyon süreçlerinde kimyasal maddelerle birlikte ya da tek başına kullanılabilir. Mekanik işlemler arasında temizlik ve yüksek basınçlı temizleme, jel temizleyiciler, otomatik fırçalama yöntemleri, düşük basınçlı temizlik yöntemlerine göre daha etkili sonuçlar vermektedir. Ayrıca, kazıma, ultrasonik temizlik, türbülans, süper yüksek manyetik alan uygulamaları gibi fiziksel temizlik yöntemleri de biyofilm kontrolünde öne çıkan uygulamalardandır (Ayhan, 2016).

6. Sonuç

Sonuç olarak, biyofilmler gıda endüstrisinde önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Mikroorganizmaların yüzeye yapışarak oluşturduğu yapılar hem gıda güvenliği hem ekonomik kayıplar ile halk sağlığı açısından ciddi riskler taşımaktadır. Gıda üretim süreçlerinde biyofilm oluşumunun önlenmesi ve etkili kontrol yöntemlerinin uygulanması, gıda kalitesinin ve güvenliğinin sağlanması için kritik öneme sahiptir. Biyofilmler fiziksel ve kimyasal işlemlere karşı yüksek direnç göstermektedir. Bu nedenle, biyofilm oluşum mekanizmaları daha iyi anlaşılmalı ve temizlik-sanitasyon ile biyolojik yöntemler geliştirilerek endüstriyel hijyen

standartlarının iyileştirilmesiyle biyofilm oluşumu kontrol altına alınabilir ve gıda güvenliği arttırılabilir.

7. Kaynaklar

Abebe, G. M. (2020). The role of bacterial biofilm in antibiotic resistance and food contamination. *International Journal of Microbiology*, 2020(1), 1705814.

Akçay, D., & Gündoğan, N. (2019). Çiğ süt ve peynir örneklerinden izole edilen *Lactobacillus* tür'lerinin slime ve biyofilm oluşumları ile antibiyotik dirençliliklerinin incelenmesi. *In 2019 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies (ISAS)*, 4(1), 634-639.

Altınok, Ö., Gürpınar, Ö., & Eser, Ö. (2018). Bakteriyel biyofilmler. *Tıp Fakültesi Klinikleri Dergisi*, 1(2), 45-51.

Arar, D. (2015). *Bakteriyel biyofilm oluşumu* (Yüksek Lisans Tezi Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Ataol, Ö. (2011). Gıda örneklerinden izole edilen *Staphylococcus*'larda biyofilm oluşumu ve antibiyotik dirençliliğinin araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara).

Aydemir, D. H. (2018). Bakteriyel biyofilmlerin biyolojik önemi ve etkili kontrol stratejileri. *Turkish Journal of Life Sciences*, 3(1), 218-230.

Biçer, M. (2018). Bakteriyel biyofilm oluşumunu engelleyecek moleküllerin sentezi ve anti-biyofilm etkinliklerinin incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum).

Çelik, Ç. E. (2018). *Salmonella typhimurium* biyofilm yapılarında eDNA'nın rolü ve biyofilm ile mücadelede enzim ve

antibiyotik uygulaması yoluyla biyofilm yapılarının zayıflatılması. (Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara).

Donlan, R. M. (2002). Biofilms: microbial life on surfaces. *Emerging Infectious Diseases*, 8(9), 881.

Duran, T. (2011). Midye kabuğu tozunun paslanmaz çelik yüzeylerde oluşan biyofilm temizleme etkisinin araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Turkey).

Evren, M., Apan, M., Şıvgın, E. T., & Yegin, B. (2020). Gıdalarda biyofilmin önemi. *Türkiye 13. Gıda Kongresi*.

Flint, S. H., Bremer, P. J., & Brooks, J. D. (1997). Biofilms in dairy manufacturing plant - description, current concerns and methods of control. *Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research*, 11, 81–97.

Garrett, T. R., Bhakoo, M., & Zhang, Z. (2008). Bacterial adhesion and biofilms on surfaces. *Progress in Natural Science*, 18(9), 1049-1056.

Gün, İ., & Ekinci, F. Y. (2009). Biyofilmler: yüzeylerdeki mikrobiyal yaşam. *Gıda*, 34(3), 165-173.

Gündoğan, N., & Ataol, Ö. (2012). Et örneklerinden izole edilen *Staphylococcus aureus* ve koagülaz negatif stafilokok'ların biyofilm üretimi ve DNaz aktivitelerinin belirlenmesi. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69(3), 135-142.

Gündoğan, N., Çıtak, S., & Turan, E. (2006). Slime production, DNase activity and antibiotic resistance of

Staphylococcus aureus isolated from raw milk, pasteurized milk and ice cream samples. *Food Control*, 17(5), 389-392.

Gündüz, G. T., & Tuncel, G. (2006). Biofilm formation in an ice cream plant. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 89, 329-336.

Kartal, M. O., Ekinci, M. B., & Poyraz, B. (2021). Biyofilm yapısı ve önlenmesi. *Akademik Gıda*, 19(3), 353-363.

Kaya, F. (2016). Süt işletmelerinden izole edilen *Staphylococcus aureus* suşlarında *icaA* ve *icaD* genleri ve biyofilm üretiminin tespiti. (Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya).

Kılıç, T. (2016). Yüksek miktarda biyofilm oluşturan termofilik basillerin çeşitli yüzeylerdeki biyofilm yapılarının analizi ve biyofilmin giderimi ile biyokorozyonun önlenmesi. (Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara).

Kılıç, T., Karaca, B., & Çöleri, Cihan, A. (2021). Abiyotik yüzeylerde termofilik *Anoxybacillus Rupiensis* DSM 17127t suşunun oluşumu ve polistiren yüzeyler üzerindeki biyofilm yapısının giderimi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(2), 455-470.

Küçükata, Y. Ş., Yetim, H., & Metin, B. (2024). Et ve et ürünlerinde *Pseudomonas* biyoçeşitliliği, bozucu özellikleri, biyofilm üretimi ve çoğunluk algılama (Quorum sensing) sistemi. *Gıda*, 49(4), 607-623.

Küçükdoğan, Y., Bayrak, R., Esmer, E., & Başaran, P. (2021). Gıda teknolojilerinde inovatif bir yaklaşım olarak “Bakteriyofajlar”. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 6-16.

Mittelman, M. W. (1998). Structure and functional characteristics of bacterial biofilms in fluid processing operations. *J Dairy Sci*, 81, 2760–2764.

Mucchetti, G. (1995). Biological fouling and biofilm formation on membranes: Fouling and Cleaning in Pressure Driven Membrane Processes. *Brussels, Belgium*.

Onbaşı, D., Çelik, G. Y., & Ökçesiz, A. (2017). Mikrobiyal biyofilmlere karşı yeni antibiyofilm stratejileri ve nanoteknolojik yaklaşımlar. *Sağlık Bilimleri Dergisi*, 26(3), 262-266.

Onur, M. (2021). Aydın İlinde satış tezgahlarında tüketime sunulan gıdalarda biyofilm oluşturan bakterilerin araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Orhan Yanıkan, E. (2020). Et kaynaklı bakterilerin biyofilm oluşturma yeteneklerinin ve antibiyofilm duyarlılıklarının araştırılması. (Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara).

Ölmez, Z. (2009). Süt sanayisinde biyofilm oluşturan mikroorganizmalar ve biyofilm oluşumunun önlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).

Özpinar, N. (2011). Erzincan tulum peynirinden izole edilen *Staphylococcus aureus* izolatlarında antibiyotik direncinin ve biyofilm oluşturma özelliğinin fenotipik ve genotipik olarak belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Veteriner Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, Kayseri).

Piette, J. P., & Idziak, E. S. (1989). New method to study bacterial adhesion to meat. *Applied and Environmental Microbiology*, 55(6), 1531–1536.

Srey, S., Jahid, I. K., & Ha, S. D. (2013). Biofilm formation in food industries: A food safety concern. *Food Control*, 31(2), 572-585.

Şen, Y., Odabaşı, G., & Mutlu, M. (2008). Gıda endüstrisinde kullanılan paslanmaz çelik yüzeylerde plazma polimerizasyon yöntemi ile mikrobiyal tutunmanın engellenmesi. *Türkiye 10. Gıda Kongresi*, Erzurum.

Uyanık, T., Bölükbaş, A., Gücükoğlu, A., & Çadircı, Ö. (2022). Çeşitli gıda örnekleri ve kesimhanelerden izole edilen bazı patojen bakterilerin biyofilm oluşturma yeteneğinin araştırılması. *Journal of Advances in VetBio Science and Techniques*, 7(3), 338-345.

Vasudevan, P., Nair, M. K. M., Annamali, T., & Venkitanarayanan, K. S. (2003). Phenotypic and genotypic characterization of bovine mastitis isolates of *Staphylococcus aureus* for biofilm formation. *Vet Microbiol*, 92, 179-185.

Wickramasinghe, N. N., Ravensdale, J., Coorey, R., Chandry, S. P., & Dykes, G. A. (2019). The predominance of psychrotrophic pseudomonads on aerobically stored chilled red meat. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(5), 1622–1635. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12483>

Yaygın, H. (1998). Gıda ve personel hijyeni. *Basılmamış Ders Notları*, Antalya.

Yıldırım, H. (2013). Çiğ süt ve peynir örneklerinden izole edilen *Listeria* türlerinde biyofilm oluşumunun incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara).

Yörükce, M. A. (2024). Aydın ili çipura ve levrek balığı çiftliklerinde biyofilm oluşturan bakterilerin kültürel, morfolojik, biyokimyasal ve moleküler tanımlanması. (Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın).

BÖLÜM V

Mitokondrilerin Önemi ve Mitokondriyal Beslenme

Seviyenur AKDAL YILMAZ¹
Göknur TERZİ GÜLEL²

Giriş

Mitokondriler ökaryotik hücrelerde bulunan, oksidatif fosforilasyon yoluyla enerji üreten çift membranlı organellerdir (Sendra & ark., 2021). Mitokondriler fonksiyonlarını yitirdiklerinde organlar enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli ATP üretemezler (Zhao & ark., 2022). Bunun sonucu olarak da hücrelerde reaktif oksijen türleri (ROS) birikimi şekillenir. Mitokondriyal disfonksiyon sonucu oluşan ROS hücre bileşenlerine zarar vererek metabolik bozukluklar, nörodejeneratif hastalıklar ve kanser dahil

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Besin Hijyeni ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, Samsun/Türkiye, Orcid: 0009-0000-7717-1287, akdal.seviyenur@gmail.com

² Prof. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Besin Hijyeni ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, Samsun/Türkiye, Orcid: 0000-0002-0011-0440, goknurt@omu.edu.tr

olmak üzere çeşitli hastalıklara neden olur (Tahrir & ark., 2019; Zhang & ark., 2024a).

Mitokondriyal hastalıklar, nükleer DNA (nDNA) veya mitokondriyal DNA'daki (mtDNA) mutasyonlar sonucu meydana gelen heterojen bir hastalık grubudur (Hettiarachchi, Lakmal & Dissanayake, 2022). Bu hastalıklar oksidatif fosforilasyon yoluyla ATP üretimini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen enerji üretim bozukluklarıdır (McKnight & ark., 2021). Nükleer ve mitokondriyal genomlar tarafından kodlanan 300'den fazla gende şekillenen mutasyonların oksidatif fosforilasyon yetersizliğine neden olduğu gösterilmiştir (Frazier & ark., 2020). Mitokondriyal hastalıklar, yaklaşık 4300 vakada 1 prevalans ile insanlarda en sık görülen metabolik bozukluklar arasında yer almaktadır (Gruosso & ark., 2020). Bu hastalıklar her yaşta ortaya çıkabilir. Multi-sistemik veya organa özgü olabilirler (Trifunov & ark., 2021).

Mitokondriyal beslenme antiinflamatuvar, düşük glisemik indeksli, glutensiz, az tahıllı ve yüksek kaliteli yağ içeren bir beslenme yaklaşımıdır (Hank & ark., 2018). Mitokondrilerin sağlıklı çalışabilmesi ve fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için bazı vitaminlere (B vitaminleri, E vitamini vb.), minerallere (bakır, çinko, demir vb.) ve enzimlere ihtiyaç duyulmaktadır (Vasam & ark., 2019). Bunların yanı sıra mitokondriyal fonksiyon bozukluklarının önlenmesinde polifenoller arasında resveratrol, epigallokateşin gallat, kurkumin ve kuersetin önemli yer tutmaktadır (Maruthiyodan, Mumbrekar & Guruprasad, 2024).

Mitokondri

Mitokondriler yaklaşık 0,5-1 µm çapında, 7 µm uzunluğunda, küre, çubuk veya ipliksi görünümde hücrenin enerji üretiminde görevli çift membranlı organellerdir. Her ökaryotik hücre yüzlerce hatta binlerce mitokondri içermektedir (Barrett & ark., 2012; Krauss, 2001). Mitokondrilerin asıl görevi enerji (ATP) üretimi olup bunun yanı sıra enerji metabolizması, serbest radikal üretimi, kalsiyum homeostazı, hücrenin hayatta kalması ve ölümü gibi çeşitli süreçlerden de sorumludurlar (Bhatti, Bhatti & Reddy, 2017). Mitokondriler hücrenin enerji ihtiyacının çoğunu ürettikleri için “hücrel enerji santralleri” olarak adlandırılırlar (Brault, Lévy & Bartosch, 2013).

İnsanlarda hücre başına 1000’den fazla mitokondri bulunur. Bir hücrenin içerdiği tüm mitokondrilere “kondrom” adı verilir (Habane & ark., 2021). İnsan karaciğerinde her hepatik hücre yaklaşık 1000-2000 mitokondri içerir (Suzuki, Nagao & Suzuki, 2011). Yalnızca olgun kırmızı kan hücreleri mitokondri içermezler (Zamani, 2013). Mitokondriler sitoplazmanın her yerinde bulunabilir. Hücrelerdeki toplam mitokondri sayısı hücrenin enerji ihtiyacına göre değişmektedir. Yüksek enerji metabolizmasına sahip hücrelerde (kalp kası ve böbrek tübüllerindeki hücreler) bol miktarda mitokondri bulunurken, düşük enerji metabolizmasına sahip hücrelerde (yağ hücreleri) az miktarda mitokondri bulunur (Mescher, 2016).

Mitokondriler hücre metabolizması, sağkalımı, farklılaşması ve homeostazında büyük öneme sahiptir (Cha & ark., 2012). Çoğu ökaryotik hücrede sitoplazma hacminin %25’ini mitokondri

oluşturmaktadır (Lodish & ark., 2003). Mitokondrilerin enerji üretimi yanı sıra hem biyosentezi, demir-kükürt (Fe-S) kümelerinin sentezi, steroid sentezi, yağ asitlerinin metabolizması, hücrel redoksun düzenlenmesi, kalsiyum homeostazı, amino asit metabolizması, karbonhidrat metabolizması, protein katabolizması ve apoptoz (programlı hücre ölümü) gibi birçok metabolik fonksiyonu bulunmaktadır (Goodman, 2008). Mitokondriler ayrıca amino asit, nükleobaz (nükleotit bazları), lipit ve kofaktör biyosentezinde de rol oynarlar (Fontanesi, 2015). Mitokondriler proteinlerinin %10'unu kendileri sentezleyebildiği için "yarı-özerk organeller" olarak kabul edilirler (Bajpai, 2021).

Mitokondriler dış membran, iç membran, membranlar arası boşluk ve mitokondriyal matriks olmak üzere dört kısımdan oluşur (Barrett & ark., 2012). Membranların her biri 6 nm kalınlığında olup fosfolipit çift katmanından oluşur. Membranlar arasındaki alan membranlar arası boşluk olarak adlandırılır (Kiefel, Gilson & Beech, 2006; Krauss, 2001). Membranlar arası boşluk hücre sitoplazması ile aynı bileşime sahiptir. Membranlar arası boşlukta elektron taşınması ve apoptozda kritik bir rol oynayan "sitokrom c" dahil olmak üzere bir dizi protein yer almaktadır (Bajpai, 2021; Goodman, 2008).

Tarihçe

Mitokondrilerin varlığı bir milyar yıl öncesine dayanmakla birlikte hücrelerde gerçek anlamda tanımlanmaları 19. yüzyılın ortalarına dayanmaktadır (Allen, van der Giezen & Allen, 2007). Mitokondrilerin hücre içi yapılarına ilişkin bilgiler 1840'lara uzanmaktadır (Ernster & Schatz, 1981). 1841'de Alman hekim Jakob Henle, miyositlerdeki miyofibrilleri çevreleyen bazı granüller

tanımlamıştır. 1857’de İsviçreli anatomist Albert von Kölliker, ilk kez mitokondriyi çizgili kaslardaki granüler yapılar olarak gözlemlemiştir. 1888’de İspanyol patolog Santiago Ramón y Cajal, bu granülleri miyofibriler I bandında gözlemlemiştir. 1890’da İsveçli hekim Gustaf Retzius, bu granüllere “sarkozom” adını vermiştir (Zorov & ark., 2014). Aynı yıl Alman patolog Richard Altmann ise mitokondrilerin her yerde bulunmasına dikkat çekerek “biyoblastlar” (hücre boyunca mikroskobik olarak gözlemlenebilen granüller) adını vermiştir. 1898’de Alman mikrobiyolog Carl Benda, spermatogenez sırasında ortaya çıkan bu yapılara Yunanca “mitos” (iplik) ve “chondros” (granül) kelimelerinden oluşan “mitokondri” adını vermiştir (Allen, van der Giezen & Allen, 2007). 1937’de Alman biyokimyacı Hans Adolf Krebs, ilk kez TCA döngüsünü keşfetmiştir. 1958’de Melvin V. Simpson ve arkadaşları, mitokondrinin protein sentezlediğini bildirmişlerdir. 1962’de İsveçli endokrinolog Rolf Luft ve arkadaşları, ilk mitokondriyal hastalığı tiroid dışı hipermetabolizma vakasında keşfetmişlerdir. 1980’de S. Anderson ve arkadaşları, bir insan mtDNA dizisini tamamlamışlardır (Zhang & ark., 2012).

Mitokondriyal Oksidatif Stres

Mitokondriyal Reaktif Oksijen Türleri (mtROS)

İnsanlarda oksijenin %90’ından fazlası mitokondriler tarafından tüketilmektedir (Kong, Trabucco & Zhang, 2014). Mitokondriler tarafından tüketilen oksijenin yaklaşık %1-5’i fizyolojik koşullar altında reaktif oksijen türlerine (ROS) dönüşmektedir (Kang & Hamasaki, 2003). ROS üretiminden temel olarak mitokondrideki solunum zinciri sorumludur. Solunum

zincirindeki başlıca ROS kaynakları; kompleks I (NADH: ubikinon oksidoredüktaz) ve kompleks III (ubikinol: sitokrom c oksidoredüktaz)'tür. Buna ek olarak bazı mitokondriyal lokalizasyon proteinleri [p66Shc, monoamin oksidazlar (MAOs) ve NADPH oksidaz 4 (NOX4)] de mitokondriyal ROS (mtROS) üretimine katkıda bulunmaktadır (Peoples & ark., 2019).

Reaktif oksijen türleri; mitokondriyal solunumun yan ürünleri olup süperoksit anyonu (O_2^-), hidroksil radikali ($\cdot OH$) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) gibi bir dizi farklı kimyasal elementlerden oluşan oldukça reaktif moleküllerdir (Cui, Kong & Zhang, 2012). ROS'un hücrelerde birikmesi DNA, karbonhidrat, protein ve lipit gibi hücre bileşenlerine zarar vererek yaşlanmanın hızlanması ve hücre ölümüne yol açmaktadır (Tahrir & ark., 2019). Antioksidanlar oksidatif stresin hücrelere zarar vermesini önlemede ROS'u düzenleyici görev alırlar (Chávez & Tse, 2021).

MtROS'un Doğal Eliminasyonu

ROS türlerinin temizlenmesinde enzimatik veya enzimatik olmayan antioksidanların etkili olduğu çeşitli mekanizmalar görev almaktadır (Moloney & Cotter, 2018). Vücudun ilk savunma hattı olan antioksidan enzimler temel olarak lipit hidroperoksitler ve H_2O_2 'nin seviyesini azaltırlar (Malik, Azam & Basra, 2020). Enzimatik tepkiye öncelikle süperoksit dismutazlar (SOD), katalazlar (CAT), tiyoredoksin redüktazlar (TrxR) veya glutatyon peroksidazlar (GPx) aracılık eder (Valera-Alberni & Canto, 2018). Enzimatik olmayan antioksidanlar ise doğrudan ROS ile etkileşime girerek veya dolaylı olarak metalleri şelatlayarak oksidatif hasarı önlerler. Bu antioksidanlar arasında askorbik asit (C vitamini), α -

tokoferol (E vitamini), glutatyon (GSH), karotenoidler, flavonoidler ve diğerk antioksidanlar yer almaktadır (Engwa, 2018).

Oksidatif Stres

Oksidatif stres, artan ROS üretiminin neden olduğu oksidasyonun etkisinin antioksidan savunma kapasitesini aştığı dengesiz bir redoks durumu olarak tanımlanır. Yani ROS'un üretimi ile eliminasyon süreci arasındaki bir dengesizlik durumudur (Ikawa, Okazawa & Yoneda, 2021; Wang & ark., 2020). Bu dengesizliğin nedenleri arasında i) ROS üretimi ile birlikte otooksidasyona giren endojen ve eksojen bileşiklerin seviyesinin artması, ii) düşük moleküler kütleli antioksidan rezervlerinin tükenmesi, iii) antioksidan enzimlerin inaktivasyonu, iv) antioksidan enzimler ve düşük moleküler kütleli antioksidanların üretimini azalması ve v) bu faktörlerden iki veya daha fazlasının kombinasyonları yer almaktadır (Lushchak, 2014).

Antioksidan savunmalar baskılandığında oluşan oksidatif stres mitokondri, lipitler, proteinler ve nükleik asitlere önemli derecede hasar verir (Galley, 2011). Uzun süre oksidatif strese maruz kalınması sonucu şekillenen kronik inflamatuvar süreçler organizmada oksidatif stresi şiddetlendirir ve ROS üretimini artırır (Kowalczyk & ark., 2021). Bugüne kadar oksidatif stresin parkinson hastalığı, alzheimer hastalığı, ateroskleroz, kanser, majör depresyon, diyabetik nefropati, gebelikle ilişkili hastalıklar, böbrek hastalığı ve kardiyovasküler hastalık gibi çok sayıda hastalıkta rol oynadığı kanıtlanmıştır (Yu, Gao & Zhou, 2020).

Mitokondriyal Disfonksiyon

Mitokondriyal disfonksiyon, mitokondrinin yeterli düzeyde ATP üretememesi ve sürdürmemesi olayıdır (de Mello & ark., 2018). Mitokondriyal veya nükleer DNA tarafından kodlanan genlerde meydana gelen mutasyonlar mitokondriyal fonksiyonları bozarak yetersiz ATP ve aşırı ROS üretimine neden olurlar (Maresca & ark., 2020; Suárez-Rivero & ark., 2022). Mitokondriyal disfonksiyon, mitokondri matriksinde kalsiyum (Ca^{+2}) iyonları birikimi ve mitokondriyal geçirgenlik geçiş gözeneginin (mPTP) açılmasına neden olur. Bu durum sitokrom c'nin hücre sitoplazmasına sızmasıyla sonuçlanarak apoptoz (programlı hücre ölümü) ve mitofajiyi (mitokondriyal otofaji) uyarır (Alshial & ark., 2023).

Mitokondriyal yapının hasar görmesi sonucu solunum zinciri kusurları, biyojenik fonksiyon bozukluğu, gen hasarı, mitokondri sayısının azalması ve hücre ve dokulardaki oksidatif protein aktivitesinde değişiklikler şekillenir (Li & ark., 2020). Fonksiyonunu yitirmiş mitokondriler, sinir sistemi, iskelet ve kalp kasları, böbrekler, karaciğer ve endokrin sistemler gibi yüksek enerji ihtiyacı olan organların enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli ATP üretemezler (Zhao & ark., 2022). Bunun sonucu olarak da nörodejeneratif hastalıklar, kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve metabolik sendrom, otoimmün hastalıklar, nörodavranışsal ve psikiyatrik hastalıklar, gastrointestinal bozukluklar, kronik yorgunluk sendromu ve kanser gibi çeşitli hastalıklar şekillenir (Nicolson, 2014).

1-Nörodejeneratif Hastalıklar

Nörodejeneratif hastalıklar nöronların kaybına bağılı olarak motor ve bilişsel yeteneklerde meydana gelen ilerleyici bozulmalardır (Mishra & Kaundal, 2023). Nöronların fonksiyonları sürdürebilmesi mitokondriyal fonksiyonlara bağımlıdır. Nörodejeneratif hastalıklar sahip oldukları farklı klinik ve patolojik özelliklerin yanı sıra yanlış katlanmış veya kümelenmiş proteinlerin varlığı, nöroinflamasyon, otofajinin bozulması, oksidatif stres ve mitokondriyal anomaliler gibi ortak kritik süreçlere sahiptirler (Franco-Iborra, Vila & Perier, 2018). Mitokondriyal fonksiyon bozuklukları sonucu meydana gelen nörodejeneratif bozukluklar başlıca huntington hastalığı, parkinson hastalığı, amyotrofik lateral skleroz, epilepsi, şizofreni, multipl skleroz, nöropatik ağrı ve alzheimer hastalığı gibi yaşlanma ile bağlantılı hastalıkların şekillenmesi ve ilerlemesinde önemli bir risk faktörüdür (Wu, Chen & Jiang, 2019).

2-Kardiyovasküler Hastalıklar

Mitokondriler kalp hücre hacminin %40'ını oluştururlar ve kalp için gereken enerjinin de %90'ını üretirler. Bu nedenle kardiyomiyositlerde önemli rol oynarlar (Yue & ark., 2018). Kardiyak mitokondriler tarafından her gün yaklaşık 6 kg ATP üretilir (Yang & ark., 2022). Mitokondriyal fonksiyon bozuklukları miyokard enfarktüsü, kardiyomiyopatiler, aritmiler, hipertansiyon ve ateroskleroz dahil olmak üzere çoklu kardiyovasküler bozukluklara yol açabilmektedir (Bonora & ark., 2019). Mitokondriyal DNA'da şekillenen mutasyonlar mitokondriyal homeostazı bozar ve oksidatif stres oluşumuna neden olur. ROS

seviyesindeki artış da oksidatif fosforilasyonu bozarak enerji metabolizmasına zarar verebilir (Liu & ark., 2022).

3-Metabolik Hastalıklar

Metabolik hastalıklar; hiperglisemi, yağlı karaciğer, abdominal obezite, insülin direnci ve dislipidemi gibi hastalıklarla karakterize bir grup bozukluktur (Duan & ark., 2022). Tip II diyabet ve obezite dahil olmak üzere metabolik hastalıklar oksidatif fosforilasyonda yer alan gen ekspresyonunun değişmesiyle yakından ilişkilidir (Yi, Chang & Shong, 2018). Hasarlı veya fonksiyonunu yitirmiş mitokondriler obezite ve diyabet dahil pek çok karmaşık hastalıklara yol açabilir (Wang, Hu & Zhou, 2021). Mitokondriyal fonksiyon bozuklukları yıllar geçtikçe kalıtsal insan hastalıklarıyla ilişkilendirilmeye başlanmış ve metabolik sendrom, diyabet ve obezite gibi metabolik dengesizliklerle karakterize hastalıklarla bağlantılı hale gelmiştir (Bergamini, Bonora & Moruzzi, 2023).

4-Otoimmün Hastalıklar

Otoimmün hastalıklar, konakçının bağışıklık sisteminin kendi dokularına hasar vererek oluşturduğu patolojik bir durumdur (Bonam & Muller, 2020). Fonksiyonunu yitirmiş mitokondriler genetik materyallerini (RNA ve DNA) hücre içi ve hücre dışı ortama salarlar. Bağışıklık hücreleri bu genetik materyalleri kendinden olmayan moleküller olarak tanır ve bağışıklık sistemini tip I interferon (IFN-I) üretmesi için tetikler (Koppala & Guruprasad, 2023). Bu durumda mitokondriler tehlike ilişkili moleküler kalıplar (DAMPs) yoluyla bağışıklık tepkisini aktive ederler (Lu & ark., 2023). Mitokondriyal fonksiyon bozukluğu sonucu kronik inflamasyon, immün yetmezlik sendromları, sistemik lupus

eritematozus, romatoid artrit, multipl skleroz ve tip I diyabet gibi çeşitli otoimmün hastalıklar şekillenir (Bassemer & Hookre, 2023; Zhao & ark., 2019).

5-Nörodavranışsal ve Psikiyatrik Hastalıklar

Beyin vücut kütlelerinin yaklaşık %3'ünü oluşturur ve en yüksek enerji tüketimine sahip bir organdır. Vücuttaki oksijenin yaklaşık %20'si, glikozun da %25'i beyinde kullanılır (Filiou & Sandi, 2019). Mitokondriyal fonksiyonlarda meydana gelen bozuluklar beyin enerji tüketimini olumsuz etkileyerek psikiyatrik bozukluklara karşı duyarlılığı arttırmaktadır (Lupták & Hroudová, 2019). Yapılan çalışmalarda beyinde hücrelere enerji sağlayan bozulmuş glikoz metabolizmasının şizofreni, majör depresif bozukluk ve bipolar bozukluklara neden olduğu gösterilmiştir (Bryll & ark., 2020; Ni, Ma & Chung, 2024; Park, Choi & Leem, 2021). Psikiyatrik hastalıklar içinde yer alan depresyon, anksiyete, bipolar bozukluk, travma sonrası stres bozuklukları, bağımlılık ve şizofreni gibi mental hastalıklar farklı klinik belirtilere sahip olmalarına karşın inflamatuvar sitokin sinyal değişikliği, mikroglial aktivasyon, artan oksidatif stres, kan-beyin bariyerinin bozulması, mitokondriyal fonksiyon bozukluğu ve enerji yetersizliği gibi ortak biyolojik değişiklikler gösterirler (Casaril, 2022).

6-Gastrointestinal Sistem Hastalıkları

Mitokondriler, bağırsak epitel hücrelerinin bariyer savunması dahil olmak üzere pek çok bağırsak fonksiyonunu kontrol ederler (Ballard & Towarnicki, 2020). Mitokondriyal fonksiyon bozuklukları, enterositlerin normal işleyişini bozarak ve mitokondriyal ROS'ta (mtROS) artışa yol açarak bağırsak

hastalıklarının gelişimine neden olmaktadır (Hoang, Brooks & Edwards, 2024; Wierzchanowska & ark., 2022). Kolorektal ve gastrik kanserler, inflamatuvar bağırsak hastalığı (IBD) ve peptik ülserler gibi çeşitli gastrointestinal sistem hastalıklarının patogeneğinde oksidatif stresin yer aldığı vurgulanmaktadır (Vona & ark., 2021).

7-Körfez Savaşı Hastalığı (GWI)

Körfez Savaşı Hastalığı (GWI); 1991 yılında Körfez Savaşı sırasında havaya salınan çeşitli sinir ajanları, sarin gazı, organofosfatlar, karbamatlar, piridostigmin bromür ve permetrin gibi nörotoksik kimyasalların neden olduğu multi-sistemik semptomlarla karakterize bir hastalıktır (Nizamutdinov & ark., 2018). Hastalıktan etkilenen kişilerin %25-32'sinde kronik ağrı, yorgunluk, bilişsel bozukluklar ve gastrointestinal sistem bozuklukları tespit edilmiştir (Clarke & ark., 2019). Çoklu toksik maddelere uzun süre maruz kalan kişilerin mitokondriyal DNA'ları incelendiğinde oksidatif stres sonucu önemli hasar şekillendiği bildirilmiştir (Chen & ark., 2017; Holodniy & Kaiser, 2019).

8-Kas-İskelet Sistemi Hastalıkları

İskelet kası; egzersiz, iç organların korunması, sistemik metabolizma ve termoregülasyonda rol oynayan insan vücudunun önemli bir organıdır. İskelet kası atrofisi kasların kullanılmaması veya çeşitli nörolojik nedenlerle şekillenir ve iskelet kası kütlesinde azalma, mitokondriyal fonksiyon bozukluğu ve kas lifinde bozulmalara neden olur (Zhang & ark., 2023a). Mitokondriyal fonksiyon bozuklukları; mitokondriyal ROS üretiminde artış, oksidatif fosforilasyon ve ATP üretiminin azalması ve

mitokondriyal hasar yoluyla iskelet kası kaybına neden olur (Hyatt & Powers, 2021).

9-Kanser

Mitokondriyal DNA’larda şekillenen mutasyonlar, hücresel enerji metabolizmasını değiştirerek kolon, prostat ve meme kanseri dahil olmak üzere bir dizi karsinogenez ve tümör gelişimine neden olur (Bao & ark, 2021; Rout & ark., 2022). Kanser hücreleri enerjilerini aerobik koşullarda glikolizden üretirler (Wang, Tseng & Lee, 2023). Mitokondriler kanser hücrelerinin bir özelliği olan hızlı çoğalma ve gelişmeyi sağlamak için protein, nükleotit ve lipitleri istikrarlı bir şekilde tedarik ederler. Kanserde mitokondriyal DNA’da şekillenen mutasyonlar, mitokondriyal-nükleer etkileşim, oksidatif hasar, hücre apoptozu, otofaji ve kalsiyum fazlalığı dahil birçok mitokondriyal özellik ATP üretimi için oksidatif fosforilasyon ve glikolizi dengelemek üzere değişmektedir (Al-Faze & ark., 2024).

10-Koronavirüs Hastalığı 2019 (COVID-19)

Koronavirüs hastalığı (COVID-19), şiddetli akut solunum sendromu-koronavirüs-2 (SARS-CoV-2) olarak bilinen yeni bir koronavirüs türünün neden olduğu karmaşık bir solunum yolu hastalığıdır (Fernández-Ayala, Navas & López-Lluch, 2020). İlk kez aralık 2019’da tespit edilmiştir (Chen, Kelley & Goldstein, 2020). Genellikle akut pulmoner inflamasyonu takip eden grip benzeri semptomlarla karakterizedir (Alfarouk & ark., 2021). Yapılan çalışmalar SARS-CoV-2 enfeksiyonlarının çeşitli mitokondriyal fonksiyon bozukluklarına (azalmış oksidatif fosforilasyon, değişmiş mitokondriyal altyapı, azalmış proton sızıntısı ve artmış

mitokondriyal ROS gibi) neden olduğunu ve nükleer ve mitokondriyal DNA tarafından kodlanan mitokondriyal oksidatif fosforilasyon genlerinin transkripsiyonunu güçlü bir şekilde inhibe ettiğini göstermiştir (Dirajlal-Fargo & ark., 2024; Guarnieri & ark., 2024).

Mitokondriyal Beslenme (Mito-Beslenme)

Fonksiyonel Tıp Enstitüsü'ne (IFM) göre mitokondriyal beslenme; antiinflamatuvar, düşük glisemik indeksli, glutensiz, az tahıllı ve yüksek kaliteli yağ içeren bir beslenme yaklaşımıdır. Bu beslenme yaklaşımı enerji üretimini arttıran terapötik (tedavi edici) gıdaların kullanımı yoluyla sağlıklı mitokondriler üretmeyi hedefler. Başta detoksifikasyon için gerekli temel vitaminler, antioksidanlar ve diyet lifleri olmak üzere mitokondriyal fonksiyonu arttıran gıdaların alımı kronik nörolojik hastalıkların gelişimini önler (Hank & ark., 2018; IFM, 2016).

Bir diyetin besleyici bileşiminin mitokondriyal sağlık üzerinde önemli bir rolü vardır. Mitokondriyi oksidatif hasardan koruyan ve mitokondriyal fonksiyonu iyileştiren gıdalar “mitokondriyal besinler” olarak adlandırılır. Organizmadaki temel hücrel fonksiyonların ve süreçlerin gerçekleşmesinde gerekli enerji (ATP) besin substratlarından (karbonhidrat, yağ ve protein) sağlanır (Vasam & ark., 2019). Aşırı miktarda gıda tüketimi serbest radikallerin oluşumunu artırır. Az miktarda gıda tüketimi ise mitokondriyal reaktif oksijen türlerinin üretimini azaltarak mitokondriyal biyogenez (yeni mitokondri üretimi) ve otofajiyi uyarır. Bu nedenle yeterli ve dengeli iyi bir diyet mitokondriyal hasara karşı koruyucudur (Hepple, 2009; Schmidt, 2010).

Mitokondriyal Beslenmenin Prensipleri

1-Sağlıklı ve Dengeli Beslenme

Sağlıklı ve dengeli beslenme; vücudun işlevlerini yerine getirebilmesi ve optimal sağlığa ulaşabilmesi için ihtiyaç duyduğu enerji ve temel besin öğelerini içeren gıdaların alındığı bir beslenme şeklidir (Coufopoulos & Mooney, 2012). Mitokondriyal beslenmenin temelinde sağlıklı yağlar, yeterli ve dengeli protein ve fitobesinleri içeren besinler yer almaktadır. Mitokondriyal beslenmede yağ yakımı, kas gelişimi ve sağlıklı kan şekeri dengesini sağlamak için doğru miktarda protein, yağ ve karbonhidratların tüketilmesi gereklidir (IFM, 2016). Buna göre günlük diyet enerjisinin %60'ı sağlıklı yağlar, %20'si proteinler ve %20'si kompleks karbonhidratlardan sağlanmalıdır (Hank & ark., 2018).

2-Enerji Üretimi İçin Terapötik Gıdaların Tüketimi

Mitokondriyal terapötik gıdalar, mitokondriyal fonksiyonu düzenleyen ve oksidatif fosforilasyon bozukluklarını tedavi edici etkileri olan gıdalardır. Mitokondriyal enerji üretimi protein, yağ ve karbonhidratlar gibi makrobesinler ile B vitaminleri, koenzim Q10 ve alfa-lipoik asit gibi diyet antioksidanlarının yeterli miktarda tüketimine bağlıdır (Vasam & ark., 2019). Mitokondriyal enerji üretimini destekleyen terapötik gıdalar arasında badem, avokado, otla beslenmiş manda/sığır eti, yaban mersini (tüm berry grubu), brokoli (tüm turpgiller), organik Hindistan cevizi yağı, yeşil çay, sızma zeytinyağı, nar, vahşi Alaska somonu, deniz yosunu ve ıspanak yer almaktadır (IFM, 2016) (Tablo 1).

Tablo 1: Terapötik gıdaların özellikleri

	Enerji Üretimi İçin Terapötik Gıdalar	Koruyucu Anti-oksidanlar	Anti-inflamatuarlar	Yüksek Kaliteli Diyet Yağları	Aralıklı Oruç ve Kalori Kısıtlaması	Düşük Karbonhidratlı Ketojenik Seçenekler	Düşük Glisemik Etki	Az Tahıllı ve Glutensiz
Badem	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Avokado	✓	✓		✓		✓	✓	✓
Manda/sığır eti	✓			✓		✓	✓	✓
Yaban mersini	✓	✓			✓	✓		✓
Brokoli	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Hindistan cevizi yağı	✓	✓		✓		✓	✓	✓
Yeşil çay	✓	✓			✓	✓	✓	✓
Zeytinyağı	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Nar	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Somon	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Deniz yosunu	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Ispanak	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓

Kaynak: (IFM, 2016)

3-Koruyucu Antioksidanların Tüketimi

Antioksidanlar, vücudu serbest radikallerin neden olduğu hasarlardan koruyan maddelerdir. Antioksidanlar serbest radikallerle etkileşime girerek onları dengeler ve böylece serbest radikal kaynaklı hasarı önler (Rani & Ritu, 2023). Mitokondriyal beslenmede B, C, E vitaminleri, oleik asit, selenyum, çinko, kateşinler, resveratrol, likopen ve allisin gibi antioksidanlarca zengin gıdaların tüketilmesi önerilmektedir. Antioksidan gıdalar arasında zeytinyağı, kuru yemişler, süt ürünleri, yumurta, balık, et, yeşil yapraklı sebzeler, turunçgiller, kivi, yeşil çay, çilek, kayısı, üzüm, elma, yaban mersini, domates, karpuz, kırmızı greyfurt ve sarımsak yer almaktadır (García-García & ark., 2020).

4-Antiinflamatuvar Besinlerin Tüketimi

Antiinflamatuvar diyet; C ve E vitaminleri, omega-3 yağ asitleri, çinko, polifenoller ve diyet lifi gibi temel besin maddeleri açısından zengin gıdalardan oluşmaktadır. Bu gıdalar arasında somon ve uskumru gibi yağlı balıklar, keten/chia tohumu gibi yağlı tohumlar, ceviz ve badem gibi kuru yemişler, sızma zeytinyağı, avokado, turunçgiller, berry grubu meyveler, ıspanak ve kale gibi sebzeler, zerdeçal, zencefil, fermente gıdalar, tam tahıllar ve baklagiller yer almaktadır (Yu, Pu & Voss, 2024). Mitokondriyal beslenmede, her gün 8-12 porsiyon renkli sebze ve meyve tüketimi, antiinflamatuvar fitobesin, mineral ve vitaminlerin yeterli bir şekilde alınması gerekmektedir. Güçlü antiinflamatuvar etkisi olan sebzeler (brokoli, su teresi, roka gibi) tüketilmelidir. Yaban mersini, çilek ve ceviz gibi terapötik gıdalarda bulunan polifenollerin bilişsel işlevi arttırdığı ve inflamasyonu azalttığı bildirilmiştir (IFM, 2016).

5-Yüksek Kaliteli Diyet Yağlarının Tüketimi

ATP üretimi için önemli bir kaynak olan yağlar yüksek enerjili bileşiklerdir. Yağlar, içeriğindeki trigliseritler sayesinde yağ asitleri ve gliserole hidrolize olur. Yağ asitleri, ATP üretmek için β -oksidasyona uğrar (Vasam & ark., 2019). Omega-3 yağ asitlerinin eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA) formu, mitokondriyal biyogenez ve yağ asitlerinin oksidasyonunu uyararak yağ hücrelerinin oksidatif metabolizmasını destekler (Martínez-Fernández & ark., 2015). Besin değeri yoğun, yüksek kaliteli gıdalar tüketildiğinde hücrel enerji üretimi artar. Bu nedenle mitokondriyal beslenmede yüksek kaliteli yağ tüketimi önerilmektedir (IFM, 2016).

6-Aralıklı Oruç (IF) ve Kalori Kısıtlaması

Aralıklı oruç (IF); bireyin uzun süreli açlık (yaklaşık 16-48 saat) ve dönüşümlü olarak normal gıda tüketimi yaptığı dönemlerini içeren bir diyetdir (Lettieri-Barbato & ark., 2018). Yağ asiti oksidasyonunu kolaylaştırır, mitokondriyal fonksiyonu artırır, oksidatif stresi azaltır, otofajiyi teşvik eder ve apoptozu inhibe eder (Zhang & ark., 2024b). Mitokondriyal beslenmede, akşam yemeği ile sabah kahvaltısı arasındaki sürenin uzatılması veya haftada bir gün kalori alımının 600 kaloriye düşürülmesi şeklinde periyodik aralıklı oruç diyeti önerilir (IFM, 2016). Kalori kısıtlaması, yetersiz beslenmeye neden olmadan kalori alımının %20-50 oranında azaltılmasıdır. Serbest radikallerin oluşumu ve oksidatif hasarı azaltarak mitokondriyal yapı ve fonksiyonu korur (Xie & ark., 2020).

7-Düşük Karbonhidratlı Ketojenik Seçenekler

Ketojenik diyet; düşük karbonhidrat (%5), orta düzeyde protein (%20) ve yüksek yağ (%75) içeren bir beslenme şeklidir. Makrobesin oranlarındaki bu değişim, vücudun birincil enerji kaynağı olarak glikoz yerine asetoasetat, β -hidroksibütirat ve aseton gibi keton cisimleri kullanmasına neden olur (Chung, 2023). β -Hidroksibütiratın reaktif oksijen türlerinin üretimini azalttığı ve mitokondriyal solunumu iyileştirdiği gösterilmiştir (Pinto & ark., 2018). Ketojenik diyet; mitokondriyal fonksiyonları iyileştirir, inflamatuvar mediyatörleri inhibe eder, oksidatif stresi azaltır ve nöroprotektif etki gösterir (Dragan & ark., 2020). Bu nedenle mitokondriyal ve nörolojik fonksiyonları iyileştirmek için hafif ketojenik bir beslenme önerilmektedir (IFM, 2016).

8-Düşük Glisemik İndeksli Gıdaların Tüketimi

Düşük glisemik indeksli gıdalar; kan şekerini yavaş bir şekilde yükselten ve insülin direncini azaltan gıdalardır (Björck, Liljeberg & Östman, 2000). Bu gıdalar arasında mercimek, nohut ve barbunya gibi baklagiller, brokoli, karnabahar ve ıspanak gibi nişastasız sebzeler, kinoa ve yulaf gibi tam tahıllar, çilek, yaban mersini ve ahududu gibi berry grubu meyveler, yağsız süt ve yoğurt gibi süt ürünleri, kuru yemişler ve yağlı tohumlar yer almaktadır (Saidaiyah & ark., 2024). Diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, obezite ve metabolik sendrom gibi metabolik hastalıklar halk sağlığı açısından önemli bir sorundur. Bu hastalıklarda insülin sekresyonu, glikoz kullanımı, termogenez, mitokondriyal fonksiyon ve otofajide bozukluklar görülür. Bu nedenle çeşitli metabolik hastalıkların

önlenmesinde düşük glisemik indeksli gıdaların tüketimi önem taşımaktadır (Ni & ark., 2022).

9-Az Tahıllı ve Glutensiz Beslenme

Gluten; buğday, arpa, çavdar ve yulaf gibi birçok farklı tahılda bulunan bir proteindir. Gluten içeren tahıllar, bağırsak geçirgenliğini artırır, proinflamatuvar bağışıklık tepkisini aktive eder, kronik inflamasyonu tetikler ve çeşitli otoimmün hastalıklara neden olur (Lerner, Benzvi & Vojdani, 2024). Bu sebeple mitokondriyal beslenmede glutene yer verilmez. Glutensiz tahıllar arasında amarant, karabuğday, darı, kinoa, pirinç ve tef gibi tahıllar yer almaktadır. Ayrıca mitokondriyal beslenmede hafif ketozis ve düşük glisemik etki hedeflendiği için diyetteki tüm tahıllar en aza indirilir veya tamamen çıkarılır (IFM, 2016).

Mitokondriyal Beslenme İçin Tüketilmesi Gereken Gıdalar

1-Antioksidanlar

Antioksidanlar, vücudu serbest radikallerin neden olduğu hasarlardan koruyan maddelerdir. Başlıca antioksidanlar arasında C, E, A vitaminleri, beta-karoten ve likopen serbest radikallerle etkileşime girerek onları dengeler ve böylece serbest radikal kaynaklı hasarı önler (Hamid & ark., 2010). Gıdalarda bulunan antioksidanlar oksidatif stres seviyesini azaltır (Hank & ark., 2018). Diyetle dışarıdan alınan antioksidanlar kimyasal olarak modifiye edilerek mitokondri içinde birikir ve mitokondride serbest radikal temizleyicileri, lipid peroksidasyon inhibitörleri, şelatlama ajanları ve reaktif oksijen türleri üreten enzimlerin modülatörleri olarak görev yaparlar (Teixeira & ark., 2018).

Mitokondriyal beslenme yaklaşımında her gün farklı renklerde sebzelerin tüketilmesi, temel vitamin ve antioksidanların alınması önerilmektedir (Hank & ark., 2018). Havuç, domates, brokoli, tatlı biber ve bezelye beta-karoten açısından; fasulye, brokoli, lahana, karnabahar, tere, bezelye, ıspanak, yeşil soğan ve tatlı biber C vitamini açısından; kuşkonmaz, lahana, Brüksel lahanası, kale, havuç, karnabahar, marul, ıspanak, tatlı patates ve şalgam ise E vitamini açısından zengin gıdalardır (Nema & ark., 2022). Yüksek antioksidan içeriğe sahip meyveler arasında kuşburnu, vişne, yabani böğürtlen, yabani çilek, ahududu, yaban mersini, siyah Frenk üzümü, kıvılcık, nar, üzüm, portakal, mandalina, greyfurt, limon, kivi, hurma, erik ve ananas yer almaktadır (Jideani & ark., 2021).

Oksijen radikal absorban kapasitesi (ORAC), gıdaların ve diğer kimyasalların antioksidan gücünü test etmek için kullanılan bir analizdir. Bu analiz antioksidanların radikal zincir kırma yeteneğinin ölçülmesini sağlar (Gulcin, 2020). ORAC değeri 100 g numune başına troloks eşdeğeri (TE) mikromol cinsinden ifade edilir. ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) bitkisel gıdalardan günlük 3000-5000 µmol TE (ORAC) alımını önermektedir. Ayrıca günde ≥ 10.000 µmol TE (ORAC) alımının sağlık üzerinde olumlu etkileri olduğu gösterilmiştir (Pruteanu & ark., 2023). ABD Tarım Bakanlığı (USDA) tarafından yapılan bir çalışmaya göre ORAC değeri yüksek meyve ve sebzeler arasında kuru erik, kuru üzüm, yaban mersini, böğürtlen, kale, çilek, ıspanak, ahududu, Brüksel lahanası, erik, yonca filizi ve brokoli çiçekleri yer almaktadır (McBride, 1999) (Tablo 2).

Tablo 2: Gıdaların ORAC değerleri

Gıdalar	Porsiyon Ölçüsü	Porsiyon Başına ORAC ($\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$)
Öğütülmüş tarçın	100 g	267536
Aronya	100 g	16062
Küçük kırmızı fasulye	1/2 su bardağı (kuru)	13727
Yabani yaban mersini	1 su bardağı	13427
Kırmızı barbunya	1/2 su bardağı (kuru)	13259
Pinto fasulyesi	1/2 su bardağı	11864
Yaban mersini	1 su bardağı	9019
Kızılcık	1 su bardağı	8983
Enginar kalbi	1 su bardağı (pişmiş)	7904
Böğürtlen	1 su bardağı	7701
Kuru erik	1/2 su bardağı	7291
Ahududu	1 su bardağı	6058
Çilek	1 su bardağı	5938
Kırmızı elma	1 adet	5900
Granny Smith elma	1 adet	5381
Pıkan cevizi	30 g	5095
Tatlı kiraz	1 su bardağı	4873
Siyah erik	1 adet	4844
Kızıl patates	1 adet (pişmiş)	4649
Siyah fasulye	1/2 su bardağı (kuru)	4181
Erik	1 adet	4118
Gala elma	1 adet	3903

Kaynak: (Apak & ark., 2013)

2-Kurkumin

Kurkumin, zerdeçal (*Curcuma longa* L.) bitkisinin rizomundan (köksap) elde edilen parlak sarı renkli bir polifenolik bileşiktir (de Oliveira & ark., 2016a). Zerdeçal, yüzlerce yıldır Çin

ve Hindistan'da birçok hastalığın (diyabet, bulaşıcı ve otoimmün hastalıklar gibi) tedavisinde geleneksel bir ilaç olarak kullanılmaktadır (Yu & ark., 2019). Kurkumin antioksidan, antimikrobiyal, antiinflamatuvar, antidiyabetik, antitümör, pulmoprotektif, hepatoprotektif ve nefroprotektif etkilere sahiptir (Sarawi & ark., 2021). Kurkumin hidrojen peroksit, peroksinitrit anyonu ve hidroksil radikalleri gibi reaktif oksijen/nitrojen türlerini temizleyebilme özelliğine sahiptir (Aparicio-Trejo & ark., 2017). İnsanlarda egzersiz öncesi alınan kurkuminin dolaşımdaki kanın antioksidan kapasitesini arttırdığı ve egzersize bağlı oksidatif stresi azalttığı bildirilmiştir (Takahashi & ark., 2014). Kurkumin i) mitokondriyal membran potansiyelini koruyarak, ii) mitokondriyal füzyon aktivitesi, mitokondriyal biyogenez ve sinaptik proteinleri artırarak, iii) mitokondriyal füzyon mekanizması, mitokondriyal şişme, lipid peroksidasyonu, protein karbonilasyonu, oksitlenmiş lipid seviyesi, nöroinflamasyon, apoptoz, sitokrom c aktivasyonu ve mitokondriyal depolarizasyonu azaltarak ve iv) glutatyon ve süperoksit dismutaz seviyelerini artırarak mitokondriyal fonksiyonu korumada rol oynamaktadır (Bagheri & ark., 2020).

3-Kuersetin

Kuersetin, çeşitli sebzelerde bulunan doğal bir flavonoiddir. Kuersetinden zengin gıdalar arasında soğan, elma, kapari, yaban mersini, kale, acı biber, çay ve brokoli yer almaktadır (Deledda & ark., 2022). Kuersetin immünomodülatör, antioksidan, antiinflamatuvar, antiapoptotik, antikanser, antiviral, antialerji ve yaşlanma karşıtı gibi çeşitli biyolojik aktivitelere sahiptir (Zhang & ark., 2023b). Kuersetin süperoksit anyonu, nitrik oksit ve peroksinitritler gibi serbest radikalleri nötralize eder. Ksantin

oksidaz, lipoksijenaz ve NADPH oksidaz gibi enzimleri inhibe ederek hücre ölümünü engeller. Ayrıca endojen antioksidanların üretimini artırır (Matías-Pérez & ark., 2024). Kuersetin mitokondriyal dinamiklerin modülasyonunda kritik bir role sahiptir (Liu & ark., 2015). Kuersetinin mitokondriyal biyogenezi arttırdığı ve hücre apoptozunu azalttığı bildirilmiştir (Ho & ark., 2022).

4-Sülforafan

Sülforafan; lahanası, brokoli, karnabahar ve Brüksel lahanası gibi turpgillerde bulunan glukorafaninin (glukosinolat) mirosinaz enzimi ile hidrolizi sonucu elde edilen bir izotiyosiyanattır (Ul-Haq & ark., 2022). Sülforafanın antidiyabetik, antihiperlipidemik, antianjiyogenik, antioksidan, antiinflamatuvar, antimikrobiyal, antikanser, nöroprotektif, kardiyoprotektif ve yaşlanma karşıtı etkileri bulunmaktadır (Mangla & ark., 2021). Yapılan bir çalışmada sülforafanın antioksidan enzimleri arttırdığı, reaktif oksijen türleri üretimi ve DNA parçalanmasını azalttığı, oksidatif hasara karşı koruma sağladığı ve böylece hücre canlılığını arttırdığı bildirilmiştir (Angeloni & ark., 2009). Başka bir çalışmada ise sülforafanın hücrelerde mitokondriyal fizyonu engellediği ve mitokondriyal hiperfüzyonu teşvik ettiği bildirilmiştir (O'Mealey, Berry & Plafker, 2017). Bu çalışmalar sonucunda sülforafanın mitokondrileri koruyucu (mitoprotektif) etkilere sahip olduğu gösterilmiştir (Kiser & ark., 2021).

5-Resveratrol

Resveratrol; üzüm, yer fıstığı, yaban mersini ve kırmızı şarap gibi gıdalarda bulunan doğal bir fenolik bileşiktir. Antioksidan, antiinflamatuvar, immünomodülatör, hipotansif ve hipolipidemik

etkileri bulunmaktadır (Zhou & ark., 2021). Resveratrol mitokondri koruyucu olarak işlev görür. Başta serbest radikallerin neden olduğu oksidatif stresi önler, antioksidan enzimleri artırır ve mitokondriyal biyogenezi uyarır. Bunun yanı sıra mitokondriyal kalsiyumu düzenler ve kemoterapötik ajanların etkinliğini artırır. Kanser kök hücrelerini hedef alarak tümörle ilişkili inflamasyonu hafifletir ve bozulmuş mitokondrinin mitofaji yoluyla ortadan kaldırılmasını sağlar (Golubnitschaja & ark., 2024; Uriho & ark., 2021).

6-Askorbik Asit

Askorbik asit (C vitamini); kırmızı tatlı biber, kivi, limon, portakal ve greyfurt gibi birçok meyve ve sebze de bulunan suda çözünen bir vitamindir (Mafra & ark., 2018). Bu vitamin askorbat peroksidaz enzimi katalizörülüğünde süperoksit anyonu, singlet oksijen, ozon ve hidrojen peroksit ile reaksiyona girerek bunların toksik etkilerini nötralize eder (Kasote & ark., 2015). Yapılan bir çalışmada askorbik asitin aşırı kalsiyum (Ca^{+2}) yükü ve reaktif oksijen türleri üretimini azalttığı, mitokondriyal ATP'ye duyarlı potasyum kanallarını aktive ettiği ve mitokondriyal membran potansiyelini koruduğu bildirilmiştir (Hao & ark., 2016). Askorbik asit mitokondriyi oksidatif stresten koruduğu için mitokondriyal bozuklukların tedavisinde önerilmektedir (Fan & ark., 2021).

7-Alfa-Lipoik Asit

Alfa-lipoik asit (tioktik asit); lipoik asit sentaz enzimi tarafından mitokondride sentezlenen kısa zincirli bir yağ asitidir. Brokoli, ıspanak, patates, domates, Brüksel lahanası, havuç, pancar ve pirinç kepeği gibi bitkisel veya karaciğer ve kırmızı et gibi hayvansal gıdalarda bulunur (Najafi & ark., 2022). Antioksidan,

antiinflamatuvar, antikanser, kardiyoprotektif, nöroprotektif ve yaşlanma karşıtı etkileri bulunmaktadır (Tripathi & ark., 2023). Alfa-lipoik asit hidrojen peroksit, singlet oksijen, hidroksil radikali, nitrik oksit radikali ve peroksinitrit gibi reaktif oksijen/nitrojen türlerini temizler. Ayrıca serbest demir, bakır, manganez ve çinko gibi redoks aktif metallere şelat oluşturur (Martínez-Fernández & ark., 2018). Alfa-lipoik asit glutatyon, C vitamini ve E vitamini gibi antioksidanların seviyelerini artırır (Kim & ark., 2012). Farelerde yapılan bir çalışmada alfa-lipoik asitin mitokondriyal biyogenezde rol oynayan genlerin ekspresyonunu arttırdığı ve mitokondriyal fonksiyonu iyileştirdiği bildirilmiştir (Wang & ark., 2010).

8-Epigallokateşin Gallat

Epigallokateşin gallat; meyve, çikolata, şarap ve özellikle yeşil çayda bulunan kateşinler sınıfına ait bir flavonoiddir. Epigallokateşin gallat, yeşil çaydaki polifenollerin %50'sinden fazlasını oluşturur (de Oliveira & ark., 2016b). Antioksidan, antiinflamatuvar, antiproliferatif, antibakteriyel, antivirüs, antimutajenik ve antikarsinojenik etkilere sahiptir. Epigallokateşin gallat mitokondriyal metabolizmanın düzenlenmesinde (biyogenez, biyoenerji, hücre döngüsü ve apoptoz gibi) kritik bir rol oynar (Shi & ark., 2018). İçerdiği hidroksil grupları sayesinde serbest radikallere bağlanarak onları nötralize eder. Böylece peroksil radikallerine bağlanarak serbest radikallerin zincir reaksiyonunu kırar ve lipid peroksidasyonunu engeller (Dhapola & ark., 2022; Thangapandiyan & Miltonprabu, 2014). Epigallokateşin gallat, güçlü antioksidan özelliği sayesinde mitokondriyal reaktif oksijen türleri üretimini azaltır ve kronik hastalıkların tedavisine destek olur (Shi & ark., 2018).

9-Koenzim Q10

Koenzim Q10, tirozin amino asitinden endojen olarak sentezlenen, yağda çözünen vitamin benzeri bir benzokinon bileşimidir (Arenas-Jal, Suñé-Negre & García-Montoya, 2020). Mitokondri, hücre zarı ve lipoproteinler başta olmak üzere tüm insan hücrelerinde bulunur (Rodick & ark., 2018). Vücuttaki koenzim Q10'un yaklaşık yarısı beslenme yoluyla alınır. Geri kalanı ise endojen olarak sentezlenir. Koenzim Q10'un başlıca besin kaynakları etler, balık, somon, sardalya, domuz eti, tavuk, sert kabuklu yemişler, soya fasulyesi ve bitkisel yağlardır. Süt ürünleri, sebzeler, meyveler ve tahıllar ise daha az miktarda koenzim Q10 içerirler (Sifuentes-Franco & ark., 2022).

Koenzim Q10'un hücrel görevleri arasında i) mitokondriyal solunum zincirinde elektron taşımak, ii) lipit peroksidasyonuna karşı korumak, antioksidan moleküllerin indirgenmesi veya geri dönüştürülmesini sağlamak, plazma membranı ve hücre redoks dengesini stabilize etmek, antioksidan etki göstermek, iii) apoptoz ve mitokondriyal geçirgenlik geçiş bölgelerini düzenlemek, iv) gen ekspresyonunun sinyal düzenlemesini yapmak, antiinflamatuvar etki göstermek, v) lizozomal membrandaki proton gradyanını korumak ve vi) mitokondriyal ayrıştırma proteinlerini aktive etmek yer alır (Fišar & Hroudová, 2024). Koenzim Q10'un mitokondriyal fonksiyon bozukluğu ve oksidatif stresle ilişkili hastalıklarda (kansere, diyabete, kardiyovasküler ve nörodejeneratif hastalıklar) tedavi edici etkinliği bulunmaktadır (Yousef & ark., 2019).

10-Glutatyon

Glutatyon; bitki ve hayvanların çoğu hücre ve dokusunda bulunan, sistein, glutamat ve glisinden oluşan bir tripeptittir. Glutatyon enzimatik olmayan bir antioksidandır (Pruteanu & ark., 2023). Glutatyondan zengin gıdalar arasında avokado, çilek, limon, domates, brokoli, yeşil biber, portakal, elma, muz, havuç, ıspanak ve karnabahar yer alır. Kükürt açısından zengin olan bu sebze ve meyveler endojen glutatyon üretimini destekler (Al-Temimi & ark., 2023). Glutatyonun hücre fizyolojisindeki rolleri arasında i) reaktif oksijen türleri, nitrik oksit ve reaktif nitrojen türlerini doğrudan temizlemek, ii) elektron taşıma zinciri, DNA, lipit ve proteinleri korumak, iii) toksik maddeleri dolaylı olarak nötralize etmek ve iv) hücre döngüsü ilerlemesi ve apoptozu düzenlemek yer almaktadır (Vairetti & ark., 2021). Glutatyon sahip olduğu bu etkiler ile oksidatif stresi azaltır, redoks dengesini korur, metabolik detoksifikasyonu artırır ve bağışıklık sistemini düzenler. Nörodejenerasyon, mitokondriyal fonksiyon bozukluğu ve kanser gibi kronik ve yaşa bağlı hastalıkların yetersiz glutatyon seviyeleri ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Minich & Brown, 2019).

11-Omega-3 Yağ Asitleri

Omega 3 yağ asitleri; 3 numaralı karbonunda çift bağ bulunduran vücutta doğal olarak üretilmeyen çoklu doymamış yağ asitleridir (Nabavi & ark., 2015). Omega-3 yağ asitleri yeşil sebzeler, vahşi okyanus balıkları, yağlı tohumlar (chia, keten ve perilla) ve merada yetiştirilen hayvanlardan elde edilen gıdalarda bulunur (Mariamenatu & Abdu, 2021). Antiinflamatuvar, antiaritmik, antitrombotik, kardiyoprotektif, nöroprotektif, antikanser,

antidepresan ve immünomodülatör etkilere sahiptir (Ahmad & ark., 2020). Omega-3 yağ asitleri, reaktif oksijen türlerinin üretimi ve inflamasyonu azaltarak mitokondrileri koruyucu bir görev gerçekleştirir (García-García & ark., 2020). Omega-3 yağ asitlerinden zengin diyetlerin mitokondriyal dinamikler ve morfolojiyi iyileştirdiği, füzyon proteinlerinin (mitofüzinler ve OPA1) ekspresyonunu arttırdığı, fizyon proteinlerinin (Drp1 ve Fis1) ise ekspresyonunu azalttığı bildirilmiştir (Zanella & Vianello, 2023).

Sonuç

Mitokondriler vücudumuzun ihtiyaç duyduğu enerjiyi yeterli ve dengeli miktarda üretilmediği zaman organların çalışmasında aksaklıklar meydana gelir. Mitokondriyal veya nükleer DNA tarafından kodlanan genlerde meydana gelen mutasyonlar mitokondriyal hastalıklara neden olur. Mitokondriyal fonksiyon bozuklukları sonucu başlıca nörodejeneratif hastalıklar, kardiyovasküler hastalıklar, metabolik hastalıklar, otoimmün hastalıklar, nörodavranışsal ve psikiyatrik hastalıklar, gastrointestinal sistem hastalıkları, kas-iskelet sistemi hastalıkları, kanser ve koronavirüs hastalığı gibi çeşitli hastalıklar meydana gelmektedir. Mitokondriyal beslenme mitokondriyal hastalıkların azalması ve önlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle düşük glisemik indeksli, glutensiz, az tahıllı ve yüksek kaliteli yağ içeren bir beslenme yaklaşımı önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Ahmad, M. Z., Ahmad, J., Zafar, S., Warsi, M. H., Abdel-Wahab, B. A., Akhter, S. & Alam, M. A. (2020). Omega-3 fatty acids as adjunctive therapeutics: Prospective of nanoparticles in its formulation development. *Therapeutic Delivery*, 11 (1), 851-868.

Alfarouk, K. O., Alhoufie, S. T. S., Hifny, A., Schwartz, L., Alqahtani, A. S., Ahmed, S. B. M., Alqahtani, A. M., Alqahtani, S. S., Muddathir, A. K., Ali, H., Bashir, A. H. H., Ibrahim, M. E., Greco, M. R., Cardone, R. A., Harguindey, S. & Reshkin, S. J. (2021). Of mitochondrion and COVID-19. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 36 (1), 1258-1266.

Al-Faze, R., Ahmed, H. A., El-Atawy, M. A., Zagloul, H., Alshammari, E. M., Jaremko, M., Emwas, A. H., Nabil, G. M. & Hanna, D. H. (2024). Mitochondrial dysfunction route as a possible biomarker and therapy target for human cancer. *Biomedical Journal*, 1-29.

Allen, C. A., van der Giezen, M., & Allen, J. F. (2007). Origin, function, and transmission of mitochondria. In W. F. Martin & Miklós Müller (Eds.), *Origin of mitochondria and hydrogenosomes* (pp. 39-56). Berlin, Heidelberg: Springer.

Alshial, E. E., Abdulghaney, M. I., Wadan, A. H. S., Abdellatif, M. A., Ramadan, N. E., Suleiman, A. M., Waheed, N., Abdellatif, M. & Mohammed, H. S. (2023). Mitochondrial dysfunction and neurological disorders: A narrative review and treatment overview. *Life Sciences*, 334, 1-36.

Al-Temimi, A. A., Al-Mossawi, A. E. B., Al-Hilifi, S. A., Korma, S. A., Esatbeyoglu, T., Rocha, J. M. & Agarwal, V. (2023). Glutathione for food and health applications with emphasis on extraction, identification, and quantification methods: A review. *Metabolites*, 13 (4), 1-18.

Angeloni, C., Leoncini, E., Malaguti, M., Angelini, S., Hrelia, P. & Hrelia, S. (2009). Modulation of phase II enzymes by sulforaphane: Implications for its cardioprotective potential. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57 (12), 5615-5622.

Apak, R., Gorinstein, S., Böhm, V., Schaich, K. M., Özyürek, M. & Güçlü, K. (2013). Methods of measurement and evaluation of natural antioxidant capacity/activity (IUPAC technical report). *Pure and Applied Chemistry*, 85 (5), 957-998.

Aparicio-Trejo, O. E., Tapia, E., Molina-Jijón, E., Medina-Campos, O. N., Macías-Ruvalcaba, N. A., León-Contreras, J. C., Hernández-Pando, R., García-Arroyo, F. E., Cristóbal, M., Sánchez-Lozada, L. G. & Pedraza-Chaverri, J. (2017). Curcumin prevents mitochondrial dynamics disturbances in early 5/6 nephrectomy: Relation to oxidative stress and mitochondrial bioenergetics. *Biofactors*, 43 (2), 293-310.

Arenas-Jal, M., Suñé-Negre, J. M. & García-Montoya, E. (2020). Coenzyme Q10 supplementation: Efficacy, safety, and formulation challenges. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19 (2), 574-594.

Bagheri, H., Ghasemi, F., Barreto, G. E., Rafiee, R., Sathyapalan, T. & Sahebkar, A. (2020). Effects of curcumin on

mitochondria in neurodegenerative diseases. *Biofactors*, 46 (1), 5-20.

Bajpai, A. B. (2021). Cell biology. In G. K. Dhingra (Ed.), *Cell biology, molecular biology and biotechnology* (pp. 6-144). Haldwani, Nainital: Uttarakhand Open University.

Ballard, J. W. O. & Towarnicki, S. G. (2020). Mitochondria, the gut microbiome and ROS. *Cellular Signalling*, 75, 1-11.

Bao, X., Zhang, J., Huang, G., Yan, J., Xu, C., Dou, Z., Sun, C. & Zhang, H. (2021). The crosstalk between HIFs and mitochondrial dysfunctions in cancer development. *Cell Death and Disease*, 12 (2), 1-13.

Barrett, K. E., Barman, S. M., Boitano, S., & Brooks, H. L. (2012). *Ganong's review of medical physiology* (Twenty-fourth edit). New York: McGraw Hill.

Bassemer, H. & Hookre, R. (2023). Mitochondrial activity in immune cells: An essential component of health. *Health Science Journal*, 17 (5), 1-4.

Bergamini, C., Bonora, E. & Moruzzi, N. (2023). Editorial: Mitochondrial bioenergetics impairments in genetic and metabolic diseases. *Frontiers in Physiology*, 14, 1-3.

Bhatti, J. S., Bhatti, G. K. & Reddy, P. H. (2017). Mitochondrial dysfunction and oxidative stress in metabolic disorders—A step towards mitochondria based therapeutic strategies. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*, 1863 (5), 1066-1077.

Björck, I., Liljeberg, H. & Östman, E. (2000). Low glycaemic-index foods. *British Journal of Nutrition*, 83 (1), 149-155.

Bonam, S. R. & Muller, S. (2020). Parkinson's disease is an autoimmune disease: A reappraisal. *Autoimmunity Reviews*, 19 (12), 1-4.

Bonora, M., Wieckowski, M. R., Sinclair, D. A., Kroemer, G., Pinton, P. & Galluzzi, L. (2019). Targeting mitochondria for cardiovascular disorders: Therapeutic potential and obstacles. *Nature Reviews Cardiology*, 16 (1), 33-55.

Brault, C., Lévy, P. L. & Bartosch, B. (2013). Hepatitis C virus-induced mitochondrial dysfunctions. *Viruses*, 5 (3), 954-980.

Bryll, A., Skrzypek, J., Krzyściak, W., Szelągowska, M., Śmierciak, N., Kozicz, T. & Popiela, T. (2020). Oxidative-antioxidant imbalance and impaired glucose metabolism in schizophrenia. *Biomolecules*, 10 (3), 1-38.

Casari, A. M. (2022). Editorial: Immune and oxidative pathways in psychiatric disorders. *Frontiers in Neuroscience*, 16, 1-3.

Cha, M. Y., Han, S. H., Son, S. M., Hong, H. S., Choi, Y. J., Byun, J. & Mook-Jung, I. (2012). Mitochondria-specific accumulation of amyloid β induces mitochondrial dysfunction leading to apoptotic cell death. *PloS One*, 7 (4), 1-11.

Chávez, M. D. & Tse, H. M. (2021). Targeting mitochondrial-derived reactive oxygen species in T cell-mediated autoimmune diseases. *Frontiers in Immunology*, 12, 1-14.

Chen, J., Kelley, W. J. & Goldstein, D. R. (2020). Role of aging and the immune response to respiratory viral infections: Potential implications for COVID-19. *The Journal of Immunology*, 205 (2), 313-320.

Chen, Y., Meyer, J. N., Hill, H. Z., Lange, G., Condon, M. R., Klein, J. C., Ndirangu, D. & Falvo, M. J. (2017). Role of mitochondrial DNA damage and dysfunction in veterans with Gulf War Illness. *PloS One*, 12 (9), 1-13.

Chung, N. (2023). Impact of the ketogenic diet on body fat, muscle mass, and exercise performance: A review. *Physical Activity and Nutrition*, 27 (4), 1-7.

Clarke, T., Jamieson, J. D., Malone, P., Rayhan, R. U., Washington, S., VanMeter, J. W. & Baraniuk, J. N. (2019). Connectivity differences between Gulf War Illness (GWI) phenotypes during a test of attention. *PloS One*, 14 (12), 1-34.

Coufopoulos, A. & Mooney, K. (2012). *Food, nutrition and homelessness: Guidance for practitioners*. (07/12/2024 tarihinde https://www.qni.org.uk/wp-content/uploads/2016/09/nutrition_guidance.pdf adresinden ulaşılmıştır).

Cui, H., Kong, Y. & Zhang, H. (2012). Oxidative stress, mitochondrial dysfunction, and aging. *Journal of Signal Transduction*, 2012 (1), 1-13.

Deledda, A., Giordano, E., Velluzzi, F., Flore, G., Franceschelli, S., Speranza, L. & Ripari, P. (2022). Mitochondrial

aging and senolytic natural products with protective potential. *International Journal of Molecular Sciences*, 23 (24), 1-21.

de Mello, A. H., Costa, A. B., Engel, J. D. G. & Rezin, G. T. (2018). Mitochondrial dysfunction in obesity. *Life Sciences*, 192, 26-32.

de Oliveira, M. R., Jardim, F. R., Setzer, W. N., Nabavi, S. M. & Nabavi, S. F. (2016a). Curcumin, mitochondrial biogenesis, and mitophagy: Exploring recent data and indicating future needs. *Biotechnology Advances*, 34 (5), 813-826.

de Oliveira, M. R., Nabavi, S. F., Daglia, M., Rastrelli, L. & Nabavi, S. M. (2016b). Epigallocatechin gallate and mitochondria—A story of life and death. *Pharmacological Research*, 104, 70-85.

Dhapola, R., Sarma, P., Medhi, B., Prakash, A. & Reddy, D. H. (2022). Recent advances in molecular pathways and therapeutic implications targeting mitochondrial dysfunction for Alzheimer's disease. *Molecular Neurobiology*, 59 (1), 535-555.

Dirajlal-Fargo, S., Maison, D. P., Durieux, J. C., Andrukhiv, A., Funderburg, N., Ailstock, K., Gerschenson, M. & Mccomsey, G. A. (2024). Altered mitochondrial respiration in peripheral blood mononuclear cells of post-acute sequelae of SARS-CoV-2 infection. *Mitochondrion*, 75, 1-8.

Dragan, S., Serban, M. C., Damian, G., Buleu, F., Valcovici, M. & Christodorescu, R. (2020). Dietary patterns and interventions to alleviate chronic pain. *Nutrients*, 12 (9), 1-28.

Duan, M., Gao, P., Chen, S. X., Novák, P., Yin, K. & Zhu, X. (2022). Sphingosine-1-phosphate in mitochondrial function and metabolic diseases. *Obesity Reviews*, 23 (6), 1-23.

Engwa, G. A. (2018). Free radicals and the role of plant phytochemicals as antioxidants against oxidative stress-related diseases. In Toshiki Asao & Md Asaduzzaman (Eds.), *Phytochemicals source of antioxidants and role in disease prevention* (pp. 49-74). London, England: IntechOpen.

Ernster, L. & Schatz, G. (1981). Mitochondria: A historical review. *The Journal of Cell Biology*, 91 (3), 227-255.

Fan, H. C., Lee, H. F., Yue, C. T. & Chi, C. S. (2021). Clinical characteristics of mitochondrial encephalomyopathy, lactic acidosis, and stroke-like episodes. *Life*, 11 (11), 1-24.

Fernández-Ayala, D. J. M., Navas, P. & López-Lluch, G. (2020). Age-related mitochondrial dysfunction as a key factor in COVID-19 disease. *Experimental Gerontology*, 142, 1-13.

Filiou, M. D. & Sandi, C. (2019). Anxiety and brain mitochondria: A bidirectional crosstalk. *Trends in Neurosciences*, 42 (9), 573-588.

Fišar, Z. & Hroudová, J. (2024). CoQ₁₀ and mitochondrial dysfunction in Alzheimer's disease. *Antioxidants*, 13 (2), 1-21.

Fontanesi, F. (2015). Mitochondria: Structure and role in respiration. *Encyclopedia of Life Sciences*, 1-13.

Franco-Iborra, S., Vila, M. & Perier, C. (2018). Mitochondrial quality control in neurodegenerative diseases: Focus on Parkinson's

disease and Huntington's disease. *Frontiers in Neuroscience*, 12, 1-25.

Frazier, A. E., Vincent, A. E., Turnbull, D. M., Thorburn, D. R., & Taylor, R. W. (2020). Assessment of mitochondrial respiratory chain enzymes in cells and tissues. In L. A. Pon & E. A. Schon (Eds.), *Methods in cell biology* (3rd ed., pp. 121-156). New York: Academic Press.

Galley, H. F. (2011). Oxidative stress and mitochondrial dysfunction in sepsis. *British Journal of Anaesthesia*, 107 (1), 57-64.

García-García, F. J., Monistrol-Mula, A., Cardellach, F. & Garrabou, G. (2020). Nutrition, bioenergetics, and metabolic syndrome. *Nutrients*, 12 (9), 1-38.

Golubnitschaja, O., Kapinova, A., Sargheini, N., Bojkova, B., Kapalla, M., Heinrich, L., Gkika, E. & Kubatka, P. (2024). Mini-encyclopedia of mitochondria-relevant nutraceuticals protecting health in primary and secondary care—clinically relevant 3PM innovation. *EPMA Journal*, 15 (2), 163-205.

Goodman, S. R. (2008). *Medical cell biology* (Third edit). Amsterdam: Elsevier.

Grusso, F., Montano, V., Simoncini, C., Siciliano, G. & Mancuso, M. (2020). Therapeutical management and drug safety in mitochondrial diseases—Update 2020. *Journal of Clinical Medicine*, 10 (1), 1-16.

Guarnieri, J. W., Haltom, J. A., Albrecht, Y. E. S., Lie, T., Olali, A. Z., Widjaja, G. A., Ranshing, S. S., Angelin, A., Murdock, D. & Wallace, D. C. (2024). SARS-CoV-2 mitochondrial metabolic

and epigenomic reprogramming in COVID- 19. *Pharmacological Research*, 204, 1-12.

Gulcin, I. (2020). Antioxidants and antioxidant methods: An updated overview. *Archives of Toxicology*, 94 (3), 651-715.

Habbane, M., Montoya, J., Rhouda, T., Sbaoui, Y., Radallah, D. & Emperador, S. (2021). Human mitochondrial DNA: Particularities and diseases. *Biomedicines*, 9 (10), 1-11.

Hamid, A. A., Aiyelaagbe, O. O., Usman, L. A., Ameen, O. M. & Lawal, A. (2010). Antioxidants: Its medicinal and pharmacological applications. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 4 (8), 142-151.

Hank, N. C., Pereira, J., McCravey, B., Christians, L., Hoggan, C. & Dechoux, F. (2018). Cognitive improvements in patients with mild cognitive impairment and Alzheimer's disease though a personalized mito food plan diet and cell repair therapy. *Journal of Clinical Trials*, 8 (5), 1-7.

Hao, J., Li, W. W., Du, H., Zhao, Z. F., Liu, F., Lu, J. C., Yang, X. C. & Cui, W. (2016). Role of vitamin C in cardioprotection of ischemia/reperfusion injury by activation of mitochondrial K_{ATP} channel. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 64 (6), 548-557.

Hepple, R. T. (2009). Why eating less keeps mitochondria working in aged skeletal muscle. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 37 (1), 23-28.

Hettiarachchi, D., Lakmal, K. & Dissanayake, V. H. W. (2022). Mitochondrial diseases in South Asia—A systematic review. *Mitochondrion*, 62, 24-30.

Ho, C. L., Kao, N. J., Lin, C. I., Cross, T. W. L. & Lin, S. H. (2022). Quercetin increases mitochondrial biogenesis and reduces free radicals in neuronal SH-SY5Y cells. *Nutrients*, *14* (16), 1-16.

Hoang, N., Brooks, K. & Edwards, K. (2024). Sex-specific colonic mitochondrial dysfunction in the indomethacin-induced rat model of inflammatory bowel disease. *Frontiers in Physiology*, *15*, 1-14.

Holodniy, M. & Kaiser, J. D. (2019). Treatment for Gulf War Illness (GWI) with KPAX002 (methylphenidate hydrochloride + GWI nutrient formula) in subjects meeting the Kansas case definition: A prospective, open-label trial. *Journal of Psychiatric Research*, *118*, 14-20.

Hyatt, H. W. & Powers, S. K. (2021). Mitochondrial dysfunction is a common denominator linking skeletal muscle wasting due to disease, aging, and prolonged inactivity. *Antioxidants*, *10* (4), 1-20.

IFM (2016). *Mito food plan comprehensive guide*. (02/12/2024 tarihinde https://centerforfunctionalmedicine.com/wp-content/uploads/2016/10/mito_food_plan_comprehensive_guide_v3.pdf adresinden ulaşılmıştır).

Ikawa, M., Okazawa, H. & Yoneda, M. (2021). Molecular imaging for mitochondrial metabolism and oxidative stress in mitochondrial diseases and neurodegenerative disorders. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, *1865* (3), 1-7.

Jideani, A. I. O., Silungwe, H., Takalani, T., Omolola, A. O., Udeh, H. O. & Anyasi, T. A. (2021). Antioxidant-rich natural fruit and vegetable products and human health. *International Journal of Food Properties*, 24 (1), 41-67.

Kang, D. & Hamasaki, N. (2003). Mitochondrial oxidative stress and mitochondrial DNA. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 41 (10), 1281-1288.

Kasote, D. M., Katyare, S. S., Hegde, M. V. & Bae, H. (2015). Significance of antioxidant potential of plants and its relevance to therapeutic applications. *International Journal of Biological Sciences*, 11 (8), 982-991.

Kiefel, B. R., Gilson, P. R. & Beech, P. L. (2006). Cell biology of mitochondrial dynamics. *International Review of Cytology*, 254, 151-213.

Kim, H., Kim, H. J., Lee, K., Kim, J. M., Kim, H. S., Kim, J. R., Ha, C. M., Choi, Y. K., Lee, S. J., Kim, J. Y., Harris, R. A., Jeong, D. & Lee, I. K. (2012). α -Lipoic acid attenuates vascular calcification via reversal of mitochondrial function and restoration of Gas6/Axl/Akt survival pathway. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 16 (2), 273-286.

Kiser, C., Gonul, C. P., Olcum, M. & Genc, S. (2021). Inhibitory effects of sulforaphane on NLRP3 inflammasome activation. *Molecular Immunology*, 140, 175-185.

Kong, Y., Trabucco, S. E. & Zhang, H. (2014). Oxidative stress, mitochondrial dysfunction and the mitochondria theory of aging. *Aging*, 39, 86-107.

Koppala, S. N. & Guruprasad, V. (2023). Overview of autoimmunity: Classification, disease mechanisms, and etiology. *Turkish Journal of Immunology*, 11 (3), 93-105.

Kowalczyk, P., Sulejczak, D., Kleczkowska, P., Bukowska-Ośko, I., Kucia, M., Popiel, M., Vietrak, E., Kramkowski, K., Wrzosek, K. & Kaczyńska, K. (2021). Mitochondrial oxidative stress—A causative factor and therapeutic target in many diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 22 (24), 1-18.

Krauss, S. (2001). Mitochondria: Structure and role in respiration. *Encyclopedia of Life Sciences*, 1-6.

Lerner, A., Benzvi, C. & Vojdani, A. (2024). Gluten is a proinflammatory inducer of autoimmunity. *Journal of Translational Gastroenterology*, 2 (2), 109-124.

Lettieri-Barbato, D., Cannata, S. M., Casagrande, V., Ciriolo, M. R. & Aquilano, K. (2018). Time-controlled fasting prevents aging-like mitochondrial changes induced by persistent dietary fat overload in skeletal muscle. *PLoS One*, 13 (5), 1-16.

Li, X., Zhang, W., Cao, Q., Wang, Z., Zhao, M., Xu, L. & Zhuang, Q. (2020). Mitochondrial dysfunction in fibrotic diseases. *Cell Death Discovery*, 6 (1), 1-14.

Liu, P., Zou, D., Yi, L., Chen, M., Gao, Y., Zhou, R., Zhang, Q., Zhou, Y., Zhu, J., Chen, K. & Mi, M. (2015). Quercetin ameliorates hypobaric hypoxia-induced memory impairment through mitochondrial and neuron function adaptation via the PGC-1 α pathway. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 33 (2), 143-157.

Liu, Y., Huang, Y., Xu, C., An, P., Luo, Y., Jiao, L., Luo, J. & Li, Y. (2022). Mitochondrial dysfunction and therapeutic perspectives in cardiovascular diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 23 (24), 1-16.

Lodish, H., Berk, A., Matsudaira, P., Kaiser, C. A., Krieger, M., Scott, M. P., Zipursky, L., & Darnell, C. (2003). *Molecular cell biology* (Fifth edit). New York: W. H. Freeman and Company.

Lu, T., Zhang, Z., Bi, Z., Lan, T., Zeng, H., Liu, Y., Mo, F., Yang, J., Chen, S., He, X., Hong, W., Zhang, Z., Pi, R., Ren, W., Tian, X., Wei, Y., Luo, M. & Wei, X. (2023). TFAM deficiency in dendritic cells leads to mitochondrial dysfunction and enhanced antitumor immunity through cGAS-STING pathway. *Journal for Immunotherapy of Cancer*, 11 (3), 1-15.

Lupták, M. & Hroudová, J. (2019). Important role of mitochondria and the effect of mood stabilizers on mitochondrial function. *Physiological Research*, 68 (1), 3-15.

Lushchak, V. I. (2014). Free radicals, reactive oxygen species, oxidative stress and its classification. *Chemico-Biological Interactions*, 224, 164-175.

Mafra, D., Gidlund, E. K., Borges, N. A., Magliano, D. A. C., Lindholm, B., Stenvinkel, P. & von Walden, F. (2018). Bioactive food and exercise in chronic kidney disease: Targeting the mitochondria. *European Journal of Clinical Investigation*, 48 (11), 1-11.

Malik, M. S., Azam, M. & Basra, M. A. R. (2020). Impact of natural antioxidants on biological systems. *LGU Journal of Life Sciences*, 4 (2), 139-162.

Mangla, B., Javed, S., Sultan, M. H., Kumar, P., Kohli, K., Najmi, A., Alhazmi, H. A., Bratty, M. A. & Ahsan, W. (2021). Sulforaphane: A review of its therapeutic potentials, advances in its nanodelivery, recent patents, and clinical trials. *Phytotherapy Research*, 35 (10), 5440-5458.

Maresca, A., Del Dotto, V., Romagnoli, M., La Morgia, C., Di Vito, L., Capristo, M., Valentino, M. L., Carelli, V. & ER-MITO Study Group. (2020). Expanding and validating the biomarkers for mitochondrial diseases. *Journal of Molecular Medicine*, 98, 1467-1478.

Mariamenatu, A. H. & Abdu, E. M. (2021). Overconsumption of omega-6 polyunsaturated fatty acids (PUFAs) versus deficiency of omega-3 PUFAs in modern-day diets: The disturbing factor for their “balanced antagonistic metabolic functions” in the human body. *Journal of Lipids*, 2021 (1), 1-15.

Martínez-Fernández, L., Fernández-Galilea, M., Felix-Soriano, E., Escoté, X., González-Muniesa, P., & Moreno-Aliaga, M. J. (2018). Inflammation and oxidative stress in adipose tissue: Nutritional regulation. In Amelia M. del Moral & Concepción M. Aguilera (Eds.), *Obesity: Oxidative stress and dietary antioxidants* (pp. 63-92). Cambridge, USA: Academic Press.

Martínez-Fernández, L., Laiglesia, L. M., Huerta, A. E., Martínez, J. A. & Moreno-Aliaga, M. J. (2015). Omega-3 fatty acids

and adipose tissue function in obesity and metabolic syndrome. *Prostaglandins and Other Lipid Mediators*, 121, 24-41.

Maruthiyodan, S., Mumbrekar, K. D. & Guruprasad, K. P. (2024). Involvement of mitochondria in Alzheimer's disease pathogenesis and their potential as targets for phytotherapeutics. *Mitochondrion*, 76, 1-9.

Matías-Pérez, D., Antonio-Estrada, C., Guerra-Martínez, A., García-Melo, K. S., Hernández-Bautista, E. & García-Montalvo, I. A. (2024). Relationship of quercetin intake and oxidative stress in persistent COVID. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1-5.

McBride, J. (1999). *High-ORAC foods may slow aging*. (07/12/2024 tarihinde <https://www.ars.usda.gov/news-events/news/research-news/1999/high-orac-foods-may-slow-aging/> adresinden ulaşılmıştır).

McKnight, C. L., Low, Y. C., Elliott, D. A., Thorburn, D. R. & Frazier, A. E. (2021). Modelling mitochondrial disease in human pluripotent stem cells: What have we learned?. *International Journal of Molecular Sciences*, 22 (14), 1-44.

Mescher, A. L. (2016). *Junqueira's basic histology: Text and atlas* (Fourteenth edit). New York: McGraw Hill.

Minich, D. M. & Brown, B. I. (2019). A review of dietary (phyto)nutrients for glutathione support. *Nutrients*, 11 (9), 1-20.

Mishra, Y. & Kaundal, R. K. (2023). Role of SIRT3 in mitochondrial biology and its therapeutic implications in neurodegenerative disorders. *Drug Discovery Today*, 28 (6), 1-20.

Moloney, J. N. & Cotter, T. G. (2018). ROS signalling in the biology of cancer. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 80, 50-64.

Nabavi, S. F., Bilotto, S., Russo, G. L., Orhan, I. E., Habtemariam, S., Daglia, M., Devi, K. P., Loizzo, M. R., Tundis, R. & Nabavi, S. M. (2015). Omega-3 polyunsaturated fatty acids and cancer: Lessons learned from clinical trials. *Cancer and Metastasis Reviews*, 34, 359-380.

Najafi, N., Mehri, S., Rahbardar, M. G. & Hosseinzadeh, H. (2022). Effects of alpha lipoic acid on metabolic syndrome: A comprehensive review. *Phytotherapy Research*, 36 (6), 2300-2323.

Nema, P., Namdev, A., Dangi, A., Lodhi, A., Rohit, A. & Vishwakarma, H. (2022). A comprehensive review on antioxidant-rich natural fruit and vegetable products and human health. *Asian Journal of Dental and Health Sciences*, 2 (4), 17-25.

Ni, C., Jia, Q., Ding, G., Wu, X. & Yang, M. (2022). Low-glycemic index diets as an intervention in metabolic diseases: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, 14 (2), 1-15.

Ni, P., Ma, Y. & Chung, S. (2024). Mitochondrial dysfunction in psychiatric disorders. *Schizophrenia Research*, 273, 62-77.

Nicolson, G. L. (2014). Mitochondrial dysfunction and chronic disease: Treatment with natural supplements. *Integrative Medicine: A Clinician's Journal*, 13 (4), 35-43.

Nizamutdinov, D., Mukherjee, S., Deng, C., Stauss, H. M. & Shapiro, L. A. (2018). Gulf War agents pyridostigmine bromide and

permethrin cause hypersensitive nociception that is restored after vagus nerve stimulation. *Neurotoxicology*, 69, 93-96.

O'Mealey, G. B., Berry, W. L. & Plafker, S. M. (2017). Sulforaphane is a Nrf2-independent inhibitor of mitochondrial fission. *Redox Biology*, 11, 103-110.

Park, H. J., Choi, I. & Leem, K. H. (2021). Decreased brain pH and pathophysiology in schizophrenia. *International Journal of Molecular Sciences*, 22 (16), 1-17.

Peoples, J. N., Saraf, A., Ghazal, N., Pham, T. T. & Kwong, J. Q. (2019). Mitochondrial dysfunction and oxidative stress in heart disease. *Experimental & Molecular Medicine*, 51 (12), 1-13.

Pinto, A., Bonucci, A., Maggi, E., Corsi, M. & Businaro, R. (2018). Anti-oxidant and anti-inflammatory activity of ketogenic diet: New perspectives for neuroprotection in Alzheimer's disease. *Antioxidants*, 7 (5), 1-16.

Pruteanu, L. L., Bailey, D. S., Grădinaru, A. C. & Jäntschi, L. (2023). The biochemistry and effectiveness of antioxidants in food, fruits, and marine algae. *Antioxidants*, 12 (4), 1-32.

Rani, D. A. & Ritu, D. (2023). Importance of antioxidant in our life. *International Journal of Home Science*, 9 (2), 199-202.

Rodick, T. C., Seibels, D. R., Babu, J. R., Huggins, K. W., Ren, G. & Mathews, S. T. (2018). Potential role of coenzyme Q₁₀ in health and disease conditions. *Nutrition and Dietary Supplements*, 10, 1-11.

Rout, S. K., Priya, V., Setia, A., Mehata, A. K., Mohan, S., Albratty, M., Najmi, A., Meraya, A. M., Makeen, H. A., Tambuwala,

M. M. & Muthu, M. S. (2022). Mitochondrial targeting theranostic nanomedicine and molecular biomarkers for efficient cancer diagnosis and therapy. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, *153*, 1-23.

Saidaiah, P., Banu, Z., Geetha, A. & Khan, A. A. (2024). Glycemic index and COVID-19 management: A comprehensive review of low, medium and high glycemic index foods. *Annals of Phytomedicine*, *13* (1), 56-69.

Sarawi, W. S., Alhusaini, A. M., Fadda, L. M., Alomar, H. A., Albaker, A. B., Aljrboa, A. S., Alotaibi, A. M., Hasan, I. H. & Mahmoud, A. M. (2021). Curcumin and nano-curcumin mitigate copper neurotoxicity by modulating oxidative stress, inflammation, and akt/gsk-3 β signaling. *Molecules*, *26* (18), 1-13.

Schmidt, C. W. (2010). Unraveling environmental effects on mitochondria. *Environmental Health Perspectives*, *118* (7), 292-297.

Sendra, L., García-Mares, A., Herrero, M. J. & Aliño, S. F. (2021). Mitochondrial DNA replacement techniques to prevent human mitochondrial diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, *22* (2), 1-21.

Shi, W., Li, L., Ding, Y., Yang, K., Chen, Z., Fan, X., Jiang, S., Guan, Y., Liu, Z., Xu, D. & Wu, L. (2018). The critical role of epigallocatechin gallate in regulating mitochondrial metabolism. *Future Medicinal Chemistry*, *10* (7), 795-809.

Sifuentes-Franco, S., Sánchez-Macías, D. C., Carrillo-Ibarra, S., Rivera-Valdés, J. J., Zuñiga, L. Y. & Sánchez-López, V. A.

(2022). Antioxidant and anti-inflammatory effects of coenzyme Q10 supplementation on infectious diseases. *Healthcare*, 10 (3), 1-10.

Suárez-Rivero, J. M., Pastor-Maldonado, C. J., Povea-Cabello, S., Álvarez-Córdoba, M., Villalón-García, I., Talaverón-Rey, M., Suárez-Carrillo, A., Munuera-Cabeza, M., Reche-López, D., Cilleros-Holgado, P., Piñero-Perez, R. & Sánchez-Alcázar, J. A. (2022). UPR^{mt} activation improves pathological alterations in cellular models of mitochondrial diseases. *Orphanet Journal of Rare Diseases*, 17 (1), 1-23.

Suzuki, T., Nagao, A. & Suzuki, T. (2011). Human mitochondrial tRNAs: Biogenesis, function, structural aspects, and diseases. *Annual Review of Genetics*, 45 (1), 299-329.

Tahrir, F. G., Langford, D., Amini, S., Ahooyi, T. M. & Khalili, K. (2019). Mitochondrial quality control in cardiac cells: Mechanisms and role in cardiac cell injury and disease. *Journal of Cellular Physiology*, 234 (6), 8122-8133.

Takahashi, M., Suzuki, K., Kim, H. K., Otsuka, Y., Imaizumi, A., Miyashita, M. & Sakamoto, S. (2014). Effects of curcumin supplementation on exercise-induced oxidative stress in humans. *International Journal of Sports Medicine*, 35 (6), 469-475.

Teixeira, J., Deus, C. M., Borges, F. & Oliveira, P. J. (2018). Mitochondria: Targeting mitochondrial reactive oxygen species with mitochondriotropic polyphenolic-based antioxidants. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, 97, 98-103.

Thangapandian, S. & Miltonprabu, S. (2014). Epigallocatechin gallate supplementation protects against renal

injury induced by fluoride intoxication in rats: Role of Nrf2/HO-1 signaling. *Toxicology Reports*, 1, 12-30.

Trifunov, S., Paredes-Fuentes, A. J., Badosa, C., Codina, A., Montoya, J., Ruiz-Pesini, E., Jou, C., Garrabou, G., Grau-Junyent, J. M., Yubero, D., Montero, R., Muchart, J., Ortigoza-Escobar, J. D., O'Callaghan, M. M., Nascimento, A., Català, A., Garcia-Cazorla, À., Jimenez-Mallebrera, C. & Artuch, R. (2021). Circulating cell-free mitochondrial DNA in cerebrospinal fluid as a biomarker for mitochondrial diseases. *Clinical Chemistry*, 67 (8), 1113-1121.

Tripathi, A. K., Ray, A. K., Mishra, S. K., Bishen, S. M., Mishra, H. & Khurana, A. (2023). Molecular and therapeutic insights of alpha-lipoic acid as a potential molecule for disease prevention. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 33 (2), 272-287.

Ul-Haq, I., Khan, S., Awan, K. A. & Iqbal, M. J. (2022). Sulforaphane as a potential remedy against cancer: Comprehensive mechanistic review. *Journal of Food Biochemistry*, 46 (3), 1-31.

Uriho, A., Tang, X., Le, G., Yang, S., Harimana, Y., Ishimwe, S. P., Yiping, L., Zhang, K., Ma, S. & Muhoza, B. (2021). Effects of resveratrol on mitochondrial biogenesis and physiological diseases. *Advances in Traditional Medicine*, 21, 1-14.

Vairetti, M., Di Pasqua, L. G., Cagna, M., Richelmi, P., Ferrigno, A. & Berardo, C. (2021). Changes in glutathione content in liver diseases: An update. *Antioxidants*, 10 (3), 1-39.

Valera-Alberni, M. & Canto, C. (2018). Mitochondrial stress management: A dynamic journey. *Cell Stress*, 2 (10), 253-274.

Vasam, G., Reid, K., Burelle, Y., & Menzies, K. J. (2019). Nutritional regulation of mitochondrial function. In Béatrice Morio, Luc Pénicaud & Michel Rigoulet (Eds.), *Mitochondria in obesity and type 2 diabetes: Comprehensive review on mitochondrial functioning and involvement in metabolic diseases* (pp. 93-126). Cambridge, USA: Academic Press.

Vona, R., Pallotta, L., Cappelletti, M., Severi, C. & Matarrese, P. (2021). The impact of oxidative stress in human pathology: Focus on gastrointestinal disorders. *Antioxidants*, 10 (2), 1-26.

Wang, L., Hu, J. & Zhou, H. (2021). Macrophage and adipocyte mitochondrial dysfunction in obesity-induced metabolic diseases. *World Journal of Men's Health*, 39 (4), 606-614.

Wang, S. F., Tseng, L. M. & Lee, H. C. (2023). Role of mitochondrial alterations in human cancer progression and cancer immunity. *Journal of Biomedical Science*, 30 (1), 1-19.

Wang, Y., Chen, Y., Zhang, X., Lu, Y. & Chen, H. (2020). New insights in intestinal oxidative stress damage and the health intervention effects of nutrients: A review. *Journal of Functional Foods*, 75, 1-17.

Wang, Y., Li, X., Guo, Y., Chan, L. & Guan, X. (2010). Alpha-lipoic acid increases energy expenditure by enhancing AMPK-PGC-1 α signalling in the skeletal muscle of aged mice. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 59 (7), 967-976.

Wierzchanowska, W., Iwanicki, T., Nowak, T., Jarosz, A., Boryczka, G. & Waluga, M. (2022). Gut-brain axis and the risk of

autism spectrum disorders. *Pomeranian Journal of Life Sciences*, 68 (3), 34-41.

Wu, Y., Chen, M. & Jiang, J. (2019). Mitochondrial dysfunction in neurodegenerative diseases and drug targets via apoptotic signaling. *Mitochondrion*, 49, 35-45.

Xie, W. Q., Xiao, W. F., Tang, K., Hu, P. W., Li, Y. S., Duan, Y. & Lv, S. (2020). Caloric restriction: Implications for sarcopenia and potential mechanisms. *Aging (Albany NY)*, 12 (23), 24441-24452.

Yang, J., Guo, Q., Feng, X., Liu, Y. & Zhou, Y. (2022). Mitochondrial dysfunction in cardiovascular diseases: Potential targets for treatment. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 10, 1-19.

Yi, H. S., Chang, J. Y. & Shong, M. (2018). The mitochondrial unfolded protein response and mitohormesis: A perspective on metabolic diseases. *Journal of Molecular Endocrinology*, 61 (3), 91-105.

Yousef, A. O. S., Fahad, A. A., Moneim, A. E. A., Metwally, D. M., El-khadragy, M. F. & Kassab, R. B. (2019). The neuroprotective role of coenzyme Q10 against lead acetate-induced neurotoxicity is mediated by antioxidant, anti-inflammatory and anti-apoptotic activities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (16), 1-17.

Yu, H., Gao, Y. & Zhou, R. (2020). Oxidative stress from exposure to the underground space environment. *Frontiers in Public Health*, 8, 1-10.

Yu, T., Dohl, J., Elenberg, F., Chen, Y. & Deuster, P. (2019). Curcumin induces concentration-dependent alterations in mitochondrial function through ROS in C2C12 mouse myoblasts. *Journal of Cellular Physiology*, 234 (5), 6371-6381.

Yu, X., Pu, H. & Voss, M. (2024). Overview of anti-inflammatory diets and their promising effects on non-communicable diseases. *British Journal of Nutrition*, 132 (7), 898-918.

Yue, P., Jing, S., Liu, L., Ma, F., Zhang, Y., Wang, C., Duan, H., Zhou, K., Hua, Y., Wu, G. & Li, Y. (2018). Association between mitochondrial DNA copy number and cardiovascular disease: Current evidence based on a systematic review and meta-analysis. *PloS One*, 13 (11), 1-15.

Zamani, G. (2013). Role and function of mitochondria. *Iranian Journal of Child Neurology*, 7 (4), 3-4.

Zanella, L. & Vianello, F. (2023). Potential of microalgae as functional foods applied to mitochondria protection and healthy aging promotion. *Nutraceuticals*, 3 (1), 119-152.

Zhang, A., Wang, J., Zhao, Y., He, Y. & Sun, N. (2024b). Intermittent fasting, fatty acid metabolism reprogramming, and neuroimmuno microenvironment: Mechanisms and application prospects. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1-15.

Zhang, B., Chang, J. Y., Lee, M. H., Ju, S. H., Yi, H. S. & Shong, M. (2024a). Mitochondrial stress and mitokines: Therapeutic perspectives for the treatment of metabolic diseases. *Diabetes & Metabolism Journal*, 48 (1), 1-18.

Zhang, H., Qi, G., Wang, K., Yang, J., Shen, Y., Yang, X., Chen, X., Yao, X., Gu, X., Qi, L., Zhou, C. & Sun, H. (2023a). Oxidative stress: Roles in skeletal muscle atrophy. *Biochemical Pharmacology*, 214, 1-14.

Zhang, J., Lin, A., Powers, J., Lam, M. P., Lotz, C., Liem, D., Lau, E., Wang, D., Deng, N., Korge, P., Zong, N. C., Cai, H., Weiss, J. & Ping, P. (2012). Mitochondrial proteome design: From molecular identity to pathophysiological regulation. *Journal of General Physiology*, 139 (6), 395-406.

Zhang, X., Tang, Y., Lu, G. & Gu, J. (2023b). Pharmacological activity of flavonoid quercetin and its therapeutic potential in testicular injury. *Nutrients*, 15 (9), 1-21.

Zhao, C. N., Xu, Z., Wu, G. C., Mao, Y. M., Liu, L. N., Q. W., Dan, Y. L., Tao, S. S., Zhang, Q., Sam, N. B., Fan, Y. G., Zhou, Y. F., Ye, D. Q. & Pan, H. F. (2019). Emerging role of air pollution in autoimmune diseases. *Autoimmunity Reviews*, 18 (6), 607-614.

Zhao, X., Yu, M., Zhao, Y., Zheng, Y., Meng, L., Du, K., Xie, Z., Lv, H., Zhang, W., Liu, J., Wang, Q., Yuan, Y., Wang, Z. & Deng, J. (2022). Circulating cell-free mtDNA release is associated with the activation of cGAS-STING pathway and inflammation in mitochondrial diseases. *Journal of Neurology*, 269 (9), 4985-4996.

Zhou, D. D., Luo, M., Huang, S. Y., Saimaiti, A., Shang, A., Gan, R. Y. & Li, H. B. (2021). Effects and mechanisms of resveratrol on aging and age-related diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021 (1), 1-15.

Zorov, D. B., Plotnikov, E. Y., Silachev, D. N., Zorova, L. D., Pevzner, I. B., Zorov, S. D., Babenko, V. A., Jankauskas, S. S., Popkov, V. A. & Savina, P. S. (2014). Microbiota and mitobiota. Putting an equal sign between mitochondria and bacteria. *Biochemistry (Moscow)*, 79, 1017-1031.

BÖLÜM VI

Bitkisel ve Hayvansal Gıdalarda Su Ayak İzi

Tülay ELAL MUŞ¹
Ezgi KURTULMUŞ²

Giriş

Toplumların ihtiyaçlarının karşılanması ve sürdürülmesinde çok fazla miktarda su tüketilmekte veya kirlenmektedir. Toplam su tüketimi ve kirliliği genellikle su gerektiren ve/veya kirleten bağımsız faaliyetler olarak kabul edilmektedir. Yakın zamana kadar, su yönetimi bilimi ve uygulamasında tüm üretim ve tedarik zincirleri boyunca su tüketimi ve kirliliği hakkında çok az fikir bulunmaktaydı. Üretim, tedarik zincirinde organizasyon ve ürünün özelliklerine bağlı olarak harcanan ya da kirletilen su ile son tüketiciye ulaşan ürün ilişkilendirilerek su tüketimi ve kirlilik

¹ Doç. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Karacabey Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Bursa/Türkiye, Orcid: 0000-0002-3943-0097, tulayelalmus@uludag.edu.tr

² Dr. Öğr. Üyesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Karacabey Meslek Yüksekokulu, Hayvansal ve Bitkisel Üretim Bölümü, Bursa/Türkiye, Orcid: 0000-0003-2535-2566, ezgikaberli@uludag.edu.tr

hacimleri belirlenmektedir. Bu konuya ilişkin ortaya çıkan ve su kullanımını tedarik zincirleri boyunca ele alma fikri üzerine kurulu 'su ayak izi' kavramını ilk olarak Aralık 2002'de Arjen Y. Hoekstra tarafından kullanılmıştır (Hoekstra, 2003). Ardından Hoekstra & Chapagain (2008), ürünlerin ardındaki gizli su kullanımının görselleştirilmesinin, tatlı suyun küresel karakterini anlamada ve tüketim ile ticaretin su kaynakları kullanımı üzerindeki etkilerini ölçülebilir hale getirmeye yardımcı olabileceğini ortaya koymuştur. Su ayak izi, bir tüketicinin veya üreticinin yalnızca doğrudan su kullanımına değil, aynı zamanda dolaylı su kullanımını da değerlendiren bir tatlı su kullanım göstergesidir. Ürün bazında su ayak izi, tüm tedarik zinciri boyunca ölçülen, ürünü üretmek için kullanılan tatlı su hacmini kapsayan çok boyutlu bir göstergedir. Toplam su ayak izinin tüm bileşenleri coğrafi ve zamansal olarak belirtilmekte ve mavi, yeşil, gri su olarak sınıflandırılmaktadır. Mavi su ayak izi, bir ürünün tedarik zinciri boyunca yüzey ve yeraltı suyu gibi mavi su kaynaklarının tüketimini ifade etmektedir. Bu kavramda 'tüketim', bir su toplama alanındaki mevcut yeraltı-yüzey suyu kütlesinden su kaybını ifade etmektedir. Su kaybı, su buharlaştığında, başka bir su toplama alanına veya denize geri ulaştığında ya da bir ürün bileşimine girdiğinde meydana gelmektedir. Yeşil su ayak izi, akışa dönüşmeyen yağmur suyu gibi yeşil su kaynaklarının kullanımını ifade etmektedir. Gri su ayak izi ise, kirliliği ifade etmektedir. Kirliliği mevcut doğal arka plan konsantrasyonlarına indirmek ve mevcut ortam su kalitesi standartlarına getirmek için kirlilik yükünün azaltılması ya da ortadan kaldırılması için gereken tatlı su hacminin belirlenmesiyle hesaplanmaktadır (Hoekstra & ark., 2011).

Dünya çapında yapılan değerlendirmelerde her ülke için su ayakizi dağılımının farklılaştığı ortaya konmuştur. Amerika Birleşik Devletlerinde ortalama su ayak izi 181.966 milyar m³/yıl iken ve kişi başı ortalama su ayak izi 589 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. ABD hidroekonomik ağı şehirlere odaklandığından su tüketiminin yaklaşık %58'i şehir yaşamı içerisinde doğrudan ve dolaylı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, tarım ve hayvancılığın su ayak izi toplam ABD mavi su ayak izinin %93'ünü kapsamakta ve büyük çoğunluğu batı ABD'de tarımsal sulama amaçlı kullanımdan kaynaklanmaktadır (Rushforth & Ruddell, 2018). Avrupa ülkelerinde gıda tüketimi kaynaklı kişi başı su ayakizi 3291 L/gün olarak hesaplanmıştır (Gibin & ark., 2022). Amerika ve Avrupa'dan farklı olarak Çin'de su ayak izinin büyük bölümü ticari faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Hafif sanayi, tarım ve balıkçılık Çin su ayak izini oluşturan en önemli sektörlerdir (Wang & Ge, 2020). Türkiye'de ise toplam su ayakizi yılda 140 milyar m³ olarak gerçekleşmektedir. Tarım sektöründe su kullanımı Türkiye'nin toplam su ayak izinin %89'unu kapsarken, endüstriyel üretim %4'lük, evsel su kullanımı ise %7'lik paya sahiptir (Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu, 2014). Gıda ürünleri çiftlikten çatala ulaşana kadar maruz kaldığı tüm üretim basamaklarında büyük miktarlarda su ayak izi bırakmaktadır. Aşağıda bitkisel ve hayvansal gıdalara ilişkin su ayak izleri sınıflandırılarak detaylandırılmıştır.

Bitkisel gıdalarda su ayak izi

Tarımsal sistemlerde ürün verimliliği ve artan su stresi üzerine etki eden en önemli tehdit ve zorluklar arasında iklim değişikliği ve insan faaliyetleri bulunmaktadır. Su ayak izi, bitkisel ürün üretimini su döngüsüne yakından bağlayan ölçülebilir bir göstergedir ve

tarımda su kullanımının değerlendirilmesi için yeni bakış açıları sağlamaktadır (Wang & ark., 2023). Bitkisel üretim kaynaklı toplam su ayak izi artışının yaklaşık %90'ı 2000-2019 yılları arasında gerçekleşmiştir. Bu değişim, hızlanan ekonomik büyüme ve küreselleşmenin etkisiyle ithal ürün tüketiminin artması; küresel diyetler ile birlikte tatlandırılmış içecekler, şekerli ve yağlı gıda tüketimi eğiliminin artışı; bitkisel ürün bazlı biyoyakıt üretiminin hızlanması olmak üzere üç temel sosyoekonomik etkenin biraraya gelmesinden kaynaklanmaktadır (Mialyk & ark., 2024). Bitkisel gıdaların üretimindeki su kullanımının her yıl % 0,7 oranında arttığı göz önünde bulundurulduğunda bitkisel gıda üretimi için su gereksiniminin 6400 Gm³/yıl seviyesinden 2050 yılına kadar 9060 Gm³/yıla yükseleceği öngörülmektedir (Mekonnen & Hoekstra, 2013). Bitkisel gıdaların su ayak izi çeşitli faktörlere duyarlıdır. Doğal faktörlerde yağış ve bağıl nem, insan faktörlerinde ise ürün verimi ve tarım makineleri gücündeki artış tarımsal su ayak izini azaltmaktadır. Özellikle, rasyonel gübreleme faaliyetleri ve tarım makinelerinin iyileştirilmesi su ayakizini azaltmanın en etkili yollarıdır. Doğal faktörlere duyarlı bölgeler için, iklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkisine daha fazla dikkat edilmesi gerekmektedir (Wang & ark., 2023). Bazı bitkisel ürünlerin mavi, yeşil, gri ve toplam su ayakizi miktarları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1: Bazı bitkisel gıdaların su ayakizi seviyeleri

Bitkisel Gıda	Su Ayakizi (m ³ /ton-1)			
	Yeşil	Mavi	Gri	Toplam
Patates	0	198	28	226
Domates	136	64	12	212
Elma	495	310	23	828
Kiraz	1266	792	58	2116
Üzüm	457	259	27	743
Şeftali	1043	685	50	1778
Badem	3739	2750	183	6672
Soğan	129	88	35	252
Limon	149	125	28	302
Zeytin	2176	272	15	2607
Pirinç	511	1368	289	2168
Msır	626	116	207	949
Buğday	2052	125	192	2369
Yulaf	1683	142	145	1970
Çavdar	1099	1	164	1264
Kahve	11262	174	308	11744
Çay	2401	743	173	3317
Karabiber	5872	744	432	7048
Kimyon	5871	744	432	7048
Fındık	3047	717	220	4344
Ay çekirdeği	2504	137	141	2782
Yer fıstığı	996	1639	185	2820

Kaynaklar: Hossain & ark., 2020; Mekonnen & Hoekstra, 2012; Mekonnen & Hoekstra, 2011a; Mekonnen & Hoekstra, 2011b

Bitkisel ürünlerin su ayakizi mavi ve yeşil su ağırlıklıdır. İklim değişikliği ve çevreye duyarlı tüketiciler çeşitli sebeplerle günlük su ayakizi düzeylerini düşürmeye yönelik yaşam tarzlarını değiştirmektedirler. Bu noktada diyetlerde vegan ya da vejeteryan beslenme ön plana çıkmaktadır (Buruckner, 2024). Diğer taraftan bireylerin su ayak izini en aza indirmek için bitkisel diyet ağırlıklı beslenmeleri toplam su ayak izini azaltırken mavi su ayak izini

etkilememektedir. Ortalama diyet kalıplarında buğday, pirinç, mısır, yulaf ve arpa gibi birçok tahıl, kuruyemişler ve şeker de dahil olmak üzere bitkisel gıdalar mavi su ayakizinin önemli bileşenleridir. Sağlıklı diyetler ve vegan diyetlerde ise ana bileşenleri meyveler, yağlar ve kuruyemişlerdir ve bu gıdalar bitkisel mavi ayak izi yüksek ürünler arasında yer almaktadır. Bu nedenle, beslenmedeki bitkisel ürün içeriğini arttırmak her zaman daha az su kullanımına ve dolayısıyla su ayakizinde azalma meydana getirmemektedir (Harris & ark., 2020). Çay ve kahve gibi sıcak içecek hammaddelerinin üretim aşamalarında da yüksek miktarlarda su kullanımı söz konusudur. Tarımsal sulama ile elde edilen 1 litre kahve için 60-110 L su kullanılırken, sulama istemeyen sistemlerde üretilen kahveler için toplam su tüketimi yaklaşık 8 L olmaktadır (Usva & ark., 2020). Benzer şekilde çay üretiminde yüksek miktarlarda yeşil su kullanılırken bunu mavi ve gri su takip etmektedir (Ariyani & ark., 2022). Ayrıca Agnusdei & ark. (2022) nakliye sürecinde gıdalarda meydana gelen bozulmaların su kaybı yüzdesini yüksek bulmuş ve meyve sebzelerin su ayakizini arttıran zayıf noktalardan birinin de gıda tedarik zincirinin nakliye aşaması olduğunu ifade etmiştir.

Hayvansal gıdalarda su ayak izi

Küresel ölçekte insan nüfusundaki artış ile toplumların protein ihtiyacını karşılayan hayvansal gıdaların tüketimi artmıştır. Diğer taraftan, beslenme biçimlerindeki hızlı değişim, gıda üretimindeki su kullanımının artmasına neden olmuştur. Hayvansal kaynaklı gıda ürünleri yeşil su ayak izi yüksek ürünlerdir. Bu durum hayvanların içme suyu tüketmeleri ve bakım koşullarında şehir şebeke suyu kullanılmasından kaynaklanmaktadır (Harris & ark., 2020). Hayvanların bakımında tüketilen su, çiftlik avlusunu temizlemek,

hayvanı yıkamak ve çevreyi korumak için gerekli hizmetler için kullanılan suyu kapsamaktadır. Bir hayvanın beslenme ve bakımında kullanılan su ayak izi, $m^3/yıl/hayvan$ ya da hayvanın yaşam süresi boyunca veri toplanarak $m^3/hayvan$ olarak ifade edilmektedir. Kasaplık hayvan olan sığır, domuz, koyun, keçi ve etlik piliçler için hayvanın ömrünün sonundaki su ayak izine bakılmaktadır, çünkü et, sakatat, deri gibi çeşitli ürünlerin toplamını kapsamaktadır. Diğer taraftan, süt sığırları ve yumurta tavukları için, hayvanın yıl bazında su ayak izine bakılmaktadır, çünkü bu yıllık hayvan su ayak izini, ortalama yıllık süt, yumurta vb. üretimi ile ilişkilendirilebilmektedir (Bhagat & ark., 2020). Hayvansal ürünlerin su ayakizi, modern çiftçilik uygulamalarındaki artışla birlikte azaltılabilmektedir (Ibidhi & Ben Salem, 2020). Temel hayvansal gıdalara ilişkin mavi, yeşil ve gri su ayakizi düzeyleri Tablo 2’de verilmiştir. Kırmızı ve beyaz eterde kesimhane sistemlerindeki su kullanımı bu ürünlerdeki su ayakizini arttıran faktörler arasındadır (Demir, 2022). Diğer taraftan su ürünleri yetiştiriciliği de yüksek su ayakizi olan hayvansal ürün sektörleri arasındadır. Balık yetiştiriciliğinde havuzda gerçekleşen buharlaşma, seyretme ihtiyacı ve balık yemi üretimi noktalarında büyük miktarlarda yeşil su kullanımı söz konusudur (Dikel & Demirkale, 2023).

Tablo 2: Bazı hayvansal gıdaların su ayakizi düzeyleri

Hayvansal Gıda	Su Ayakizi (m ³ /ton-1)			
	Yeşil	Mavi	Gri	Toplam
Yumurta	3456	352	371	4179
Süt	914	116	103	1133
Terayağı	4954	632	556	6142
Peynir	4500	590	505	5595
Yoğurt	1058	135	119	1312
Tavuk eti	4586	485	504	5845
Dana eti	19514	882	730	21126
Koyun/keçi eti	7050	393	82	7525
Balık fileto	2909	7827	1873	12609

Kaynaklar: Guzman-Luna & ark., 2021; Mekonnen & Hoekstra, 2012; Mekonnen & Hoekstra, 2011a; Mekonnen & Hoekstra, 2011b

Süt sığırcılığında dolaylı su ayak izi süt çiftliği su ayak izinin %92'sinden fazlasını oluşturmaktadır. Yem/yem üretiminde kullanılan sulama suları süt su ayak izinin %99'unu oluşturmaktadır. Süt çiftliği aşaması ise yem üretiminde kullanılan su ile karşılaştırıldığında düşük etkiye sahiptir. Süt sığırı besiciliğinde doğrudan su gereksinimlerinin düşük etkisi yerine dolaylı su tüketimi önem taşımaktadır. Süt ve süt ürünlerinin su ayak izini azaltmak amacıyla besin değeri yüksek ve daha az su ile gelişim gösteren yem ürünlerinin seçilmesi ve yem protein içeriğinin düzenlenmesi önemlidir (Palhares & ark., 2020). Sütün peynir, yoğurt, tereyağı gibi ürünlere işlenmesi aşamalarında üretim tesisinin doğrudan su ayakizine etkisi incelendiğinde, yerinde yemizlik (Cleaning In Place) ve diğer temizlik işlemleri tesis su gereksinimlerinin %70'ini kapsamaktadır. Hayvansal ürünlerin su ayak izi, üretim sürecine ve bölgeye bağlı olarak değişkenlik

göstermektedir. Hassas analizler sonucunda, yüksek yağış ve çiğ süt üretimi için farklı tekniklerin uygulanmasının, tesise doğrudan etkisinin su kullanımını açısından %2 ile %15 arasında değişen düzeylerde katkı sağladığını göstermektedir (Vasilaki & ark., 2016).

Yumurtanın su ayak izi diğer hayvansal ürünlere oranla daha düşük seyretmektedir. Yumurtada da diğer hayvansal ürünler ile benzer şekilde su ayakizinin büyük çoğunluğu, yem bitkilerinin yetiştirilmesi kaynaklı dolaylı su ayakizidir. Yem su ayakizi, yoğun yumurta üretiminin toplam hacimsel su ayakizinin %99,8'ini oluşturmaktadır. Ayrıca, yeşil su ayakizi, toplam su ayakizinin en büyük yüzdesini oluşturmaktadır. Yem bitkileri yetiştirilmesinde su kullanım verimliliğini artırmak yeşil su ayakizini düşürürken; çiftlik su yönetimini iyileştirmek ve su tasarrufu sağlayan ekipmanlar eklemek mavi su ayakizini azaltmaktadır. Yumurtacı tavukların yem bitkilerinin yetiştirilmesinde gübreye olan bağımlılığı en aza indirmek, gri su ayakizine olumlu etki etmektedir. Diğer taraftan, yumurta üretiminin su ayakizi yumurtacı tavuk ırklarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği ortaya konmuştur (Xing & ark., 2019).

Hayvansal gıdalar insan sağlığı için son derece önemlidir. Hayvansal protein ağırlıklı diyetlerde su ayakizi düzeyleri farklılaşmaktadır. Bu diyetler arasında ketojenik diyet yüksek yağ ve et, düşük meyve ve tahıl içeriği ile hayvansal gıda ağırlıklı diyetler arasında en üst sıralardadır. Ketojenik diyetin bitkisel ve hayvansal gıda tüketiminin yakın düzeylerde tutulduğu diyetten daha yüksek bir çevresel etkiye (iklim etkisi, biyolojik çeşitliliğin kaybı, arazi kullanımı) sahip olduğu ortaya konmuştur. Ketojenik diyetin su ayakizi diğer diyetlere göre yüksek düzeyde gerçekleşmektedir (Tompa & ark., 2020). Diğer taraftan, mevcut günlük diyet su ayak

izi değerleri gıda temelli diyet kurallarına uygun hayvansal gıda içeren sağlıklı diyetlere geçişle azalmaktadır. Bu diyetler arasında kırmızı ve beyaz et, süt, yumurta gibi hayvansal gıdaların tümünü dengeli bir biçimde kapsayan sağlıklı diyetle su ayak izi %11-35 azalırken; hayvansal gıda olarak sadece balık eti içeren pesketaryen diyet ile beslenme durumunda su ayak izi %35-55 düşmektedir. Diyetlerin su ayak izindeki değişimler coğrafi bölgelere göre farklılaşmaktadır (Vanhan & ark., 2018).

Su ayakizinin hesaplanması

Hayvansal ve bitkisel gıdalar da dahil olmak üzere su ayak izini belirlemek ve izlemek için bazı standart ve kılavuzlar geliştirilmiştir. Bunlar arasında en bilinenleri Su Ayak İzi Ağı (Water Footprint Network), ISO 14046 (Çevre Yönetimi - Su Ayak İzi - İlkeler, Gereklilikler ve Yönergeler), Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) Programları, Küresel Su Aracı (Global Water Tool) kaynaklarıdır (Kumar & Joshiba, 2019). Mavi yeşil ve gri su ayakizinin hesaplanmasında FAO agronomik modelleri olan AquaCrop ve CROPWAT kullanılabilmektedir. FAO'nun Arazi ve Su Geliştirme Bölümü tarafından geliştirilen bir karar destek aracı olan CROPWAT, toprak, iklim ve ürün verilerine dayalı olarak ürün su ve sulama gereksinimlerinin hesaplanması için bir bilgisayar programıdır. Bu program ile farklı yönetim koşulları için sulama çizelgeleri geliştirilebilmekte ve farklı ürün desenleri için şema su temininin hesaplanabilmektedir. Ayrıca çiftçilerin sulama uygulamalarını değerlendirmek ve yağmurla beslenen ya da sulanan koşullarda ürün performansını öngörebilmektedir. FAO'nun Kara ve Su Bölümü tarafından gıda güvenliğini ele almak ve çevrenin ve yönetimin ürün üretimi üzerindeki etkisini değerlendirmek için

geliştirilen bir ürün büyüme modeli olan AquaCrop, otsu ürünlerin suya verdiği verim tepkisini simüle etmektedir. Suyun ürün üretiminde önemli bir sınırlayıcı faktör olduğu koşullara uygun bir modeldir. Geniş uygulanabilirlik için, az sayıda açık parametre ve basit yöntemlerden faydalanılarak belirlenebilen sezgisel girdi değişkenleri kullanılmaktadır (FAO, 2024).

Ürünler veya ekonomik sektörlere ilişkin doğrudan ve dolaylı doğal kaynak kullanımını ve emisyonlarını analiz etmek için geliştirilen üç farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler çevresel ayak izi değerlendirmesi (EFA), yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) ve çevresel olarak genişletilmiş girdi-çıktı (EE-IOA) analizidir. Üç yöntem de tedarik zincirleri boyunca doğrudan ve dolaylı su kullanımını ve kirliliği takip etmek için su ayakizi hesaplamalarında kullanılabilir. Bu yöntemlerin her birinin kendine özgü hedefi, yaklaşımı ve odağı bulunmaktadır. EFA kaynak kullanımının sürdürülebilirliği, verimliliği, eşitliği ve güvenliği ile ilgili makro sorulara odaklanmaktadır. LCA ürünlerin çevresel etkilerinin karşılaştırmalı analizine yoğunlaşırken, EE-IOA doğal kaynak kullanımının ve çevresel etkilerin ekonomi boyunca nasıl izlenebileceğini anlamak üzerine tasarlanmıştır (Hoekstra, 2017). Bu yöntemler kullanılarak gıda tedarik zincirinde su ayakizinin yüksek ve düşük olduğu aşamalar tespit edilebilmektedir. Böylece su ayakizi yüksek aşamalarda planlama ve değişiklikler yapılarak su ayakizini minimum seviyede tutmak için müdahaleler gerçekleştirilebilmektedir.

Sonuç

Hayvansal ve bitkisel gıdaların su ayak izi, farklı gelişim aşamalarına sahip, belirli besin gereksinimleri olan ve değişen iklim koşulları ve yönetim süreçlerinden etkilenen biyolojik sistemleri içermektedir. Bu nedenle, önemli etki yaratacak sonuçlara ulaşmak için tüm bu yönlerin birlikte ve birbirleriyle olan ilişkilerinin değerlendirilmesi önemlidir (Palhares & ark., 2020). Hayvansal gıda su ayakizinde en büyük payı hayvan yemi üretiminin kapladığı düşünüldüğünde, hem hayvansal hem de bitkisel ürünlerin su ayak izini azaltma noktasında sulama faaliyetlerine yönelik müdahaleler ve endüstriyel çiftçilik uygulamaları ile başarı sağlanabileceği öngörülmektedir. Tedarik zincirinde ürünler tarladan sofraya ulaşana kadar gerçekleşen kayıplarda gıdaların su ayakizini arttıran önemli noktalardan biridir. Bu noktada ise tedarik süresinin kısaltılması, soğuk ya da serin muhafaza şartlarının gözden geçirilmesi, tedarik sürecinde istiflemeye yaşanabilecek kayıplara yönelik önlemlerin alınması önem taşımaktadır. Bitkisel ve hayvansal ürün kayıplarını en aza indirecek yeni strajelerin geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Son tüketici noktasında vegan/vejeteryan ya da ketojenik diyetlerin tercih edilmesi su ayakizini dikkate değer derecede etkilemezken, kalori kontrolü yapılan protein/karbonhidrat/yağ dengesi besin ihtiyacına göre ayarlanmış sağlıklı diyetlerin daha düşük su ayak izine sahip olduğu görülmüştür. Üretici ve tüketicilerin çevre bilinci ve çevreye duyarlı üretim/satın alma davranışı kazanması ve bu davranışları içselleştirmesi noktasında toplumlarda su ayakizi farkındalığının geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

Kaynaklar

Agnusdei, G. P., Coluccia, B., Pacifico, A. M., & Miglietta, P. P. (2022). Towards circular economy in the agrifood sector: Water footprint assessment of food loss in the Italian fruit and vegetable supply chains. *Ecological indicators*, 137, 108781. Doi: [10.1016/j.ecolind.2022.108781](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108781)

Ariyani, M., Pitoi, M. M., Yusiasih, R., Maulana, H., Mastur, A. I., Koesmawati, T. A., ... & Sunardi, S. (2022). Water Footprint Analysis of Indonesian Tea: Exploring the Impact of Pesticides on the Grey Water Footprint. *EnvironmentAsia*, 15(1). Doi: 10.14456/ea.2022.5

Bhagat, S., Santra, A. K., Mishra, S., Khune, V. N., Bobade, M. D., Dubey, A., ... & Yadav, G. (2020). The water footprint of livestock production system and livestock products: A dark area: A review. *Int. J. Fauna Biol. Stud*, 7, 83-88.

Bruckner, D. W. (2024). Water Footprints and Veganism. *The Journal of Value Inquiry*, 1-18. Doi: 10.1007/s10790-023-09974-1

Demir, Y. (2023). Sığır eti üretiminde su ayak izi durumu. *Aydın Gastronomy*, 7(1), 161-171. Doi: 10.17932/IAU.GASTRONOMY.2017.016/gastronomy_v07i10011

Dikel, S., & Demirkale, İ. (2023). Su Ürünleri Üretiminin Su Ayakizi. *International Congresses of Turkish Science and Technology Publishing*, 14-18.

FAO – Food and Agriculture Organisation. (2024). <https://www.fao.org/land-water/databases-and->

software/cropwat/en/ ; <https://www.fao.org/aquacrop/en/> Erişim tarihi: 03.12.2024

Gibin, D., Simonetto, A., Zanini, B., & Gilioli, G. (2022). A framework assessing the footprints of food consumption. An application on water footprint in Europe. *Environmental Impact Assessment Review*, 93, 106735. Doi: [10.1016/j.eiar.2022.106735](https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106735)

Guzmán-Luna, P., Gerbens-Leenes, P. W., & Vaca-Jiménez, S. D. (2021). The water, energy, and land footprint of tilapia aquaculture in Mexico, a comparison of the footprints of fish and meat. *Resources, Conservation and Recycling*, 165, 105224. Doi: [10.1016/j.resconrec.2020.105224](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105224)

Harris, F., Moss, C., Joy, E. J., Quinn, R., Scheelbeek, P. F., Dangour, A. D., & Green, R. (2020). The water footprint of diets: a global systematic review and meta-analysis. *Advances in Nutrition*, 11(2), 375-386. Doi: [10.1093/advances/nmz091](https://doi.org/10.1093/advances/nmz091)

Hoekstra, A. Y. (2017). Water footprint assessment in supply chains. *Sustainable supply chains: a research-based textbook on operations and strategy*, 65-85. Doi: doi.org/10.1007/978-3-319-29791-0_4

Hoekstra, A. Y., & Hung, P. Q. (2003). Virtual water trade. In *Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade* (Vol. 12, pp. 1-244).

Hoekstra, A. Y. & Chapagain, A. K. (2008). *Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources*. UK: Blackwell Publishing.

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting The Global Standard*. UK: Earthscan.

Hossain, I., Imteaz, M. A., & Khastagir, A. (2021). Water footprint: applying the water footprint assessment method to Australian agriculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(10), 4090-4098. Doi: [10.1002/jsfa.11044](https://doi.org/10.1002/jsfa.11044)

Ibidhi, R., & Salem, H. B. (2020). Water footprint of livestock products and production systems: a review. *Animal Production Science*, 60(11), 1369-1380. Doi: 10.1071/AN17705

Mekonnen, M., & Hoekstra, A. Y. (2013). Water footprint benchmarks for crop production, Value of Water Research Report Series No. 64, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*, 15(3), 401-415. Doi: 10.1007/s10021-011-9517-8

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011a). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and earth system sciences*, 15(5), 1577-1600. Doi: 10.5194/hess-15-1577-2011

Mekonnen, M., & Hoekstra, A. Y. (2011). National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption. Volume 2: appendices.

Mialyk, O., Booij, M. J., Schyns, J. F., & Berger, M. (2024). Evolution of global water footprints of crop production in 1990–

2019. *Environmental Research Letters*, 19(11), 114015. Doi: 10.1088/1748-9326/ad78e9

Palhares, J. C. P., Novelli, T. I., & Morelli, M. (2020). Best practice production to reduce the water footprint of dairy milk. *Revista Ambiente & Água*, 15(1), e2454. Doi: 10.4136/ambiente-agua.2454

Rushforth, R. R., & Ruddell, B. L. (2018). A spatially detailed blue water footprint of the United States economy. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(5), 3007-3032. Doi: 10.5194/hess-22-3007-2018

Senthil Kumar, P., & Janet Joshiba, G. (2019). Water footprint of agricultural products. *Environmental Water Footprints: Agricultural and Consumer Products*, 1-19. Doi: 10.1007/978-981-13-2508-3_1

Tompa, O., Lakner, Z., Oláh, J., Popp, J., & Kiss, A. (2020). Is the sustainable choice a healthy choice? - Water footprint consequence of changing dietary patterns. *Nutrients*, 12(9), 2578. Doi: [10.3390/nu12092578](https://doi.org/10.3390/nu12092578)

Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu. (2014) Su, Üretim ve Uluslararası Ticaret İlişkisi, WWF-Türkiye

Usva, K., Sinkko, T., Silvenius, F., Riipi, I., & Heusala, H. (2020). Carbon and water footprint of coffee consumed in Finland - life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25, 1976-1990. Doi: 10.1007/s11367-020-01799-5

Vanham, D., Comero, S., Gawlik, B. M., & Bidoglio, G. (2018). The water footprint of different diets within European sub-

national geographical entities. *Nature Sustainability*, 1(9), 518-525. Doi: [10.1038/s41893-018-0133-x](https://doi.org/10.1038/s41893-018-0133-x)

Vasilaki, V., Katsou, E., Ponsá, S., & Colón, J. (2016). Water and carbon footprint of selected dairy products: A case study in Catalonia. *Journal of cleaner production*, 139, 504-516. Doi: [10.1016/j.jclepro.2016.08.032](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.032)

Wang, Q., & Ge, S. (2020). Carbon footprint and water footprint in China: Similarities and differences. *Science of the Total Environment*, 739, 140070. Doi: [10.1016/j.scitotenv.2020.140070](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140070)

Wang, Q., Huang, K., Liu, H., & Yu, Y. (2023). Factors affecting crop production water footprint: A review and meta-analysis. *Sustainable Production and Consumption*, 36, 207-216. Doi: [10.1016/j.spc.2023.01.008](https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.01.008)

Xing, H., Zheng, W., Li, B., Liu, Z., & Zhang, Y. (2019). Water footprint assessment of eggs in a parent-stock layer breeder farm. *Water*, 11(12), 2546. Doi: [10.3390/w11122546](https://doi.org/10.3390/w11122546)