
VETERİNER GIDA HİJYENİ VE TEKNOLOJİSİ DEĞERLENDİRMELERİ

Editör: Prof.Dr. Özden ÇOBANOĞLU

Veteriner Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Değerlendirmeleri

Editör

Prof.Dr. Özden ÇOBANOĞLU

yaz
yayınları

2025

Veteriner Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Değerlendirmeleri

Editör: Prof.Dr. Özden ÇOBANOĞLU

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8508-20-8

Ekim 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

A2 Sütü Proteinlerinin Genetik Varyantlarının İnsan Sağlığı ve Süt Endüstrisine Yansımaları.....2

Burak BABACAN, Özden ÇOBANOĞLU

Süt ve Ürünlerinde Ağır Metal Kirliliği.....24

Sema ÖZMERT ERGİN

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

A2 SÜTÜ PROTEİNLERİNİN GENETİK VARYANTLARININ İNSAN SAĞLIĞI VE SÜT ENDÜSTRİSİNE YANSIMALARI

Burak BABACAN¹

Özden ÇOBANOĞLU²

1. GİRİŞ

Süt, insan beslenmesinde temel bir gıda kaynağı olarak tarih boyunca önemini korumuştur. Zengin besin içeriği ve yüksek biyoyararlanımı sayesinde her yaştan birey için önemli bir besin kaynağıdır. Özellikle kalsiyum gibi önemli mineraller ve vitaminler açısından zengin içeriğiyle, çocuklardan yaşlı bireylere kadar farklı yaş gruplarının beslenme ihtiyaçlarını karşılamada hayati bir rol oynamaktadır. Kalsiyum, sadece kemik ve diş sağlığını güçlendirmekle kalmaz, aynı zamanda kasların doğru çalışmasını sağlar ve sinir hücreleri arasındaki iletişimi düzenler. Ayrıca, vücutta elektriksel sinyallerin iletilmesine yardımcı olarak kas hareketlerini ve sinirsel yanıtları yönlendirir. Ancak, her bireyin yaşı, metabolizması ve fizyolojik durumu, günlük kalsiyum ihtiyacını farklı şekilde etkileyebilir. Bu nedenle, süt tüketimi kişisel ihtiyaçlara göre ayarlanmalı ve vücudun mineral dengesi korunarak genel sağlık desteklenmelidir.

Sütün tarihçesi, M.Ö. 4000'lere kadar uzanır ve evcilleştirilen ilk süt sığırları, insan yaşamının vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Eski toplumlarda süt, birçok kültürde saflığı ve bereketi simgeleyen bir madde olarak kabul edilmiştir ve bazen dini törenlerde kullanılmıştır. 19. yüzyılda ise, sütün güvenliğini artıran teknolojik yenilikler, özellikle pastörizasyon ve homojenizasyon gibi yöntemlerin ortaya çıkmasıyla, süt daha sağlıklı hale gelmiş ve raf ömrü uzun süreler boyunca korunabilir olmuştur. Bugün ise, sütün çeşitliliği; farklı yağ oranları, organik üretim yöntemleri ve uzun

¹ Moleküler Biyolog, Bursa Uludağ Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Genetik Anabilim Dalı, babacan.burak16@gmail.com, ORCID: 0009-0003-6827-1026.

² Prof. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Genetik Anabilim Dalı, ocobanoglu@uludag.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9633-634X.

ömürlü seçeneklerle artmış, tüketicilerin çeşitli tercihlerine hitap eden alternatifler sunulmuştur (Jacob MA, 2023).

Sütün besin değeri, içerdiği vitamin ve minerallerin yanı sıra, zengin protein yapısıyla da dikkat çeker. Özellikle süt proteinleri, insan sağlığına olan faydaları ve süt ürünlerinin kalitesine etkileri nedeniyle önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Günümüzde yapılan araştırmalar, kazein proteinlerindeki genetik farklılıkların biyoyararlanım, sindirilebilirlik ve alerjik reaksiyonlar üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır. Bu kapsamda, β -kazein proteinindeki genetik varyantların sindirim ve metabolizma üzerindeki farklı etkileri detaylı şekilde incelenmektedir. A1 ve A2 β -kazein varyantlarının biyokimyasal farklılıkları, insan sağlığı üzerindeki etkileri konusunda önemli bilimsel çalışmaların konusu olmuştur. Sonuç olarak, A2 sütü, sindirimi daha kolay ve alerjik reaksiyonlara daha az yol açtığı düşünülen bir seçenek olarak, özellikle hassas sindirim sistemine sahip kişiler için daha uygun bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.

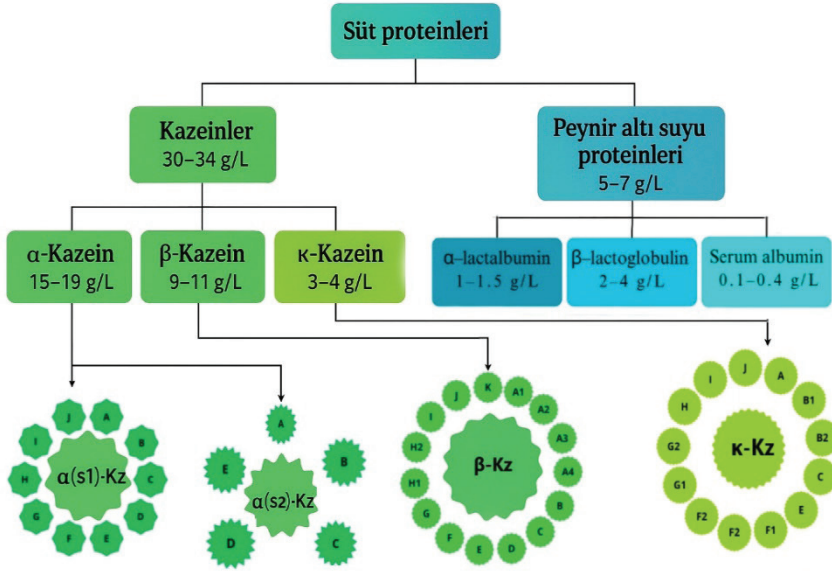
Bu çalışmada, A1 ve A2 varyantlarının biyokimyasal farkları detaylı bir şekilde incelenmiş, özellikle bu varyantların sindirim sistemiyle olan ilişkisi ve insan sağlığı üzerindeki etkileri, hem vücut fonksiyonları hem de sinir sistemi üzerindeki etkiler açısından kapsamlı bir şekilde tartışılmıştır. Ayrıca, A2 sütüne yönelik artarak devam eden ilgiye karşı bu talebi karşılamak amacıyla geliştirilen genetik seleksiyon yöntemleri de bu bölümde ele alınarak ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

2. KAZEİN POLİMORFİZMİNİN BİYOLOJİK TEMELLERİ

Araştırmalar, sütteki bazı kazein izoformlarının insan vücudu tarafından daha iyi tolere edildiğini göstermektedir. Mevcut bulgular, süt tüketiminin bireyin genetik ve fizyolojik özelliklerine göre uyarlanması gerektiği düşüncesini güçlendirmektedir. Bu çerçevede kazein polimorfizmi, giderek daha fazla ilgi gören bir araştırma konusu alanı hâline gelmiştir.

Sütün protein bileşenleri, fizikokimyasal nitelikleri temel alınarak kazeinler ve peynir altı suyu (whey) proteinleri olmak üzere iki ana grupta incelenebilir (Şekil 1). Bu iki protein ailesi, hem besinsel profilleri hem de teknofonksiyonel rolleri açısından belirgin farklılıklar gösterir. Kazein proteinleri, süt ve süt ürünlerinin işlenmesi sürecinde ve elde edilen ürünlerin fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Kazein grubu toplam proteinin yaklaşık %80'ini oluşturur ve bu grubun

da %30-35'lik önemli bir kısmını ise **β -kazein** oluşturmaktadır (Sebastiani et al., 2022). Kazein proteininin önemi, farklı varyantlarının yapısal farklılıklarını ve bu yapıların biyolojik işlevlere etkisini ortaya koymaya yönelik derinlemesine bilimsel çalışmaların yapılmasına olanak sunmasıdır. Sığır kazein genlerindeki polimorfizmler, süt verimi ve içeriğiyle birlikte, bu değişikliklerin insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerini de incelemek için önemli bir alan teşkil etmektedir (Cendron et al., 2021; Miluchová et al., 2023; Vigolo et al., 2022).

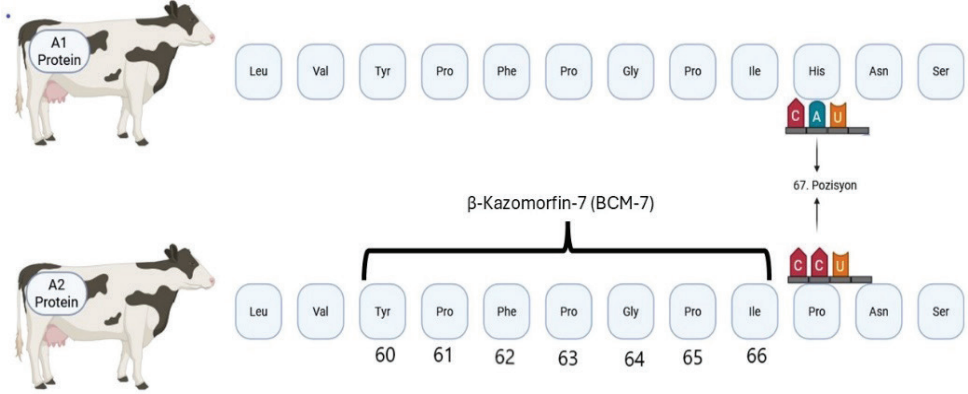


Şekil 1. A1 ve A2 β -Kazein Varyantlarının Amino Asit Dizilimlerindeki Yapısal Farklılıklar (Borş et al., 2024).

Sütün temel proteinlerinden biri olan β -kazein, genetik yapısındaki farklılıklarla dikkat çeker. β -kazein proteini, genetik açıdan çeşitlilik gösterir ve süt sığırlarında en yaygın görülen formlar A1 ve A2 varyantlarıdır. Bu varyantlar arasındaki fark, aslında tek bir amino asit düzeyinde meydana gelir. Zincirin 67. pozisyonundaki küçük bir değişim, A1 formunda histidin (His) amino asidinin, A2 formunda ise prolinin (Pro) bulunmasıyla karakterizedir (Şekil 2). Bu tek amino asitlik değişiklik, sadece yapısal bir fark yaratmakla kalmaz, aynı zamanda β -kazeinin sindirim sürecindeki metabolizmasını ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini farklılaştıran önemli bir rol oynar (Jeong et al., 2024).

A2 varyantı, özellikle Guernsey ve Jersey gibi Avrupa'nın Kanal Adaları'na özgü ırklarında ve bazı yerli sığır türlerinde daha yaygın görülmektedir. Süt

kaynakları incelendiğinde, sadece belirli inek ırklarının değil, aynı zamanda keçi, manda, koyun gibi farklı memeli türlerinin sütlerinde de β -kazein çeşitliliği gözlemlenmektedir. Ayrıca insan sütünde de A2 β -kazeinin bulunması, insanın bu protein formunu sindirmeye metabolik olarak daha yatkın olabileceğini düşündürmektedir (Yaman Fırıncıoğlu & Kılıç, 2021).



Şekil 2. A1 ve A2 β -Kazein Formlarında Amino Asit Dizilimi ve 67. Pozisyonadaki Farklılığın BCM-7 Oluşumuna Etkisi (Jeong et al., 2024)

3. BCM-7 PEPTİDİ: FİZYOLOJİK ETKİLER

β -kazein proteinindeki tek bir amino asit değişikliği, proteinin sindirimi sırasında ortaya çıkan biyolojik ürünleri doğrudan etkiler. A1 varyantı, sindirim sürecinde dikkat çekici bir özellik sergiler. Opioid benzeri etkileriyle bilinen biyoaktif bir peptit olan beta-kazomorfın-7 (BCM-7), A1 tipi β -kazeinin sindirim kanalındaki enzimatik yıkımının bir ürünüdür. Bu molekül, absorbe edildikten sonra dolaşıma karışarak immün, nörolojik ve enterik sistemler üzerinde çeşitli fizyolojik değişiklikleri tetikleyebilir.

Moleküler düzeyde opioidlere olan yapısal benzerliği nedeniyle BCM-7, sinir sistemindeki özgün opioid alıcılarını (reseptörlerini) tanıyarak onlara tutunma yeteneği sergiler. Bu etkileşim, peptidin nörolojik düzeyde çeşitli biyolojik yanıtları tetikleme potansiyeli taşıdığı ve bu yolla nörofizyolojik fonksiyonları modüle edebileceği anlamına gelir. Moleküler düzeyde, opioid reseptörlerine bağlanabilme yeteneği, sinirsel ve davranışsal işlevlerle ilişkilendirilmesine yol açmaktadır. A1 β -kazeinin sindirimi BCM-7 oluşumuna yol açabilir. Bu peptidin nörolojik ve fizyolojik etkileri literatürde kapsamlı biçimde araştırılmıştır. Bu araştırmalar, BCM-7'nin sinir, bağışıklık

ve sindirim sistemi gibi temel fizyolojik işlevler üzerindeki etkilerini ayrıntılı olarak ele almıştır.

A2 β -kazein formunda prolinin özgül yerleşimi, proteolitik kesimleri azaltıcı etki gösterir. Bu yapısal özellik sayesinde A2 β -kazeinin sindirimi, BCM-7 gibi biyoaktif peptitlerin salınımını inhibe eder. Bu durum, A2 formunun fizyolojik etkileşim potansiyelini önemli ölçüde azaltır ve A1 varyantına hassasiyet gösterebilen bireyler için sindirimsel tolerabilitesi daha yüksek bir alternatif olmasını sağlar (Ristanic et al., 2021).

4. SAĞLIK AÇISINDAN A1 VE A2 B-KAZEİN PROTEİNLERİNİN ETKİLERİ

A1 ve A2 β -kazein polimorfizminin insan sağlığına yansımaları, bu iki proteinin gastrointestinal sistemdeki metabolizması sırasında sergiledikleri farklı biyokimyasal profiller ve tetikledikleri fizyolojik tepkilerle anlaşılmaktadır. A1 sütü, sindirim sırasında β -kazomorfın-7 (BCM-7) adlı bir peptid üretir. Bu peptid, bağırsak geçirgenliğini artırarak inflamasyonu ve oksidatif stresi tetikleyebilir, bu durum da sindirim problemleri ile alerjik reaksiyonları tetikleyebilir. Birçok çalışmada, A1 sütü tüketiminin Tip 1 diyabet, kalp hastalıkları, kabızlık, otizm spektrum bozuklukları ve ani bebek ölümü gibi sağlık sorunlarıyla ilişkili olabileceğini öne sürülmektedir. Aksine, A2 sütünün metabolizması A1 sütü kadar BCM-7 açığa çıkarmadığı için, A1 varyantıyla ilişkilendirilen bu tür patofizyolojik sonuçlar doğurması beklenmemektedir. Bu sebeple A2 sütünün A1 süte kıyasla daha az gastrointestinal rahatsızlık, inflamasyon ve nörolojik stres ile ilişkili olduğunu söylemek mümkündür (Choi et al., 2024; González-Rodríguez et al., 2025). Ayrıca son yıllarda yapılan çalışmalar A2 sütünün çocuklarda bilişsel performansı artırabileceğini de göstermiştir (González-Rodríguez et al., 2025). Bu nedenle, özellikle hassas bireyler için A2 sütü, sindirim konforunu artırmak ve inflamasyona bağlı semptomları azaltmak ve özellikle laktoz intoleransı ile karıştırılan kazein hassasiyeti açısından daha güvenli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Jeong et al., 2024).

A1 β -kazeinin sindirimi sırasında açığa çıkan BCM-7 peptidi, bağırsaklarda fermentasyonu artırarak kısa zincirli yağ asidi profillerini değiştirebilir ve sindirim rahatsızlıklarına yol açabilir. Ayrıca, bağırsak bariyerinin bütünlüğü zayıflayabilir, bu da laktoz intoleransı, husursuz (irritabl) bağırsak sendromu (IBS) ve alerjik reaksiyonları daha da kötüleştirebilir. Bunun yanı

sıra, BCM-7'nin kan-beyin bariyerini geçme kapasitesi, nörolojik sağlık açısından potansiyel olumsuz etkiler yaratabileceği endişelerini beraberinde getirmektedir. Buna karşın, sadece A2 β -kazein içeren süt, özellikle gastrointestinal sağlık açısından daha olumlu sonuçlarla ilişkilendirilmiştir.

Yapılan araştırmalar, A2 sütünün *Bifidobacterium spp.* gibi faydalı bakterilerin popülasyonunu artırdığını, iltihaplanmayı azalttığını ve sindirim hassasiyetleri olan bireyler tarafından daha iyi tolere edildiğini göstermektedir. A1 β -kazein tüketiminin iltihaplanma ve kardiyovasküler hastalık riski ile ilişkilendirilebileceği öne sürülse de, bu konuda kesin bir bağlantı kurmak için daha fazla araştırma yapılması gerektiği vurgulanmaktadır. İlginç bir şekilde, A2 β -kazein içeren süt, gastrointestinal rahatlık, daha iyi bilişsel performans ve özellikle laktoz intoleransı olan çocuklarda daha olumlu bir bağışıklık yanıtı ile ilişkilendirilmiştir. Bu nedenle A2 sütü, A1 sütüne göre daha az BCM-7 ürettiğinden, sindirim sorunları, inflamasyon ve iyileşme süreçlerinde bireylere fayda sağlayabilecek bir seçenek olarak tercih edilebilir. Ancak, bu bulguların daha iyi anlaşılabilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu da araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir (González-Rodríguez et al., 2025).

Mevcut literatürdeki bazı çalışmalar, A2A2 ve A1A2 sütlerinin gastrointestinal semptomlar ve inflamatuvar belirteçler üzerindeki etkileri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptamamıştır. Ancak, A2 sütü özellikle laktoz intoleransı olan bireylerde daha az sindirim problemi yaratmış ve normal dışkılama oranının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. A2 sütü, gaz ve şişkinlik gibi rahatsızlıkları hafifleterek, bu tür sorunları yaşayan bireyler için daha uygun bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, inflamasyonla ilişkili göstergeler olan kalprotectin ve C-reaktif protein (hs-CRP) seviyelerinde herhangi bir artış gözlemlenmemiştir. Bu bulgular, A2 sütünün inflamatuvar yanıtlar bakımından A1A2 sütüne kıyasla anlamlı bir üstünlük sağlamasa da, gastrointestinal tolerans açısından daha elverişli bir seçenek olduğunu ortaya koymaktadır (Mannila et al., 2025).

A2 sütünün faydaları sindirim konforuyla sınırlı kalmayıp, atletik performans gibi özel alanlarda da potansiyel sunduğu bildirilmektedir. Spor fizyolojisi alanındaki güncel araştırmalar, A2 sütünün sporcular için de etkili bir enerji ve toparlanma desteği sağladığı, bu sayede atletik performans üzerinde olumlu etkiler yarattığı tespit edilmiştir. Özellikle, A2 sütü tüketiminin, kas hasarını iyileştirme, dayanıklılığı artırma ve egzersiz sonrası hızlı iyileşme gibi performans üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermiştir. Bu da A2 sütünü sporcular için ideal bir seçenek haline getirmektedir (Kaplan et al., 2022).

Sonuç olarak, A1 ve A2 β -kazein varyantlarının insan sağlığı üzerindeki etkileri, özellikle gastrointestinal sağlık, bağışıklık fonksiyonu ve nörogelelim açısından daha ayrıntılı bir şekilde incelenmelidir. A1 β -kazeinin, Tip 1 diyabet ve kardiyovasküler hastalıklarla ilişkili olabileceği öne sürölse de, bu bağlantıların kesin olarak doğrulanabilmesi için daha fazla araştırmanın yapılması gerekmektedir. A2 sütü, sindirim açısından daha iyi tolere edilebilen bir seçenek sunar ve bazı bireyler için daha güvenli bir alternatif olabilir. Ancak, her iki süt tipinin de uzun vadeli sağlık etkileri üzerine yapılacak daha kapsamlı çalışmalar, bu konuda daha net bir anlayışa sahip olmamıza yardımcı olacaktır (Kay et al., 2021).

A1 ve A2 sütü arasındaki sağlık etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için gelecekte yapılacak araştırmaların örneklem büyüklüklerini artırması ve daha geniş bir demografik kesimi içermesi gerekecektir. Uzun süreli klinik araştırmalar, A1 ve A2 sütü arasındaki sağlık etkilerini daha ayrıntılı bir şekilde inceleyerek, bu alandaki bilimsel bilgilerin daha sağlam bir temele dayandırılmasını sağlayabilir. Ayrıca, klinik araştırmalarda plasebo etkilerinin minimize edilmesi ve metodolojik olarak daha güçlü araştırma tasarımlarının kullanılması, elde edilen bulguların güvenilirliğini de artıracaktır.

5. A2 SÜTÜNÜN TİCARİLEŞMESİ VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

Gerek süt endüstrisindeki yenilik arayışları gerekse değişen tüketici beklentileri, A2 sütünün son yıllarda hem ticari hem de sağlık açısından değerini hızla artıran bir ürün olarak konumlanmasını sağlamıştır. Gelişen gıda bilimleri ve artan sağlık bilinci, sindirimi kolay ve alerjen riski düşük ürünlere olan ilgiyi artırmıştır. A1 proteinine bağlı sindirim sorunlarının A2 sütüyle çözülebileceğini gösteren bilimsel kanıtların artması, bu ürünün talebinin artmasına neden olmuştur.

A2 sütü, konvansiyonel süt işleme tekniklerine benzer şekilde pastörizasyon, UHT ve fermentasyon gibi işlemlerle uyumlu olup, yoğurt, peynir ve süt tozu üretiminde de fonksiyonel özelliklerini koruyarak etkin bir şekilde kullanılabilir.

Bununla birlikte, A2 süt üretiminin sınırlı olması, bu ürünün piyasada ‘niş pazarların da hızla büyüyen bir segment’ olarak konumlanmasına neden olmaktadır. Bu durum, A2 sütünün ticari potansiyelini artırma yönündeki

çalışmaların önemini de gözler önüne sermektedir. Markalaşma stratejileri ve genetik seleksiyonla A2 genotipine sahip hayvanların sayısının artırılması, bu ürünün daha geniş bir pazara hitap etmesini sağlayabilecektir. Bu bağlamda, A2 sütü, “fonksiyonel gıda” ve “kişiselleştirilmiş beslenme” gibi hem sağlık odaklı gıda trendlerine yanıt veren hem de endüstride farklılaşma fırsatları sunan yenilikçi bir ürün olarak dikkat çekmektedir (Žbik et al., 2024).

Süt sektöründe A2 sütüne yönelik yükselen talep, giderek daha fazla süt üreticisini bu alana yatırım yapmaya yönlendirmektedir. A2 sütünün üstün sindirilebilirlik özelliği, laktoz intoleransı yaşayan ve konvansiyonel süt ürünlerine hassasiyet gösteren bireyler için onu tercih edilen bir seçenek haline getirmekte ve böylece önemli bir beslenme sorununa çözüm sunmaktadır. İşte bu çözüm odaklı yaklaşım, ürünün ticari başarısının temelini oluşturmakta ve süt endüstrisinin daha önce dışarıda bıraktığı bu değerli pazara girmesini sağlamaktadır. Özellikle Holstein gibi sığır ırklarında yapılan genetik seleksiyonla A2 varyantının oranı artırılabilir ve bu da üretim verimliliği ile ilgili ticari fırsatlar yaratabilir (Scott et al., 2023). Ancak A2 sütüne yönelik artan bu talep, seleksiyon baskısının yoğunlaşmasına ve özellikle bazı ırklarda soy içi akrabalı yetiştirme oranlarının artmasına bağlı olarak sürülerde yavru kayıplarına ve yaşam boyu verim düşüklüğüne neden olabileceği de göz ardı edilmemelidir (Scott et al., 2023). Özünde A2 sütü, artan tüketici sağlık bilinci ile sektörün ticari büyüme hedeflerinin kesişim noktasında yer almakta; bu sayede hem bireysel refaha hizmet eden bir ürün hem de endüstri için değerli bir inovasyon platformu olarak öne çıkmaktadır.

6. TÜKETİCİ ALGISI, PAZARLAMA STRATEJİLERİ VE BİLİMSEL TARTIŞMALAR

A2 sütünün artan popüleritesi, yalnızca biyokimyasal özelliklerine değil, aynı zamanda değişen tüketici profili ve etkili pazarlama stratejilerine de derinden bağlıdır. Günümüz tüketicisi, “temiz etiket”, “fonksiyonel gıda” ve kişiselleştirilmiş beslenme gibi kavramlara giderek daha fazla önem vermektedir. A2 sütü, “sindirim kolaylığı” ve “daha doğal” olduğu iddiasıyla bu taleplere doğrudan yanıt vermiş ve sağlık bilinci yüksek bir kitlede hızla karşılık bulmuştur. Bu durum, ürünün başarısının sadece bilimsel kanıtlara değil, aynı zamanda sosyokültürel trendlere ne kadar duyarlı olduğunun da bir göstergesidir (Aschemann-Witzel et al., 2019).

Ancak, A2 sütünün bu hızlı ticari başarısı, bilim dünyasında bazı tartışmaları da beraberinde getirmiştir. Her ne kadar A2 sütü daha kolay sindirilebilen bir alternatif sunsa da, bazı bilimsel otoriteler, A1 sütünün potansiyel zararlarına ilişkin kanıtların henüz kesin olmadığını ve bazı çalışmaların A1 ile A2 arasında anlamlı bir fark bulamadığını vurgulamaktadır (EFSA, 2009). A2 sütünün faydalarının bir kısmının plasebo etkisinden veya laktoz intoleransı ile kazein hassasiyetinin karıştırılmasından kaynaklanabileceği öne sürülmektedir (He et al., 2017). Ayrıca, A1 sütünün “kötü” olarak etiketlenmesinin, konvansiyonel süt endüstrisi üzerinde haksız bir baskı oluşturduğu ve tüketiciler arasında gereksiz bir endişeye yol açtığı yönünde etik tartışmalar da mevcuttur.

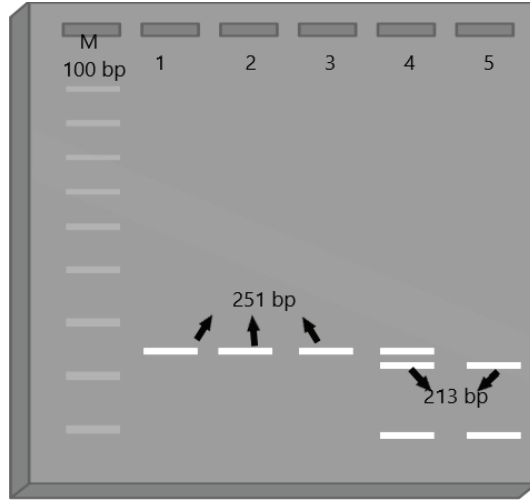
Sonuç olarak, A2 sütü fenomeni; bilimsel potansiyel, bilinçli tüketici talepleri ve güçlü pazarlama stratejilerinin karmaşık bir kesişimini temsil etmektedir. Ürünün sunduğu biyolojik faydalar yadsınamaz olsa da, başarısının ardındaki pazar dinamiklerini ve devam eden bilimsel tartışmaları anlamak, konuyu bütüncül bir perspektifle değerlendirmek için kritik öneme sahiptir.

7. A2 SÜTÜNÜN TANIMLANMASI: GENETİK TEST YÖNTEMLERİ

A2 sütü tespiti, süt üretiminin genetik ve biyokimyasal açıdan derinlemesine analiz edilmesini gerektirir. A1 ve A2 β -kazein varyantlarının gerek sindirimdeki metabolik yolları gerekse insan fizyolojisindeki nihai etkileri arasındaki temel farklılığın kökeninde, bu iki proteinin amino asit dizilimindeki tek bir noktasal değişim yatmaktadır. A2 sütü tespiti, yüksek hassasiyetli moleküler genetik testler aracılığıyla yapılabilir. Genetik analizlerde sıklıkla kullanılan PCR (Polimeraz Zincir Reaksiyonu) ve RFLP (Restriksiyon Fragmanı Uzunluk Polimorfizmi) gibi yöntemler, ineklerin genetik yapısını inceleyerek A1 ve A2 β -kazein varyantlarını tespit etmeyi sağlar. Bu testlerle, ineklerin A2A2, A1A2 veya A1A1 genotiplerine sahip olup olmadığı belirlenebilir. A2 sütü, yalnızca A2A2 genotipine sahip ineklerden elde edildiği için, bu genetik testler sayesinde A2 sütünün hangi ineklerden üretildiği doğru bir şekilde belirlenebilir. Bu, hem kalite kontrolü hem de ürün güvenliği açısından önemli bir adımdır.

A2 sütü tespiti için kullanılan genetik testlerden biri olan, PCR-RFLP yönteminde, ilk olarak β -kazein geninin 7. ekzonundan 251 bp uzunluğunda bir DNA bölgesi amplifiye (çoğaltılmıştır) edilmiştir. PCR işlemi sonrasında

elde edilen ürünler, *TaqI* restriksiyon enzimi ile kesilmiş ve bu sayede A1 ve A2 varyantları arasındaki genetik farklılık belirlenmiştir. *TaqI* restriksiyon enzimi, ***Thermus aquaticus***'tan elde edilen bir tip II restriksiyon endonükleaz olup palindromik olarak 5'-TCGA-3' nükleotid dizisini tanıyıp **T ve C arasında DNA dizilimini** keserek ve **tek uçlu (sticky ends)** oluşturmaktadır. *TaqI* restriksiyon enzimi, özellikle A1 ve A2 varyantları arasındaki polimorfizmi tespit etmede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kesilen ürünler agaroz jel elektroforezi ile görselleştirilmiştir (Şekil 3). Agaroz jel üzerinde A2A2 genotipi için 251 bp'lik tek bir bant, A1A2 genotipi için 251, 213 ve 38 bp'lik bantlar, A1A1 genotipi için ise 213 bp ve 38 bp'lik bantlar gözlemlenmiştir. Bu yöntem, A1 ve A2 β -kazein varyantlarının doğru bir şekilde tespit edilmesini sağlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Şahin & Boztepe, 2022).

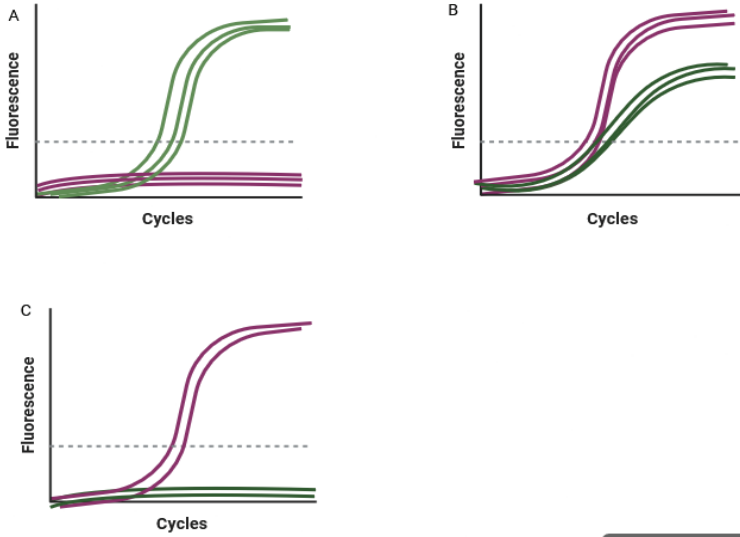


Şekil 3. CSN2 Geninin *TaqI* Restriksiyon Enzimi ile Kesilen PCR Ürünlerinin Agaroz Jel Elektroforezi (Şahin & Boztepe, 2022)

A2 β -kazein varyantı taşıyan sütünün doğrulanması, özellikle ticari üretim ve kalite kontrol açısından büyük önem taşımaktadır. Genetik test yöntemlerinden biri de, gerçek zamanlı PCR (qPCR) ile yapılan analizdir. Bu yöntem, süt örneklerinden elde edilen DNA üzerinde A1 ve A2 alellerini ayırtmak için kullanılır. qPCR testi, özellikle “locked nucleic acid” (LNA) prob teknolojisi kullanarak A1 ve A2 alelleri arasındaki farkları tespit etme yeteneğine sahiptir. A1 alelinin bulunup bulunmadığını tespit etmek için yapılan bu test, A2 sütünün doğruluğunu onaylamak için önemli bir araçtır.

Gerçek zamanlı PCR yöntemi, yüksek hassasiyetle A1 ve A2 alellerini ayırt edebilmekte ve A1 alelini yalnızca %2'lik (15 DNA kopyası) bir düzeyde bile tespit edebilmektedir. Bu özellik, özellikle A2 sütü ürünlerinin ticari pazara sunulmadan önce, A1 alelinin izlenmesi ve kontrol edilmesi açısından kritik önem taşır. Yöntemin doğruluğu, A1 ve A2 alelleri arasındaki ayrımı %100 başarıyla gerçekleştirdiği için, piyasadaki ürünlerin güvenilirliğini sağlamak adına büyük bir avantaj sunmaktadır.

A2 sütünün doğrulanmasına yönelik qPCR tekniğinin doğruluk/duyarlılık değerlendirmesi ile A1 ve A2 alellerine özgü primerler ve LNA problemlerinin etkililiği Şekil 4'te birlikte sunulmuştur. Bu grafik, farklı A1 ve A2 DNA karışımlarının qPCR reaksiyonlarındaki amplifikasyon eğilimlerini göstermektedir. Görselde, A1 alelinin farklı konsantrasyonlarının, A2 sütünün genetik doğrulamasına etkisi net bir şekilde ortaya konulmuştur. A1 alelinin varlığı, özellikle %2 gibi düşük oranlardaki A1 alel varlığını dahi tespit edebilecek hassasiyete sahiptir. Bu özellik, özellikle A2 sütü tedarik zincirinin güvenilirliğini artıran bir faktör olup, A2 sütü piyasaya sürülmeden önce yapılan kalite kontrol süreçlerinde büyük bir avantaj sağlamaktadır (Jiménez-Montenegro, Mendizabal, et al., 2022).



Created in BioRender.com bio

Şekil 4. (A) A1A1 genotipli DNA örneğinin amplifikasyon eğrisi (B) A1A2 genotipli DNA örneğinin amplifikasyon eğrisi (C) A2A2 genotipli DNA örneğinin amplifikasyon eğrisi. A, B ve C'de: yeşil sinyal, HEX raporlayıcı ile (A1 probu) elde edilmiştir ve mor renkli sinyal, FAM raporlama dedektörü ile (A2 probu) elde edilmiştir. (Jiménez-Montenegro, Mendizabal, et al., 2022).

Ayrıca, A2 sütünün ticari değeri ve endüstriyel potansiyeli de bu genetik tespit ile doğrudan bağlantılıdır. A2 sütü, özellikle sindirim zorlukları yaşayan tüketiciler için önemli bir alternatif sunmaktadır; ancak üretiminin sınırlı olması, onu özel bir “niş ürün” haline getirmektedir. Bu bağlamda, sürü yönetiminde genetik seleksiyonun ne denli kritik bir rol oynadığının altı çizilmektedir. Nitekim, genetik testler kullanılarak A2A2 genotipli ineklerin popülasyonu bilinçli bir şekilde artırılarak, hem daha sağlıklı bir süt tedarik zinciri oluşturulmakta hem de bu “niş ürünün” ticari erişim alanı genişletilmektedir.

Sonuç olarak, A2 sütü üretiminin genetik temele dayalı bu testler ve seleksiyon stratejileriyle optimize edilmesi, endüstrinin gelecekteki büyümesi ve tüketici taleplerine yanıt verme açısından kritik bir adım olacaktır (Borş et al., 2024).

8. MODERN DNA-DÜZEYİ (GENOTİPLEME) YÖNTEMLERİ

A2 sütü üretimi için genetik seleksiyon programlarının en kritik basamağı, sürüdeki bireylerin β -kazein genotiplerinin doğru ve hızlı bir şekilde belirlenmesidir. Bu amaçla geliştirilen moleküler genotipleme yöntemleri, A1 ve A2 allellerinin ayırımında yüksek özgüllük ve tekrarlanabilirlik sağlamaktadır. Klasik PCR-RFLP ve AS-PCR yaklaşımları, düşük maliyetli ve yaygın erişilebilir olmaları nedeniyle özellikle saha koşullarında tercih edilmektedir. Bununla birlikte, modern yöntemler olan LNA-prob tabanlı qPCR ve TaqMan® allel ayırım testleri, çok sayıda örneğin yüksek hassasiyetle taranmasına olanak tanıyarak sürü bazında seleksiyon kararlarını hızlandırmaktadır. Ayrıca FRET hibritleşme problu real-time PCR ve HRM analizleri, kapalı sistemde hızlı genotipleme imkânı sunarak kontaminasyon riskini minimize etmektedir (Ardicli, Samli, et al., 2023; Giglioti et al., 2021; Manga I. and Dvorak, 2010). Son dönemde geliştirilen DNA ekstraksiyonsuz direkt genotipleme protokolleri ise, özellikle süt örneklerinden hızlı tarama yapmak isteyen işletmeler için önemli bir pratiklik sağlamaktadır (Watanabe et al., 2023).

Protein-Düzeyi (Süt/Süt Ürünü) Doğrulama & İzleme Yöntemleri: Genotipleme sonuçlarının süt ürünlerine yansımaları doğrulamak amacıyla protein-düzeyi analizler de kritik öneme sahiptir. İzoelektrik odaklama (IEF) yöntemi, farklı β -kazein izoformlarının pI farklarına göre ayırımı

sağlayarak sürü ve ürün bazında varyant profilini ortaya koyar. Daha yüksek analitik duyarlılık gerektiren durumlarda, HPLC-MS/MS tabanlı peptit marker analizi A1/A2'ye özgü peptitlerin kantitatif tayinine imkân vererek ürün saflığı ve olası karışım oranlarını kesin şekilde belirler (Jiménez-Montenegro, Alfonso, et al., 2022). ELISA ve lateral akış (LFIA) hızlı testleri ise, rutin kalite kontrol ve saha denetimlerinde pratik ve düşük maliyetli çözümler sunar. ELISA, çoklu örneklerin kantitatif değerlendirilmesinde; LFIA ise hızlı pozitif/negatif taramalarda öne çıkmaktadır (Giglioti et al., 2021; Secchi et al., 2025). Sonuç olarak, A2 sütü üretimi için sürdürülebilir seleksiyon stratejileri geliştirilirken hem DNA-düzeyinde genotipleme hem de protein-düzeyinde doğrulama yöntemlerinin birlikte kullanılması büyük önem taşımaktadır. Genetik seleksiyonun sağladığı fırsatlar –örneğin sindirimi kolay ve pazarda değerli A2 sütü üretimi – ancak doğru genotipleme ve ürün doğrulama ile güvence altına alınabilir. Aynı zamanda akrabalı yetiştirme riskleri, genetik çeşitliliğin korunması ve verimlilik parametreleri göz önünde bulundurularak dengeli bir seleksiyon yaklaşımı benimsenmelidir. Bu kapsamda aşağıdaki tablolar, mevcut DNA-düzeyi ve protein-düzeyi yöntemlerini sistematik olarak özetlemekte, her yöntemin kullanım amacını, ve avantaj/dezavantajlarını bir arada sunulmuştur.

Tablo 1 – DNA-Düzeyi (Genotipleme) Yöntemleri

Yöntem	Kullanım Amacı	Nasıl Uygulanır?	Avantajlar / Dezavantajlar	Referans
LNA-Prob qPCR	A1 ve A2 allellerini düşük kopya sayılarında hassas biçimde tespit etmek	qPCR’de LNA modifiye prob-lar kullanılır; seri seyrelt-meler ile limit tespiti yapılır	Avantaj: Yüksek özgüllük; Dezavantaj: Prob maliyeti yüksek	(Giglioti et al., 2021)
TaqMan® Allel Ayırım (qPCR)	A1 vs A2 allellerini floresan prob-larla ayırt etmek	Gerçek zamanlı PCR; iki prob kullanılır (FAM, HEX); allel ayırım scatter plot ile genotip belirlenir	Avantaj: Yüksek özgüllük, hızlı; Deza-vantaj: Kit maliyeti, cihaz gereksinimi	(Manga I.and Dvo-rak, 2010)
AS-PCR / ARMS-PCR	Allel-spesi-fik primerlerle doğrudan A1 / A2 genotipini belirlemek	Primer tasarımı SNP’ye özgü; PCR amplifi-kasyonu ve jel elektroforezi ile sonuç okunur	Avantaj: Daha ucuz; Deza-vantaj: Yanlış amplifikasyon riski	(Gholami et al., 2016)
Real-Time PCR + FRET Hibritleşme Problemleri	Süt sığırların-da A1/A2 allel frekansını belir-lemek	Real-time PCR cihazlarında FRET hibrit-leşme problemleri; erime eğrisi analizi ile ayırım	Avantaj: Has-sas, güvenilir; Dezavantaj: Problemler ve cihaz maliyeti yüksek	(Ardicli, Samli, et al., 2023)
DNA eks-traksiyonsuz / Direct Genotyping	Süt örneğinden DNA izolasyonu yapmadan hızlı genotipleme	Örnek doğrudan PCR’a eklenir; CycleavePCR gibi yöntemler-le amplifikas-yon	Avantaj: Hızlı; Dezavantaj: Matriks inhi-bitörleri sorun olabilir	(Watana-be et al., 2023)

Tablo 2 – Protein-Düzeyi (Süt/Süt Ürünü) Doğrulama & İzleme Yöntemleri

Yöntem	Kullanım Amacı	Nasıl Uygulanır?	Avantajlar / Dezavantajlar	Referans
IEF (İzoelektrik Odaklama)	β -kazein izoformlarını pI farkına göre ayırmak	Protein ekstraksiyonu, izoelektrik odaklama jeli, boyama, bantların pI değerlerine göre ayrımı	Avantaj: Çoklu örnek; Dezavantaj: Kantitatif hassaslık düşük	(Gustavsson et al., 2014)
HPLC-MS/MS (Peptit Marker)	A1/A2'ye özgü peptit belirteçleriyle süt/süt ürünüde kalite kontrol	Protein sindirimi, LC-MS/MS analizi, kantitatif ölçüm	Avantaj: Çok yüksek özgülük; Dezavantaj: Cihaz ve uzmanlık gerektirir	(Jiménez-Montenegro, Alfonso, et al., 2022)
ELISA	Süt ürünlerinde A1 veya A2 proteinini kantitatif tayini	Antikor kaplı plak, yıkama, substrat reaksiyonu, absorbans ölçümü	Avantaj: Kantitatif; Dezavantaj: Antikor özgüllüğü kritik	(Giglioti et al., 2021)
LFIA (Lateral Flow Rapid Test)	Saha koşullarında hızlı A1/A2 ayrımı	Örnek kasete uygulanır; renkli bantlarla pozitif/negatif değerlendirme	Avantaj: Çok hızlı, taşınabilir; Dezavantaj: Kantitatif değil	(Secchi et al., 2025)

9. A2 SÜTÜ ÜRETİMİ: GENETİK SELEKSİYONUN FIRSAT VE RİSKLERİ

β -kazein genetik çeşitliliği, sığır popülasyonlarında yalnızca süt protein profiline değil, aynı zamanda verimlilik ve genetik seleksiyon kriterlerine de doğrudan etki eder. Çeşitli çalışmalar, A1A1, A1A2 ve A2A2 genotiplerinin süt verimi ve genomik değerlendirmelerle nasıl ilişkilendiğini göstermektedir. A2A2 genotipine sahip bireylerin, bazı ırklarda süt bileşimi açısından daha istikrarlı ve sindirimi kolay protein profilleri üretmesi, bu

genotipi daha tercih edilebilir hâle getirmektedir. Ancak, süt verimi açısından genotipler arası farklar ırk, çevresel koşullar ve yönetim uygulamalarına bağlı olarak değişir. Genomik seleksiyon yöntemleri, A2 süt üretimini destekleyecek genetik yapıya sahip hayvanların belirlenmesini ve süt verimi gibi ekonomik özelliklerin optimize edilmesini sağlamaktadır. Bu açıdan, β -kazein genotiplerinin ayrıntılı olarak analiz edilmesi, sürdürülebilir ve hedefe yönelik süt üretim stratejilerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Ardicli, Aldevir, et al., 2023).

Türkiye'deki yerli sığır gen kaynaklarının A2 sütü üretimi açısından potansiyelini belirlemek amacıyla, β -kazein genindeki A1 ve A2 varyasyonlarının genetik çeşitliliği üzerine çeşitli araştırmalar yürütülmüştür. Bir araştırma, Yerli Kara, Doğu Anadolu Kırmızısı, Güney Anadolu Kırmızısı ve Boz Step ırklarından alınan 374 kan örneğiyle gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, incelenen ırklardaki A1 ve A2 alellerinin frekansları belirlenmiş; elde edilen bu genotipik veriler temel alınarak ırkların A2 sütü üretimi için sahip olduğu potansiyel değerlendirilmiştir. Yerli ırklar üzerine yapılan bu araştırma, Yerli Kara ve Doğu Anadolu Kırmızısı gibi ırklarda A2A2 genotipinin yüksek frekansta bulunduğunu ortaya koymuş ve bu ırkların A2 sütü üretimi için genetik olarak uygun olduklarını göstermektedir. Ayrıca, bu ırkların genetik çeşitliliğiyle ilgili heterozigotluk ve polimorfizm bilgileri elde edilmiştir. Bu da, yerli sığır ırklarının gelecekteki seleksiyon programlarına dahil edilebileceğini ortaya koymakta ve yerli sığır ırklarının A2 sütü üretim potansiyelinin, bu ırkların korunmasına yönelik stratejiler ve uygulanan genetik ıslah programları aracılığıyla geliştirilebileceğini göstermektedir (Şahin & Boztepe, 2022)

Bir diğer çalışmada ise, Avustralya Holstein sığırlarında A2 alelinin seçilmesinin akrabalı yetiştirme ve hayvan performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. A2 alelinin sağlık açısından faydalı olduğu düşünülerek, son yıllarda süt üretiminde ticari olarak tercih edilmeye başlanmıştır. Fakat, A2 alelinin aşırı seçilmesi, bazı olumsuz sonuçlara yol açabilir, özellikle de akrabalı yetiştirme katsayısının yükselmesi sonucu istenmeyen çekinik alellerin ortaya çıkmasını sağlayabilecektir, yani, ölümcül ya da yarı ölümcül etkili genlerin ortaya çıkmasına yol açabilecektir. 2000-2017 yılları arasında doğan Holstein sığırlarının genetik verileri incelendiğinde, A2/A2 genotipinin sıklığının %32'den %52'ye yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu seçimin, üretim özelliklerinde küçük bir avantaj sağladığı gözlemlense de, sağlık ve verimlilik gibi fonksiyonel özelliklerde bazı dezavantajlar

ortaya çıkmıştır. Ayrıca, A2/A2 genotipine sahip sığırların genel olarak daha fazla akrabalı yetiştirildiği ve bu durumun genetik çeşitliliği azalttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, A2 alelinin üretim süreçlerinde seçilmesi kısa vadede belirli verimlilik avantajları sağlayabilse de, uzun vadede akrabalı yetiştirme olasılığını artırarak genetik çeşitliliğin azalmasına ve bununla ilişkili olumsuz sonuçlara yol açabilir. Dolayısıyla, A2 alelini merkeze alan ıslah programlarının sürdürülebilirliği, akrabalı yetiştirme riskini minimize edecek yönetsel önlemlerle desteklenmesine ve seleksiyon kararlarının dikkatle alınmasına bağlıdır (Scott et al., 2023).

10. SONUÇ VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Süt proteinleri, özellikle de β -kazein varyantları, yalnızca biyokimyasal düzeydeki küçük değişimlerin bile insan sağlığı ve süt endüstrisi üzerinde ne kadar geniş etkiler yaratabileceğinin güçlü bir örneğini sunmaktadır. A1 ve A2 varyantları arasındaki tek bir amino asit farklılığı, sindirim sürecinde ortaya çıkan metabolitlerin çeşitliliğini değiştirmekte; bu da gastrointestinal tolerans, bağışıklık yanıtı ve nörolojik işlevler üzerinde farklı sonuçlara yol açabilmektedir. A1 β -kazeinin parçalanmasıyla açığa çıkan β -kazomorfın-7 (BCM-7), opioid benzeri etkileri nedeniyle çeşitli fizyolojik sistemlerle etkileşime girebilirken, A2 varyantında bu tür bir negatif etkileşime dair her hangi bir net bulguya rastlanmamaktadır. Bu bağlamda A2 sütü, sindirim sistemi hassasiyeti bulunan kişilerde daha kolay kabul gören ve semptomları azaltma potansiyeli taşıyan bir alternatif olarak değerlendirilmektedir.

Ancak mevcut bilimsel veriler, A1 varyantının olumsuz sağlık sonuçlarıyla doğrudan ilişkisini kesin olarak kanıtlamış değildir. Bazı klinik ve epidemiyolojik çalışmalar, A1 tüketiminin tip 1 diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, inflamatuvar bağırsak problemleri ve nörolojik bozukluklarla bağlantılı olabileceğini öne sürse de, bu bulgular çoğunlukla sınırlı örneklem büyüklüklerine veya karışık sonuçlara dayanmaktadır. Ancak A2 sütünün koşulsuz biçimde ‘daha sağlıklı’ olarak tanımlanması, mevcut bilimsel verilerin sunduğundan daha ileri bir iddia anlamına gelmektedir. Daha geniş katılımlı, uzun dönemli ve farklı popülasyonları kapsayan araştırmalar yapılmadan, A1 ve A2 varyantlarının sağlık üzerindeki etkileri konusundaki tartışmaların sürmesi beklenmektedir.

Endüstriyel açıdan bakıldığında A2 sütü, tüketicilerin fonksiyonel gıdalar, temiz etiket uygulamaları ve kişiselleştirilmiş beslenme arayışları ile uyumlu

bir ürün olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, A2 sütünün yalnızca bilimsel ilgi değil, aynı zamanda güçlü bir pazarlama ve ticari değer kazanmasına da yol açmıştır. Ancak bu süreçte dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, bilimsel bulguların pazarlama stratejileri tarafından abartılmaması ve tüketici algısının yanlış yönlendirilmemesidir. Aksi halde, A1 varyantına sahip konvansiyonel sütlerin “zararlı” olarak etiketlenmesi gibi bilimsel temeli tam oturmamış algılar, hem endüstriyel dengeyi bozabilir hem de tüketicilerde gereksiz kaygılara yol açabilir.

Genetik seleksiyon, A2 sütü üretimini artırmak için güçlü bir araç sunmaktadır. A2A2 genotipine sahip hayvanların belirlenmesi ve çoğaltılmasıyla, süt tedarik zincirinde A2 varyantının oranı artırılabilir. Bununla birlikte, sadece tek bir alele odaklanmanın beraberinde getirdiği riskler göz ardı edilmemelidir. Özellikle akrabalı yetiştirme oranlarının yükselmesi, genetik çeşitliliğin azalması ve uzun vadede verimlilik ile sağlık parametrelerinde ortaya çıkabilecek olumsuzluklar, sürdürülebilir üretim açısından mutlaka dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, A2 seleksiyon programlarının özellikle genetik çeşitliliği koruyan ve çoklu ıslah hedeflerini içeren stratejilerle desteklenmesi sürdürülebilirlik açısından temel ilke olarak ele alınmalıdır.

Genel çerçevede A2 sütü, yalnızca beslenme alışkanlıklarıyla sınırlı olmayan; sağlık bilimleri, süt endüstrisinin yenilik arayışları ve genetik kaynakların yönetimi gibi pek çok alanı kesiştiren çok yönlü bir olgu niteliği taşımaktadır. Gelecekte yapılacak multidisipliner çalışmalar, hem biyomedikal hem de endüstriyel açıdan bu varyantların uzun vadeli etkilerini daha net ortaya koyacaktır. Bu açıdan A2 sütü, yalnızca tüketici beklentilerini karşılayan bir ürün olmanın ötesinde; toplum sağlığına katkı sunma ve sürdürülebilir hayvansal üretim modellerine entegre olma potansiyeline sahip stratejik bir kaynak olarak değerlendirilebilir. Sonuç olarak A2 sütü bu bağlamda, biyomedikal araştırmalar, hayvancılık genetiği ve gıda endüstrisinin kesiştiği multidisipliner bir çalışma alanı olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

- Ardicli, S., Aldevir, O., Aksu, E., & Gumen, A. (2023). The variation in the beta-casein genotypes and its effect on milk yield and genomic values in Holstein-Friesian cows. *Animal Biotechnology*, 34(8), 4116–4125. <https://doi.org/10.1080/10495398.2023.2267614>
- Ardicli, S., Samli, H., & Balci, F. (2023). Analysis of bovine beta-casein A1 and A2 allele frequency in Holstein-Friesian cows by Real-time PCR with fluorescent hybridization probes. *Veterinarski Arhiv*, 93(3), 279–286. <https://doi.org/10.24099/vet.arhiv.1821>.
- Aschemann-Witzel, J., Varela, P., & Peschel, A. O. (2019). Consumers' categorization of food ingredients: Do consumers perceive them as 'clean label' producers expect? An exploration with projective mapping. *Food Quality and Prefer.*, 71, 117–128. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.06.003>.
- Borş, A., Borş, S. I., & Floriştean, V. C. (2024). Health-Related Outcomes and Molecular Methods for the Characterization of A1 and A2 Cow's Milk: Review and Update. In *Veterinary Sciences* (Vol. 11, Issue 4). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/vetsci11040172>.
- Cendron, F., Franzoi, M., Penasa, M., De Marchi, M., & Cassandro, M. (2021). Effects of β - and κ -casein, and β -lactoglobulin single and composite genotypes on milk composition and milk coagulation properties of Italian Holsteins assessed by FT-MIR. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1), 2243–2253. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.2011442>.
- Choi, Y., Kim, N., Song, C.-H., Kim, S., & Lee, D. H. (2024). The Effect of A2 Milk on Gastrointestinal Symptoms in Comparison to A1/A2 Milk: A Single-center, Randomized, Double-blind, Cross-over Study. *Journal of Cancer Prevention*, 29(2), 45–53. <https://doi.org/10.15430/jcp.24.007>.
- (EFSA), E. F. S. A. (2009). Review of the potential health impact of β -casomorphins and related peptides. *EFSA Journal*, 7(2), 231r. <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.231r>.

- Gholami, M., Hafezian, S. H., Rahimi, G., Farhadi, A., Rahimi, Z., Kahrizi, D., Kiani, S., Karim, H., Vaziri, S., Mohammadi, S., Veisi, F., Ghadiri, K., Shetabi, H., & Zargooshi, J. (2016). Allele specific-PCR and melting curve analysis showed relatively high frequency of β -casein gene A1 allele in Iranian Holstein, Simmental and native cows. *Cellular and Molecular Biology*, 62(12), 138–143. <https://doi.org/10.14715/cmb/2016.62.12.23>.
- Giglioti, R., Hiromi Okino, C., Tainá Azevedo, B., Gutmanis, G., Morita Katiki, L., Cristina de Sena Oliveira, M., & Eugênio Vercesi Filho, A. (2021). Novel LNA probe-based assay for the A1 and A2 identification of β -casein gene in milk samples. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2021.100055>.
- González-Rodríguez, N., Vázquez-Liz, N., Rodríguez-Sampedro, A., Regal, P., Fente, C., & Lamas, A. (2025). The Impact of A1- and A2 β -Casein on Health Outcomes: A Comprehensive Review of Evidence from Human Studies. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 13). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/app15137278>.
- Gustavsson, F., Buitenhuis, A. J., Johansson, M., Bertelsen, H. P., Glantz, M., Poulsen, N. A., Lindmark Månsson, H., Stålhammar, H., Larsen, L. B., Bendixen, C., Paulsson, M., & Andrén, A. (2014). Effects of breed and casein genetic variants on protein profile in milk from Swedish Red, Danish Holstein, and Danish Jersey cows. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3866–3877. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7312>.
- He, M., Sun, J., Jiang, Z. Q., & Yang, Y. X. (2017). Effects of cow's milk beta-casein variants on symptoms of milk intolerance in Chinese adults: A multicentre, randomised controlled study. *Nutrition Journal*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12937-017-0275-0>.
- Jacob MA, L. (2023). Milk. In *Salem Press Encyc.. Salem Press*. <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=0b9a2043-fb90-3272-80a3-a100503b4b15>.
- Jeong, H., Park, Y. S., & Yoon, S. S. (2024). A2 milk consumption and its health benefits: an update. In *Food Science and Biotechnology* (Vol. 33, Issue 3, pp. 491–503). The Korean Society of Food Science and Technology. <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01428-5>.

- Jiménez-Montenegro, L., Alfonso, L., Mendizabal, J. A., & Urrutia, O. (2022). Worldwide Research Trends on Milk Containing Only A2 β -Casein: A Bibliometric Study. *Animals*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/ani12151909>.
- Jiménez-Montenegro, L., Mendizabal, J. A., Alfonso, L., & Urrutia, O. (2022). DNA extraction procedures and validation parameters of a real-time PCR method to control milk containing only A2 β -casein. *Food Control*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109259>.
- Kaplan, M., Baydemir, B., Günar, B. B., Arslan, A., Duman, H., & Karav, S. (2022). Benefits of A2 Milk for Sports Nutrition, Health and Performance. In *Frontiers in Nutrition* (Vol. 9). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.935344>.
- Kay, S. I. S., Delgado, S., Mittal, J., Eshraghi, R. S., Mittal, R., & Eshraghi, A. A. (2021). Beneficial Effects of Milk Having A2 β -Casein Protein: Myth or Reality? *Journal of Nutrition*, 151(5), 1061–1072. <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa454>.
- Manga I. and Dvorak, J. (2010). TaqMan allelic discrimination assay for A1 and A2 alleles of the bovine CSN2 gene. *Czech Journal of Animal Science*, 55(8), 307–312. <https://doi.org/10.17221/89/2009-CJAS>.
- Mannila, E., Hokkanen, L., Ahonen, E., Turpeinen, A. M., Kalliomäki, M., Kortensniemi, M., & Linderborg, K. M. (2025). Tolerance of protein hydrolyzed lactose-free A1 milk and A2 milk in lactose-tolerant and lactose-intolerant volunteers – a randomized cross-over trial with two parallel groups. *Journal of Dairy Science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-26712>.
- Miluchová, M., Gábor, M., & Candrák, J. (2023). The Effect of the Genotypes of the CSN2 Gene on Test-Day Milk Yields in the Slovak Holstein Cow. *Agriculture (Switzerland)*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/agriculture13010154>.
- Ristanic, M., Glavinic, U., Vejnovic, B., Maletic, M., Kirovski, D., Teodorovic, V., & Stanimirovic, Z. (2021). Beta-Casein Gene Polymorphism in Serbian Holstein-Friesian Cows and Its Relationship with Milk Production Traits. *Acta Veterinaria*, 70(4), 497–510. <https://doi.org/10.2478/acve-2020-0037>.

- Şahin, & Boztepe, S. (2022). The potential status of A1 and A2 variants of bovine beta-casein locus of some indigenous genetic resources reared in Turkey. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 73(2), 4211–4218. <https://doi.org/10.12681/jhvms.27018>.
- Scott, B. A., Haile-Mariam, M., MacLeod, I. M., Xiang, R., & Pryce, J. E. (2023). Evaluating the potential impact of selection for the A2 milk allele on inbreeding and performance in Australian Holstein cattle. *Frontiers in Animal Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1142673>.
- Sebastiani, C., Arcangeli, C., Torricelli, M., Ciullo, M., D'avino, N., Cinti, G., Fisichella, S., & Biagetti, M. (2022). Marker-assisted selection of dairy cows for β -casein gene A2 variant. *Italian Journal of Food Science*, 34(2), 21–27. <https://doi.org/10.15586/ijfs.v34i2.2178>.
- Secchi, G., Amalfitano, N., Cecchinato, A., Lante, A., Pegolo, S., Dettori, M. L., Pazzola, M., Vacca, G. M., & Bittante, G. (2025). Detection and quantification of true proteins, casein fractions and their genetic variants, and whey proteins in goat milk by reverse-phase high-performance liquid chromatography. *Journal of Dairy Science*, 108(4), 3858–3867. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25514>.
- Vigolo, V., Franzoi, M., Cendron, F., Salvatore, G., Penasa, M., Cassandro, M., & De Marchi, M. (2022). Characterization of the genetic polymorphism linked to the β -casein A1/A2 alleles using different molecular and biochemical methods. *Journal of Dairy Science*, 105(11), 8946–8955. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22136>.
- Watanabe, A., Munakata, K., Muto, M., & Kuramoto, T. (2023). A highly sensitive PCR method for A1 allele detection in A2 milk samples without DNA isolation. *Animal Science Journal*, 94(1), e13846. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/asj.13846>.
- Yaman Fırıncıoğlu, S., & Kılıç, H. N. (2021). Sütteki A1-A2 β -Kazeinin Özellikleri Ve İnsan Sağlığına Etkileri. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 9(11), 1973–1979. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v9i11.1973-1979.4869>.
- Żbik, K., Onopiuk, A., Górka-Horczyzak, E., & Wierzbicka, A. (2024). Trends and Opportunities in the Dairy Industry: A2 Milk and Processing Methods. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 15). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/app14156513>.

SÜT VE ÜRÜNLERİNDE AĞIR METAL KİRLİLİĞİ

Sema ÖZMERT ERGİN¹

1. GİRİŞ

İnsan beslenmesinde güvenilir gıdaların tüketimi sağlıklı bir toplum ve gelecek için oldukça önemlidir. Gıda güvenliği, gıdanın temini ve sürdürülebilirliği yanında, her türlü zararlılardan arındırılmış olmasını ve koruyucu önlemlerin alınmasını da kapsayan bir kavramdır. Gıdalar hammaddeden tüketime kadarki üretim, işleme, depolama, taşıma, dağıtım gibi aşamalarda fiziksel, kimyasal ya da biyolojik risklere maruz kalabilmektedirler. Bu gıdaların tüketimi çeşitli hastalıklara, sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Bunlar arasında özellikle kimyasal riskler birçok gıdada bulundukları ve uzun vadede sağlık sorunlarına neden oldukları için önem kazanmıştır. Ağır metaller, gıda katkı maddeleri, mikotoksinler, pestisitler (tarım ilaçları), antibiyotik kalıntıları, dioksinler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, toksik mineraller kimyasal tehlikelerdir (Güler ve Can, 2017; Knight ve ark., 2003).

Kimyasal risklerin gıdaya bulaşma yolları farklı olabilmektedir. Endüstri ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak hava, toprak, su ve çevre kirliliğinde artış görülmüştür. Bu durum daha çok tarımsal ürünleri etkilemekte ve gıdaların yapısında kurşun, civa, kadmiyum gibi ağır metaller, dioksinler, furanlar, radyoaktif maddeler bulunabilmektedir. Ayrıca üretimde yabancı ot, küf, böcek gibi zararlıların gelişimini önlemek amaçlı kullanılan tarım ilaçları insanlar için toksik etki gösteren kimyasallardır (Şık ve ark., 2012). Hayvansal gıda üretiminde ise veteriner ilaçlarının özellikle antibiyotiklerin gıdaya geçişi söz konusu olmaktadır. Et, süt, yumurta gibi gıdalardaki antibiyotik kalıntıları insanlarda antimikrobiyel direncine, hormonal bozukluklara, alerjik reaksiyonlara, organ hasarlarına sebep olmaktadır (Tarannum ve ark., 2020). Diğer taraftan hayvan beslenmesinde kontamine yemlerin, pestisit içeren yaş gıda ürünlerinin kullanılması sonucu zararlı kimyasallar hayvan

¹ Dr. Öğretim Üyesi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, sozmert@mehmetakif.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7742-8185.

dokularına geçebilmektedir. Karsinogenik etkisi bilinen aflatoksin küf içeren yemle beslenen hayvanın sütünde ve hatta süttten üretilen diğer ürünlerde de tespit edilebilmektedir (Fallah ve ark., 2009; Karadal ve ark., 2018).

2. AĞIR METALLER

Ağır metaller yoğunluğu 5 g/cm^3 'den daha yüksek, belirli konsantrasyonun üzerinde alındığında canlılarda toksik etki gösterebilen elementlerdir. Toprak, hava ve suda biriken ağır metaller tarımsal ürünlere (meyve, sebze, tahıllar), içme suyuna, hayvansal gıdalara (et, süt, yumurta, balık, su ürünleri) geçebilmektedirler. İnsanlarda karsinogenik, mutajenik, teratojenik etkileriyle ağır metal kirliliği büyük risk teşkil etmektedir. Vücutta dokularda tutulma miktarına göre metabolik hastalıklara, organ hasarına/yetmezliğine ve önemli sağlık sorunlarına neden olmaktadır (Balali-Mood ve ark., 2021; Jarup, 2003). Doğada yaygın olarak bulunan ve toksik etkisi yüksek olan ağır metaller arasında Pb (kurşun), Hg (civa), Cd (kadmium), As (arsenik), Zn (çinko), Cu (bakır), Cr (krom), Ni (nikel) sayılabilir (Srivastava ve ark., 2024).

Süt ve ürünlerine ağır metal geçişi topraktan, havadan, sulardan, üretimde kullanılan metal ekipmanlardan, ambalaj materyallerinden, süt hayvanının beslenmesinden, veteriner ilaçlarından kaynaklanabilmektedir (Raikwar ve ark., 2008). Süt ve süt ürünlerinde bulunabilen ağır metaller ve zararlı etkileri aşağıda özetlenmiştir.

2.1. Kurşun (Pb)

Kurşun sanayide yoğun olarak kullanılan, insan vücuduna sindirim ve solunum yoluyla giren toksik bir metaldir. Konserve kutularının kaplanması, boru ve kapların parlatılmasında, insektisit yapımında, bazı mutfak ekipmanlarının üretiminde kurşun kullanılmaktadır. Solunan hava, su boruları, mutfak araç-gereçleri, tarımsal ürünler aracılığıyla vücuda alınmaktadır. Kurşunun daha çok sindirim sistemi, üreme sistemi ve sinir sistemi üzerine olumsuz etkileri bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda kurşunun nörolojik işlevleri bozduğu, böbrek ve akciğer rahatsızlığına yol açtığı, üreme sisteminde bozukluğa neden olduğu bildirilmiştir (Dündar ve Aslan, 2005). Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'nde; süt, ısıtılmış süt ve süt bazlı ürünlerin üretiminde kullanılan sütte maksimum Pb miktarı 0,02 mg/kg olarak belirtilmiştir (TGK, 2023).

2.2. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum içme sularından, sulama sularından, gıda ile temas eden malzemelerden, toprakta yetişen bitkisel ürünlerden alınabilen, düşük dozlarda bile toksik etki gösteren bir metaldir. Yüksek asitli gıdalar ambalajda ya da kaplarda bulunan kadmiyumun çözünürlüğünü artırarak kadmiyumun gıdaya geçişine neden olmaktadır. Kadmiyum maruziyeti insanlarda böbrek hasarına, akciğer, prostat kanserlerine yol açmaktadır (Omaye, 2004; Genchi ve ark., 2020).

2.3. Civa (Hg)

Civa çevresel kirlenme kaynaklı su ürünlerinde, tarım ilaçlarının üretiminde kullanılması sonucu bitkisel ürünlerde, hayvan beslenmesinden kaynaklı et ve süt ürünlerinde yer alabilen bir ağır metaldir. Civaya duyarlı olan fetusta gelişim bozuklukları, bebeklerde nörolojik hasarlar görülebilmektedir. Nörolojik bozukluklar, hafıza kaybı, akciğer hasarı, böbrek yetmezliği, kardiyovasküler hastalıklar civanın diğer olumsuz sağlık etkilerindendir (Rice ve ark., 2014).

2.4. Arsenik (As)

Arsenik gıdalara daha çok tarım ilaçlarından, veteriner ilaçlarından, içme sularından bulaşabilmektedir. Köklü bitkilerde ve tahıllarda, kaynak sularında daha fazla bulunmaktadır. Kolon, akciğer, böbrek, karaciğer kanserlerine ve damar sertliğine yol açabilmektedir. Arsenik temasının cilt üzerine olumsuz etkileri görülmüş ve insan kanserojeni olarak tanımlanmıştır (Baş ve Demet, 1992).

2.5. Kalay (Sn)

Kalayın gıdalarda ya da süt ürünlerinde bulunması genel olarak ambalaj kaynaklıdır. Çelik kaplar, tencereler korozyona karşı kalayla kaplanmakta olup hasarlanma durumunda gıdaya kalay geçişi olabilmektedir. Antosiyanin içeren meyve ve sebzelerin kalayın çözünmesinde etkili olduğu da bildirilmiştir. Kalay hücre hasarı, nörotoksisiteye neden olabilmektedir (Reilly, 2007).

Bunların dışında, çinko (Zn), bakır (Cu), krom (Cr), selenyum (Se), nikel (Ni) gibi bazı ağır metaller canlı organizmaların fizyolojik işlevleri için gerekli olup gereğinden fazla vücuda alındığında toksik etki yapabilen elementlerdir. Ayrıca süt endüstrisinde alüminyum ambalajlar sıklıkla kullanılmaktadır. İnsan vücudunda alüminyum (Al) birikimi, kemik hastalıkları, hormon bozuklukları, ileri yaşlarda nörodejeneratif hastalıklarla ilişkilendirilmektedir (Srivastava ve ark., 2024; Wang ve ark., 2016).

3. AĞIR METAL ANALİZ YÖNTEMLERİ

Süt ve ürünlerinde ağır metal tespiti için farklı cihaz ve yöntemler kullanılabilmektedir. Bunlar arasında en yaygın olanı ICP-OES (indüktif eşleşmiş plazma - optik emisyon spektroskopisi) olup ağır metal miktarı hassas olarak tespit edilebilmektedir. Bunun dışında AAS (atomik absorpsiyon spektrometresi), ICP-AES (indüktif eşleşmiş plazma- atomik emisyon spektrometresi), ICP-MS (indüktif eşleşmiş plazma- kütle spektrometresi) ile de ölçüm yapılabilmektedir (İzol ve İnik, 2022).

4. SÜT VE ÜRÜNLERİNDE TESPİT EDİLEN AĞIR METALLER

Süt protein, kalsiyum, fosfor bakımından yüksek besin değerine sahip olan, ayrıca insan vücudu için gerekli mineral ve vitaminleri ihtiva eden temel bir besin maddesidir. Sütten üretilen yoğurt, peynir, kefir, dondurma, süt tozu gibi ürünler farklı tat, aroma ve besin içerikleriyle beslenmede yer alan gıda ürünleridir (Özbey, 2019). Sütün sağımından başlayarak ürün eldesine kadar her bir aşamada hijyenik koşullar gözetilmeli, fiziksel, kimyasal, biyolojik tehlikelerin süte bulaşması önlenmelidir. Süt ve ürünlerinde ciddi bir risk olan ağır metallerin tespitine yönelik birçok çalışma yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Hayvancılık yapılan bölgeye, hayvanın beslenme durumuna, çevresel ve kişisel faktörlerin değişiklik göstermesine bağlı olarak farklı sonuçlar ortaya çıkarılmıştır. Tablo 1’de sütlerde belirlenen ağır metallere yönelik bazı çalışmalar gösterilmiştir.

Tablo 1. Süt örneklerinde tespit edilen ağır metaller ve miktarları

Kaynak	Kurşun (Pb)	Kadmiyum (Cd)	Civa (Hg)	Arsenik (As)	Bakır (Cu)	Çinko (Zn)
Elham ve ark., 2011	327 µg/L	7 µg/L	-	-	945 µg/L	1209 µg/L
Temiz ve Soylu, 2012	43 µg/L	7 µg/L	-	-	1084 µg/L	13333 µg/L
Beykaya ve ark., 2019	304,1-503,4 µg/kg	8,896 µg/kg	-	-	33,69 µg/kg	-
Çanakçı Adıgüzel ve Şahin, 2022	0,89-2,61 µg/L	0,0380,083 µg/L	0,0016-0,015 µg/L	0,650-0,871 µg/L	-	-
Poti ve ark., 2012	23 µg/L	12 µg/L	-	-	-	-
Licata ve ark., 2004	1,32 µg/L	0,02 µg/L	-	-	1,98 µg/L	2016 µg/L
Mutlu ve ark., 2025	TE	TE	TE	TE	0,248 mg/kg	-

TE: tespit edilmedi (-): analiz edilmedi

Türk Gıda Kodeksi'nde sütte bulunabilecek maksimum değer yalnızca Pb için belirtilmiştir ve maksimum Pb miktarı 0,02 mg/kg (20 µg/kg) olmalıdır. Buna göre değerlendirildiğinde Elham ve ark. (2011) ve Beykaya ve ark. (2019)'nın çalışmalarında Pb miktarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Elham ve ark. (2011) farklı lokasyon ve mevsime göre yapılan analizler sonucu, sütte ağır metal düzeylerinin coğrafik konum ve mevsime göre değişiklik gösterdiğini bildirmişlerdir. Şimşek ve ark. (2000) Bursa'da trafiğin yoğun olduğu bölge, endüstriyel bölge ve kırsal bölgeden temin ettikleri süt örneklerinde Pb, As, Zn, Cu, Fe metal düzeylerini karşılaştırmışlardır. Bu bölgelerdeki ortalama Pb miktarı sırasıyla 0,032; 0,049 ve 0,018 mg/kg olarak bulunmuştur. Kırsal bölge sütlerindeki kurşun miktarı yasal limitlere uygunluk göstermekte iken, çevre kirliliğinin etkili olduğu bölgelerdeki sütlerde kurşun miktarı yüksek olarak belirlenmiştir. İncelenen diğer metallerde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 2. Süt ürünlerinde tespit edilen ağır metaller ve miktarları

Süt ürünü	Kurşun (Pb) mg/kg	Kadmiyum (Cd) mg/kg	Civa (Hg) mg/kg	Arsenik (As) mg/kg	Bakır (Cu) mg/kg	Çinko (Zn) mg/kg	Kaynak
Peynir	TE	TE	TE	TE	1,13-1,78	12,45-63,68	Türk ve ark., 2020
Peynir	0,02-0,05	TE	TE	TE	-	-	Serencam ve ark., 2018
Peynir	-	0,073	-	-	5,338	-	Temurci ve Güner, 2006
Kefir	TE	TE	TE	TE	0,81-3,92	181,8	Acar, 2025
Peynir	-	-	-	-	6,71	12,20	Tarakçı ve ark., 2003
Peynir	0,08-0,13	0,10-0,12	-	-	1,06-1,44	15,35-27,15	Yalçın ve Tekinşen, 2010
Süt tozu	0,3352	0,1252	0,0204	0,120	0,2496	-	Elafify ve ark., 2023
Kaymak	0-0,12	0-0,02	-	0-0,51	0-1,79	0,59-81,51	Kan ve Küçük Kurt, 2018
Yoğurt	0,06	0,09	-	-	4,059	-	Enb ve ark., 2009
Dondurma	0-0,056	0-0,036	TE	TE	-	-	Conficoni ve ark., 2017

TE: tespit edilmedi (-): analiz edilmedi

Tablo 2’de süttten üretilen yoğurt, peynir, dondurma, kaymak, süt tozu, kefir gibi ürünlerde incelenen bazı ağır metaller ve miktarları gösterilmektedir. Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği’nde gıdalarda bazı metaller için kalıntı aralıkları belirlenmiştir. Buna göre Pb 0,01-2 mg/kg; Cd 0,005-3 mg/kg; Hg 0,1-1 mg/kg; As 0,01-0,5; Sn 50-200 mg/kg arasında ya da daha düşük düzeylerde olmalıdır (TGK, 2023). Verilen örnekler incelendiğinde süt ürünlerinin yasal limitlere uygun olduğu görülmektedir. Yapılan bir çalışmada, bir yıl boyunca peynir üretimi prosesinde süt ve peynir

örneklerinin ağır metal (Pb ve Cd) içerikleri ve değişimleri incelenmiştir. Çalışma sonunda örneklerin ağır metal riski bulundurmadağı tespit edilmiş ve sütün peynire işlenmesi sonucu ağır metal miktarında azalma görüldüğü belirtilmiştir (Yüzbaşı, 2001). Bazı çalışmalarda da meyve/şeker/şeker şurubu katkılı süt, yoğurt, kefir, dondurma; bitki/baharat katkılı peynir gibi katkılı süt ürünlerinde ilave edilen gıdalardan kaynaklı yada ambalaj kaynaklı ağır metal kirliliği görülebildiği bildirilmektedir (İstanbuluoğlu ve ark., 2013).

5. SONUÇ

Endüstrinin gelişmesi, kentleşme, nüfus artışı gibi değişimler havanın, toprağın ve suyun kirlenmesinde etkili olmaktadır. Çevresel kirlilik besin zincirine yansyarak gıdaların kontaminasyonuna neden olmakta ve toplum sağlığını tehdit eden sorunlar ortaya çıkmaktadır. Ağır metal kirliliği toprakta yetişen bitkilerde, içme sularında, sulama sularında, atmosferde, hayvansal gıda ürünlerinde bulunabilmektedir. Süt ve süt ürünlerinin ağır metallerle kontaminasyon yolları çeşitli şekillerde olabilmektedir. Öncelikle sütün elde edildiği hayvanın beslenme şekli (kontamine yem/bitki, kirli su), hayvanın kullandığı veteriner ilaçları birincil kaynaklardır. Sütün taşınması, işlenmesi aşamalarında kullanılan alet, ekipman; süt ve ürünlerinin ambalajlanmasında kullanılan malzemeler de sütün ağır metal içeriğini etkileyen faktörlerdir. Ağır metaller doku ve organlarda birikme özelliği gösterdiğinden organ hasarlarına, metabolik hastalıklara, alerjik tepkimelere, endokrin sistemde bozukluklara, ileri düzeyde kansere neden olmaktadır. Bu bakımdan ağır metallerin süt ve ürünlerine geçişi önlenmeli ve sütün işleme süreci kontrol altında tutulmalıdır. Tarımsal üretimde alınabilecek önlemler arasında en önemlisi üretimde gübre ve kimyasal ilaç kullanımının azaltılmasıdır. Hayvansal üretimde veteriner ilaçlarının kullanımı azaltılmalı, hayvan beslenmesinde hijyenik, temiz yem kullanılmalıdır. Hava kirliliğine neden olan yakıtların kullanımı önlenmeli, çevresel atıkların kontrolü sağlanmalıdır. Sütün işlenmesinde korozyona dayanıklı ekipmanların kullanılması sağlanmalı, ürüne uygun ambalajlar tercih edilmelidir.

KAYNAKÇA

- Acar R. (2025). Afyonkarahisar ilinde satışa sunulan kefirlerde bazı ağır metallerin ICP-OES ile araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyokimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 62 s., Afyonkarahisar.
- Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M. R., & Sadeghi, M. (2021). Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Frontiers in Pharmacology*, 12, Article 643972. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>
- Baş, A.L., Demet, Ö. (1992). Çevresel toksikoloji yönünden bazı ağır metaller. *Ekoloji Dergisi*, 5: 42-46.
- Beykaya M, Yıldırım Z, Özbey A, Yıldırım M. (2019). Sivas ilindeki bazı süt işletmelerine gelen sütlerin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin belirlenmesi. *TURJAF*, 7:105-109.
- Conficoni D., Alberghini L., Bissacco E., Ferioli M., Giaccone V. (2017). Heavy metal presence in two different types of ice cream: Artisanal ice cream (Italian Gelato) and industrial ice cream. *Journal of Food Protection*, 80(3): 443-446.
- Çanakcı Adıgüzel G, Şahin B. (2022). Determination of heavy metal levels in raw milk sample. *Vet Sci Pract.*, 17(2), 61-65.
- Dündar Y., Aslan R. (2005). Yaşamı kuşatan ağır metal kurşunun etkileri. *Kocatepe Tıp Dergisi*, 6: 1-5.
- Elafify M., El-Toukhy M., Sallam K.I., Sadoma N.M., Abd-Elghany S.M., Abdelkhalek A., El-Baz A.H. (2023). Heavy metal residues in milk and some dairy products with insight into their health risk assessment and the role of *Lactobacillus rhamnosus* in reducing the lead and cadmium load in cheese. *Food Chemistry Advances*, 2, 100261.
- Elham M S, Ahmed MH, Sanna MB, Amr A. Mostafa A. (2011). A survey of selected essential and heavy metals in milk from different regions of Egypt using ICP-AES. *Food Addit Contam.* 4(4): 294-298.
- Fallah AA, Jafari T, Fallah A, Rahnama M (2009) Determination of aflatoxin M1 levels in Iranian white and cream cheese. *Food Chem Toxicol* 47(8): 1872-1875

- Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A., Catalano, A. (2020). The effects of cadmium toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 3782.
- Güler Ü.A., Can Ö.P. (2017). Kimyasal kontaminantların çevre sağlığı ve gıda güvenliği üzerine etkileri. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 170-195.
- İstanbuluoğlu H, Oğur R, Tekbaş ÖF, Bakır B. (2013). Süt ve süt ürünlerinde ağır metal kirliliği. *Türkiye Klinikleri J Med Sci*. 33(2): 410-419.
- İzol E., İnık O. (2022). Topraktaki ağır metallerin güncel analiz yöntemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 36: 116-120.
- Jarup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *Oxford Journals Medicine British Medical Bulletin*, 68(1):167-182.
- Kan F., Küçükkurt İ. (2018). Afyon manda kaymağı ve kaymakaltı sütlerinde bazı ağır metallerin ICP-MS ile araştırılması. *Kocatepe Veteriner Dergisi*, 11(4): 447-453.
- Karadal F, Ertas Onmaz N, Hizlisoy H, Yildirim Y, Al S, Gonulalan Z (2018). Aflatoxin M1 levels in raw sheep, goat and cow milks in Nigde province. *Kocatepe Vet J* 11(2): 119-125.
- Knight, P. G., Jackson, J. C., Bain, B. ve Eldemire-Shearer, D. (2003). Household food safety awareness of selected urban consumers in Jamaica. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 54(4), 309-320. <https://doi.org/10.1080/09637480120092107>
- Licata P, Trombetta D, Cristani M, Giofre F, Martino D, Calo M, Naccari F. (2004). Levels of toxic and essential metals in samples of bovine milk from various dairy farms in Calabria, Italy. *Environ Int*. 30: 1-6.
- Mutlu M., İflazoğlu Mutlu S., Ergin R.E., Tatlı Seven P., Seven İ., Kanmaz, O. E. (2025). Evaluation of Nutrient Profile and Heavy Metal Risks of Feed and Milk Content of Şavak Akkaraman Sheep. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 13(7), 1776-1783.
- Omaye ST. Food and nutritional toxicology. New York: CRC Press, 2004.
- Özbey F. (2019). Determination of milk and dairy consumption habits of university students. *Journal of Health Professionals Research*, 1(1):1-6.

- Póti P, Pajor F, Bodnár Á, Bárdos L. (2012). Accumulation of some heavy metals (Pd, Cd and Cr) in milk of grazing sheep in North-East Hungary. *J Microbiol Biotechnol Food Sci.*, 2:389-394.
- Raikwar MK, Kumar P, Singh M, Singh A. (2008). Toxic effect of heavy metals in livestock health. *Veterinary World*, 1(1):28.
- Reilly, C. (2007). Heavy Metals. Pollutants in Food-Metals and Metalloids. Taylor&Francis Group: LLC:364-367.
- Rice K.M., Walker Jr E.M., Wu M., Gillette C., Blough E.r. (2014). Environmental mercury and its toxic effects. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 47(2): 74-83.
- Serencam, H., Arslaner, A. ve Köse, M., (2018). Civil peynirde ağır metal kontaminasyon kaynağı ve düzeyinin belirlenmesi üzerine bir araştırma, *Engineering Sciences (NWSAENS)*, 13(1): 21-26.
- Srivastava R., Singh Y., White J.C., Dhankher O.P. (2024). Mitigating toxic metals contamination in foods: Bridging knowledge gaps for addressing food safety. *Trends in Food Science & Technology*, 153, 104725.
- Şık B., Küçükçetin İ.Ö., ErKaymaz T., Yıldız G. (2012). Gıda güvenliği açısından endokrin bozucu pestisitler. *Akademik Gıda*, 10(2), 89-95.
- Şimşek O, Gültekin R, Öksüz O, Kurultay S. (2000). The effect of environmental pollution on the heavy metal content of raw milk. *Nahrung*. 44: 360-363.
- Tarakçı Z., Yurt B., Küçüköner E. (2003). Darende Dumas çökeleğinin yapılışı ve bazı özellikleri üzerine bir araştırma. *Gıda*, 28(4): 421-427.
- Tarannum, N., Khatoon, S., & Dzantiev, B. B. (2020). Perspective and application of molecular imprinting approach for antibiotic detection in food and environmental samples: A critical review. *Food Control*, 118, Article 107381. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107381>
- Temiz H, Soylu A. 2012. Heavy metal concentrations in raw milk collected from different regions of Samsun, Turkey. *International Journal of Dairy Technology*, 65: 516-522.
- Temurci H, Güner A. (2006). Ankara'da tüketime sunulan süt ve beyaz peynirlerde ağır metal kontaminasyonu. *Atatürk Üniversitesi Vet Bil Derg.* 1(2): 20-28.

- Türk E., Tekeli İ.O., Kırgız F.C. (2020). Hatay’da bazı yöresel peynir çeşitlerinin ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. *Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 13(2): 130-134.
- Türk Gıda kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği, (2023). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/11/20231105-1-1.pdf>
- Wang, Z., Wei, X., Yang, J., Suo J., Chen, J., Liu, X., Zhao, X. (2016). Chronic exposure to aluminum and risk of Alzheimer’s disease: A meta-analysis. *Neuroscience Letters*, 610, 200-206.
- Yalçın Ö., Tekinşen K.K. (2010). Konya’da tüketime sunulan salamura, tulum ve kaşar peynirlerinin ağır metal içeriklerinin araştırılması. *Etlik Vet. Mikrobiyol. Derg*, 21: 5-10.
- Yüzbaşı N. (2001). Kaşar peynirinde bazı ağır metallerin düzeyi ve prosesteki değişimi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, Ankara.

VETERİNER GIDA HİJYENİ VE TEKNOLOJİSİ
DEĞERLENDİRMELERİ

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com