

Elektrik İletkenliği Ölçüm Tekniğinin Süt Teknolojisindeki Uygulama Alanları

Sibel MİLCİ, Hasan YAYGIN

Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, 07070 Antalya

ÖZET

Elektrik iletkenliği ölçüm tekniği süt teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Süt, zengin bileşimi özellikle de içerdiği mineral maddeler nedeni ile iletken bir gıdadır. Sütün elektrik iletkenliği yapısında yer alan iyonlar tarafından belirlenmekte, diğer bileşenler ise iletkenlik üzerine farklı düzeyde etki etmektedir. Süt hayvanının türü ve ırkı, beslenme şekli, laktasyon periyodu ve sayısı ile sütün asitliği ve sıcaklığı gibi pek çok faktör sütün elektrik iletkenliği değerini etkilemektedir. Bu derlemede, elektrik iletkenliği üzerine etkili olan faktörler ve elektrik iletkenliğinin süt teknolojisindeki kullanım alanları hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrik iletkenliği, süt

ABSTRACT

Electrical conductivity measurements have been used extensively in the dairy industry. Due to its richness composition particularly ion concentration, milk is a conductor food. While the electrical conductivity of milk is mainly determined by soluble salt fraction in milk, the other components have a different influence on it. Many factors such as species and race, stage of lactation, feed of dairy animal and also temperature and acidity of the milk can affect the electrical conductivity. In this review, it was mentioned that the factors influencing the electrical conductivity of milk and the using area of this technique in the dairy industry.

Key Words: Electrical conductivity, milk

GİRİŞ

Elektrik iletkenliği değerinin belirlenmesi, iletkenlik özelliğine sahip materyallerin elektrik akımına karşı gösterdikleri direncin ölçülmesi esasına dayanmaktadır [1]. Birimi Siemens/metre (S/m) veya Siemens/santimetre (S/cm)'dir. Ancak bazı kaynaklarda iletkenlik mho/cm değeri ile de ifade edilmektedir. 1/Direnç'e eşit olan iletkenliğin simgelenilmesinde kullanılan mho, direnç birimi olan ohm'un ters çevrilmesiyle elde edilmiş olup, 1 Siemens değerine eşittir. Materyaller için karakteristik olan elektrik iletkenliği 10^7 S/m ile 10^{-18} S/m (örnek; quartz) arasında değişim göstermektedir. Sıvı çözeltilerin iletkenlik değerleri de bu iki sınır arasında yer almaktadır [2].

Elektrik iletkenliği ölçüm tekniği gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sudaki kontaminantların tespitinde, mikrobiyal gelişim ve metabolik aktivitenin izlenmesinde [2], meyvelerin depolanması sırasında olgunluk derecelerinin tespit edilmesinde [3], hububatların nem içeriğinin ölçülmesinde, deiyonize suyun kalitesinin belirlenmesinde, alkollü içkilerin konsantrite edilmesi sırasında şeker miktarının tespitinde [4] ve rigor-mortis sonucu etin kas fibrillerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde [5] elektrik iletkenliği ölçümünden yararlanılmaktadır.

Süt ve süt ürünlerinin yağ, su ve protein içeriklerinin belirlenmesi ile mastitisli sütlerin tespit edilmesinde 40 yılı aşkın bir süredir elektrik iletkenliğinden yararlanılmaktadır [2]. Süt

zengin bileşimi özellikle de içerdiği mineral maddeler nedeni ile iletken bir gıdadır. Sütün elektrik iletkenliğine başta sodyum ve klor iyonları olmak üzere diğer iyonlar da etki etmektedir [6]. Normal bileşimli inek sütünün elektrik iletkenliği 25 C'de 4.0-5.5 mS/cm (miliSiemens/santimetre) değerleri arasında yer almaktadır [7].

Sütün elektrik iletkenliği, herhangi bir dış müdahale olmaksızın doğal faktörlere bağlı olarak bazı değişiklikler göstermektedir. Özellikle laktasyon periyodu, sütün elektrik iletkenliğini büyük oranda etkilemektedir. Fazla miktarda mineral madde içeren ağız sütünde yüksek olan elektrik iletkenliği değeri, laktasyonun ilerlemesiyle normale dönmekte ve laktasyonun sonuna doğru tekrar yükselmektedir. Yine sütün elektrik iletkenliği sağıldığı hayvanın türüne ve ırkına bağlı olarak da bazı değişiklikler göstermektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda ortalama elektrik iletkenliği değerleri, domuz ve deve sütünde 4.60 mS/cm, keçi sütünde 5.46 mS/cm, koyun sütünde ise 4.33 mS/cm olarak belirlenmiştir. Aynı hayvanın değişik meme başlarından elde edilen sütlerin elektrik iletkenliği değerlerinde bile küçük değişimler gözlenebilmektedir. Süt hayvanının beslenme şekli ve fizyolojik durumu, özellikle kızgınlık dönemi sütün elektrik iletkenliğini etkileyen diğer faktörlerdendir [8,9].

Süt; içerisinde koloidal halde kazein, emülsiyon formunda yağ, gerçek çözelti halinde mineral madde ile laktoz ihtiva eden ve buna ilaveten çeşitli vitamin, enzim, organik bileşik ve erimiş gazları bünyesinde bulunduran kompleks bir karışımdır [7]. Bu nedenle sütün elektrik iletkenliği değerinin tespit edilebilmesi için yapısında yer alan her bir bileşiğin iletkenlik değerinin belirlenmesi gerekmektedir [2].

Bir çok çözeltide olduğu gibi sütün de elektrik iletkenliği bileşiminde yer alan iyon miktarı ile yakından ilişkilidir [10]. Sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, klor ve bunlardan oluşan tuzlar sütün %0.7'sini oluşturmaktadır. Ancak bu miktar hayvanın beslenme şekline, mevsimsel faktörlere ve laktasyon periyoduna bağlı olarak değişim göstermektedir [2]. Normal bileşimli inek sütünün mineral madde kompozisyonu Tablo 1 'de verilmiştir [6]. Sütün bileşiminde yer alan klor ve sodyum iyonları, elektrik iletkenliğinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Çözünür formda bulunan kalsiyumun elektrik iletkenliğine olan etkisi fosfor, magnezyum, potasyum ve sodyum gibi diğer elementlerden oldukça yüksektir [2].

Süt proteinlerinin elektrik iletkenliği üzerine olan etkisinin belirlenmesi güç olmakla birlikte molekül büyüklüklerine bağlı olarak düşük oranda etki ettikleri bilinmektedir [6]. Sütün yapısında yer alan proteinlerin önemli kısmını oluşturan kazein, sütte bulunan mineral maddelere kıyasla oldukça düşük elektrik iletkenliği değeri göstermektedir [2]. Kazein, sütün doğal yapısı içerisinde miseller şeklinde yer almaktadır. Kazein miselleri, kazein ile kalsiyum iyonlarının neden olduğu bir tepkimenin ürünüdür. Kalsiyum iyonunun etkisiyle bir araya gelen ve kazein submiseli (alt misel) oluşturmakta, submiseller ise koloidal kalsiyum fosfat demetlerinin etkisiyle kazein misellerini meydana getirmektedir [7]. Kazeinin yapısında bulunan bu mineral maddeler belirli koşullar altında

çözünür forma dönüşerek sütün iletkenliğinin artmasına neden olmaktadır [2].

Tablo 1. Sütün mineral madde kompozisyonu: Çözünür ve çözünmez (kazein misellerine bağlı) formda bulunan iyonların yaklaşık yüzde dağılımları

| İyonlar | İnorganik | Organik |
|-----------------|--|--|
| | Miktar (%) | |
| Çözünür | | |
| Ca | 33.3 (11.6 ¹ , 18.3 ² , 3.4 ³) | |
| P | 33.5 ⁴ | 17.6 ⁵ |
| Sitrat | 94 | |
| Mg | 65 | |
| Na, K | 95 | |
| Çözünmez | | |
| Ca | 44.5 ⁶ | 22.2 ⁷ |
| P | 30.0 ⁶ | 18.9 (16.6 ⁷ , 2.3 ⁸) |
| Sitrat | | 6 |
| Mg | | 35 ⁷ |
| Na, K | | 5 ⁹ |

¹ iyon halindeki kalsiyum

² kalsiyum sitrat

³ kalsiyum fosfat

⁴ kalsiyum, potasyum ve magnezyum tuzları

⁵ fosforik esterler

⁶ trikalsiyum fosfat

⁷ kazein kompleksi

⁸ fosfolipidler

⁹ protein kompleksleri

Elektrik iletkenliğine etki eden diğer bir faktör süt yağdır. Sütteki yağ miktarı arttıkça, elektrik iletkenliği azalmaktadır. Bu özellikten yararlanılmak suretiyle sürekli çalışan işletmelerde özel cihazlarla otomatik yağ kontrolü yapılmaktadır [7]. Mabrook ve Petty (2003) tarafından yapılan bir çalışmada sütün iletkenlik değerinin yağ miktarının artmasıyla azaldığı belirlenmiştir. Elde edilen bulgular neticesinde %3.6 oranında yağ içeren tam yağlı, %1.6 oranında yağ ihtiva eden yarım yağlı ve %0.1 oranında yağ içeriğine sahip yağsız sütün iletkenlik değerleri sırasıyla 5.050.03 mS/cm, 5.230.03 mS/cm ve 5.400.03 mS/cm olarak tespit edilmiştir. Yağ miktarı ile elektrik iletkenliği arasındaki bu ters orantı, yağ globüllerinin iletkenlik özelliğine sahip olmayan bir membranla kaplı olmasına bağlanmaktadır [2].

Sütün önemli bileşenlerinden biri olan laktoz, elektrik iletkenliği üzerine çok az etkide bulunurken, kuvvetli iletkenlik özelliği gösteren laktik asidin yeni sağılmış sütteki miktarı oldukça önemlidir [2,6].

Elektrik iletkenliği sütün asitliğinin artması ile birlikte yükselmektedir. Yapılan bir çalışmada, taze sıkılmış limon suyu tam yağlı süte ilave edilirken iletkenlik ve pH değerleri ölçülmüş, pH'nın 4.9-5.0'a ulaştığı anda elektrik iletkenliği değerinin 5.8 mS/cm'ye yükseldiği tespit edilmiştir. İlave edilen asit ile sütün pH'sı düşmekte, bunun sonucunda da kazein misellerine koloidal olarak bağlı bulunan kalsiyum ve fosfor iyonları çözünür forma geçerek iletkenlik değerinin artmasına neden olmaktadır [2]. Sütte bakteriyel faaliyetler sonucu

asitliğin artmasıyla elektrik iletkenliği değerinin de arttığı tespit edilmiş ve bu artışın her 1 SH için ortalama 80 S/cm olduğu belirlenmiştir [8].

Elektrik iletkenliği üzerine etkili olan diğer bir faktör, sütün oda sıcaklığında uzun süre bekletilmesidir. Oda sıcaklığına bırakılan sütün elektrik iletkenliği ilk 48 saat içerisinde önemli derecede yükselme göstermektedir. Mabrook ve Petty (2003) tarafından yapılmış olan bir çalışmada, tam yağlı sütün elektrik iletkenliği değerinin, yağsız süte kıyasla ilk 24 saat içerisinde daha fazla yükseldiği belirlenmiş, bunun sebebi ise tam yağlı sütte bulunan serbest yağ asitleri miktarının daha fazla olmasına dayandırılmıştır. Bilindiği gibi yağ globülü membranının %50'si fosfolipitlerden meydana gelmektedir. Fosfolipid katmanı fazla miktarda lesitin ve az miktarda kefalin, sfingomiyelin ve serebrozitol içermektedir. Sütün oda sıcaklığında uzun süre bekletilmesi fosfolipitlerin yapısında bulunan fosfat iyonlarının, serbest hale geçmesine ve bunun sonucu olarak da elektrik iletkenliği değerinin artmasına neden olmaktadır [2].

Mucchetti ve ark (1994) tarafından yapılan bir çalışmada süt, süt bazlı ürünler ve sütün yapısında yer alan besin elementlerinin elektrik iletkenliği değerleri ayrı ayrı belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir [6]. Araştırmacılar, saf süt proteinlerinden çözülebilir tuzların ayrılmasının kolay olmaması nedeni ile proteinlerin iletkenliğe olan etkisinin belirlenmesinin oldukça güç olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan incelemeler sonucunda protein fraksiyonlarının iletkenlik değerinin 200-300 S/cm arasında değiştiği tespit edilmiştir. Sütün yapısında yer alan bazik ve asidik karakterli serbest amino asitlerin iletkenliğe olan etkisi nispeten önemli bulunmuş, üre ve laktozun ise iletkenlik özelliğine sahip olmadığı belirlenmiştir. Laktik asit ve tuzları iletkenlik açısından oldukça önemlidir. Bu moleküller taze sütte düşük oranda bulunmakta fakat laktik asit bakterileri tarafından meydana getirilen fermentasyonun en önemli ürünlerini oluşturmaktadır [6].

Tablo 2. Süt, süt bazlı ürünler ve bazı süt bileşenlerinin elektrik iletkenliği değerleri

| Örnek | Elektrik İletkenliği (µS/cm) |
|-----------------------------------|------------------------------|
| Çiğ süt | 4680 |
| Yağsız süt | 4920 |
| Peyniraltı suyu | 5180 |
| Dia-filtre edilmiş süt | 278 |
| Ultrafiltrasyon permeatı | 4762 |
| Serum proteinleri çözeltisi (%78) | 214 |
| Laktoz çözeltisi (%5) | 27 |
| Amino asit çözeltisi (6.25 mM) | |
| Glutamik asit | 100 |
| Arginin | 124 |
| Sistein | 8 |
| Metionin | 7 |
| Üre çözeltisi (50 mg/100 ml) | 4 |
| Tuz çözeltisi (100 mg/100ml) | |
| Sodyumlaktat | 516 |
| NaCl | 1626 |
| KCl | 1585 |
| CaCl ₂ | 1475 |

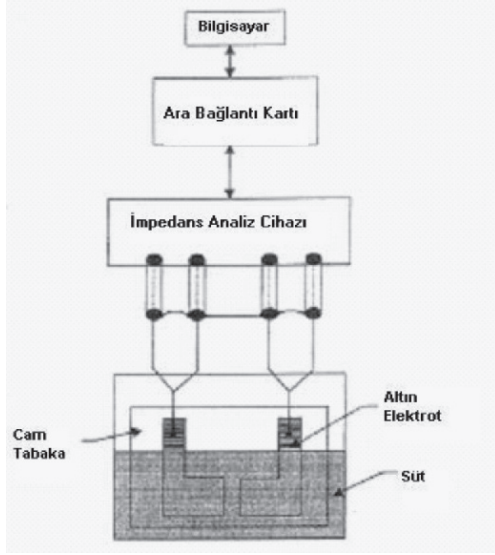
Sütün elektrik iletkenliği impedans analiz sistemi ile ölçülmektedir [2,11]. İmpedans, iletkenlik ve kapasitans olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Kullanılan cihaza bağlı olmakla birlikte bu sistem ile sütün toplam impedans değeri yada impedans bileşenlerinden iletkenlik ve kapasitans değerleri ayrı ayrı saptanabilmektedir. İmpedans ile iletkenlik

ve kapasitans arasındaki ilişki aşağıdaki matematiksel eşitlik ile ifade edilmektedir [12].

$$Z = \sqrt{\left(\frac{1}{G}\right)^2 + \left(\frac{1}{2\pi fC}\right)^2}$$

Z=impedans
G=kondüktans
C=kapasitans
f= frekans

Elektrik iletkenliği ölçüm sisteminin şematik diyagramı Şekil 1'de verilmiştir [11].



Şekil 1. İmpedans analiz sisteminin şematik diyagramı

Şekilden de görüleceği üzere cihazda iki altın elektrot bulunmaktadır. Elektrotlar ince bir cam yüzey üzerine yüksek basınç altında (10^{-6} mbar) termal evaporasyon işlemi ile L şeklinde yerleştirilmiş olup boyutları 15mm x 6 mm ve iki elektrot arasındaki mesafe 1 mm'dir. Bu elektrotlar, impedans analiz cihazına dört adet kablo ile bağlanmıştır. Kabloların iletkenlik ve kapasitans değerleri cihaz tarafından otomatik olarak elemine edilebilmektedir. Elektrik iletkenliği ölçümü için ağız geniş bir kaba konulmuş olan süt içerisine elektrotlar daldırılmakta ve örneğin elektrik iletkenliği değeri bilgisayardan okunmaktadır [11].

Elektrik iletkenliği ölçümü, süt teknolojisinde süte su katılmasının belirlenmesinde [8,10], laktik asit bakterilerinin faaliyeti ve fermentasyonunun izlenmesinde [1,13,14], mastitisli sütlerin teşhisinde [15,16] ve bazı mikroorganizmaların tespit edilmesinde [14,17] kullanılmaktadır.

SÜTE SU KATILMASININ BELİRLENMESİ

Çiğ sütlerin pazarlanmadan önce çeşitli hilelere maruz kaldığı bilinmektedir. Süt yağının alınması, içine su katılması, asitlik gelişiminin önlenmesi veya gelişen asitliğin maskelenmesi amacıyla nişasta, soda ve sağlığa zararlı çeşitli kimyasal maddelerin ilave edilmesi yapılan hilelerin en başında gelmektedir [18]. Bu hileler, sütte özellikle donma noktası, özgül ağırlık, viskozite, elektriksel iletkenlik ve osmatik basınç gibi fizikokimyasal özellikler ile kimyasal özelliklerin değişimine neden olmaktadır [8].

Süte su katmak suretiyle hile yapılması, çok kolay ve her yerde tatbiki mümkün olan bir yöntemdir [10]. Eklene su ile sütteki toplam çözünür madde ve iyon miktarı azaldığı için elektrik

iletkenliği de azalmaktadır. Bu azalma %0-20 su katım aralığında en yüksek değere sahiptir. Her %1'lik su ilavesi için iletkenlikte ortalama 35 S/cm azalma olduğu tespit edilmiştir [8,10].

Koruyucu madde katılmamış taze süte su ilavesinin belirlenmesi için, sütün donma noktasının tayin edilmesi en duyarlı yöntemlerden birisidir. Fakat bu analizin uzun zaman alması ve özel ekipman gerektirmesinden dolayı çok sayıda örnekle yapılan çalışmalar için pratik olmaması önemli bir sorundur. Süte katılan su miktarının saptanmasında en hızlı ve kolay yöntemler, sütün elektrik iletkenliğinin ve özgül ağırlığının belirlenmesidir. Ancak özgül ağırlık testi sadece %10'un üzerinde katılan su miktarı hakkında fikir verdiği için güvenilirliği az olan bir yöntemdir [10].

Elektrik iletkenliği ölçümlerinin süte katılan su oranının saptanmasında en az diğer yöntemler kadar uygun bir biçimde kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek üzere yapılmış olan bir çalışmada, aynı sürüden iki farklı dönemde alınan çiğ süt örnekleri, uygulamada yaygın olarak karşılaşılan oranlarda (%0-25) sulandırılmış ve bu sütlerde donma noktası, basitleştirilmiş molekül sabitesi ve elektrik iletkenliği ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar, adı geçen bu üç yöntemin süte katılan su oranının saptanmasında aynı duyarlılık ve doğrulukla kullanılabileceğini bildirmişler, ancak elektrik iletkenliği yönteminin küçük işletme ölçeğinde ve arazi çalışmalarında kullanım olanağının olması, çabuk sonuç vermesi ve cihazın ucuz olması gibi nedenlerden dolayı diğer iki yöntemden daha üstün olduğu görüşüne varmışlardır [8].

Akyüz ve ark (1996) tarafından, süte su katılması yolu ile yapılan hilelerin belirlenmesinde elektrik iletkenliği yönteminin kullanılabilirliği üzerine yapılmış olan diğer bir çalışmada 200 süt örneği incelenmiştir. Analiz edilen süt örneklerine ait elektrik iletkenliği değerleri en düşük 3.7 mS/cm ve en yüksek 6.5 mS/cm olarak belirlenmiş, elektrik iletkenliği değeri 4.6 mS/cm ve altında olan 54 örnekten 34'üne değişen oranlarda su katıldığı tespit edilmiştir [10].

LAKTİK ASİT BAKTERİLERİ FAALİYETİ ve FERMENTASYONUN İZLENMESİ

Gıdaların fermentasyonla muhafazası bilinen en eski yöntemlerden birisidir. Birçok süt ürünlerinin üretiminde laktik asit fermentasyonu oldukça önemli rol oynamaktadır. Saf kültür hazırlanmasında yararlanılan mikroorganizmaların bir kısmı esas olarak süt şekerini parçalayıp süt asidi meydana getirdiği halde, bir kısmı süt yağı ve proteinlerini parçalayarak çeşitli maddelerin oluşmasına ve böylece ürünün karakteristik tat, aroma, görünüş ve yapısının meydana gelmesine yardım etmektedir [19].

Fermente süt ürünlerinde elektrik iletkenliği, oluşan laktik asit sonucu anyon ve katyonların çözünür forma geçmesi ile belirlenebilmektedir. Sütteki toplam kalsiyumun üçte ikisi ve fosfatın yarısı misellerin yapısında bulunmaktadır. Asitliğin artması ile kazein miselleri çözünür, çözünür forma geçen kalsiyum ve fosfat iyonlarının miktarı süt serumu içerisinde artmaktadır. pH 5.2 ve daha aşağıdaki değerlerde fosfor iyonunun tamamı çözünür forma dönüşürken kalsiyum iyonunun %14'ü kazein misellerine bağlı olarak kalmaktadır. Magnezyum, potasyum ve sodyum gibi mineral maddelerin pH 5.4 ve daha düşük değerlerde değişime uğramadan sabit kalması, bu iyonların elektrik iletkenliğine olan etkisinin kalsiyum ve fosfor iyonlarından daha düşük olduğu düşüncesinin kanıtıdır [1].

Fermente süt ürünlerinin üretiminde, fermentasyonun bitiş noktası ürünün kalitesinin tespiti açısından son derece önemli bir faktördür. Fermentasyon boyunca pH ve titrasyon asitliği değerinin ölçülmesi, laktik asit fermentasyonu sırasında meydana gelen değişimlerin ve bakteriyel aktivitenin izlenmesini mümkün kılmaktadır. Bu nedenle pH'nın belirlenmesi son derece önemli olup ölçüm genellikle cam elektrotla sahip pH metre ile yapılmaktadır. Ancak pH probunun sağlam materyalden yapılmamış olması, pH metrenin kalibrasyonu ile tamirinin güç olması ve bazı ülkelere ait yönetmeliklerin fermentasyon sırasında teknelerde cam elektrotların kullanımına müsaade etmemesi gibi nedenlerden dolayı fermente süt ürünleri üretiminde pH ölçümü süreklilik arz etmemektedir. Bu kısıtlama üretim sırasında cam elektrotun kırılması sonucu üründe cam parçacıklarının bulunabilme riskinin ortadan kaldırılması amacıyla getirilmiştir. Dolayısıyla üretim sırasında düzenli aralıklarla örnekler alınarak analiz edilmekte bu da iş gücünün artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle üretim yapılan teknelerde cam prob kullanılmaksızın asitlik gelişimini sürekli takip etmek amacı ile yeni yaklaşımların geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuş, elektrik iletkenliği ölçüm tekniğinin bu amaç için oldukça uygun olduğu tespit edilmiştir [1,13].

St-Gelais ve ark (1995), sütün laktik asit fermentasyonu sırasında pH ve elektrik iletkenliğindeki değişimlerin birbiriyle yakından ilişkili olduğunu belirlemişler ve çeşitli süt ürünlerinde asitlik gelişiminin izlenmesi için elektrik iletkenliği metodunun kullanılabilirliğini kanıtlamışlardır. Araştırmacılar, süt endüstrisinde elektrik iletkenliği ve pH (6.4-4.6) arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu ve fermente süt ürünleri üretiminde elektrik iletkenliği değerinin takip edilmesi sureti ile fermentasyonun arzu edilen pH değerinde kolaylıkla durdurulabileceği sonucuna varmışlardır. Ayrıca yoğurt, ekşi krema, kültürlü tereyağı gibi çeşitli süt ürünlerinin üretiminde de bu metodun kullanımının oldukça uygun olduğunu bildirmişlerdir [1].

Asitlik gelişiminin elektrik iletkenliği üzerine olan etkisini belirlemek üzere yapılan diğer bir çalışmada, %10'luk laktik asit solüsyonu hazırlanmış ve bu solüsyonun 200 l'si dia-filtre edilmiş süte, yağsız süte ve demineralize suya ilave edilerek bu çözeltilerin elektrik iletkenlik ve pH değerleri ölçülmüştür. Elde edilen bulgular neticesinde, laktik asit ilavesi ile pH'nın düşmesi sonucunda kazeinin yapısında yer alan kalsiyum ve fosfat iyonlarının pH 4.9-5.0 'da kolloidal halden çözünür forma dönüştüğü tespit edilmiş, bunun sonucunda da elektrik iletkenliği değerinin yükseldiği belirlenmiştir [6].

Laktik asit bakterilerinden oluşan starter kültürlerin stabilitesinin kontrolü için de elektrik iletkenliği ölçüm tekniğinden yararlanılmaktadır. Bu değer ölçülmesiyle süt endüstrisinde kullanılan saf suşların aktivitesi gözlemlenmekte ve karışık kültürlerin stabilitesi kontrol edilebilmektedir [14].

Peynir yapımında kullanılan laktik asit bakterileri peynirin tat, aroma ve yapı gibi karakteristik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle kullanılan starter kültürlerin yüksek aktivitede olması gerekmektedir [13]. Paquet ve ark (2000) tarafından yapılan bir çalışmada peynir üretiminde kullanılan laktik asit bakterilerinin oluşturdukları fermentasyon, elektrik iletkenliği metodu ile pilot ve endüstriyel üretimde izlenmiştir. Araştırma sonucunda pilot üretimde elektrik iletkenliği ölçümlerinin pH'ya benzer şekilde starter kültürlerin gelişiminin izlenmesinde güvenilir olarak kullanılabileceği sonucuna varılmış, endüstriyel üretimde ise sadece elektrik iletkenliği yönteminin güvenilir sonuç verdiği tespit edilmiştir [13].

Lanzanova ve ark (1993) tarafından yapılan diğer bir çalışmada elektrik iletkenliği metodunun, sütte bulunan *Streptococcus salivarius* ssp. *thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* ve *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris*'in gelişiminin ve metabolik aktivitesinin belirlenmesinde ve sütte bulunan laktik asit bakterilerinin gelişimi üzerine antibiyotik, bakteriosin ve bakteriyofaj gibi faktörlerin inhibe edici etkisinin tespit edilmesinde oldukça uygun bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır [14].

Elektrik iletkenliği metodu ile starter kültürlerin gerçek popülasyonunun tespit edilmesi oldukça güçtür. Çünkü bu metod mikroorganizma sayısının tespitinden çok laktik asit bakterileri tarafından meydana getirilen metabolik aktivitenin belirlenmesinde daha etkili olmaktadır. Elektrik iletkenliği değerinin ölçümü ile kalibrasyon çizgisi bilinen ve değişmez kompozisyonlu saf ve karışık kültürlerin mikroorganizma sayısının tespit edilmesi mümkün iken, içeriği bilinmeyen kültürlerin mikroorganizma sayısı yaklaşık sonuçlarla tespit edilebilmektedir [14].

Svensson (1994), asit üreten bakterilerin, *Leuconostoc* suşlarının ve CO₂ üreten bakterilerin aktivitesini belirlemek için elektrik iletkenliği yönteminin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Yağsız süttözünün sulandırılması ile elde edilmiş ortamda geliştirilen kültürlerin elektrik iletkenliği değerleri Malthus cihazı ile belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda ortalama elektrik iletkenliği değişiminin *L.lactis* ssp. *lactis* biovar. *diacetylactis* için 3750 S, *L. lactis* ssp. *cremoris* için 380 S, *L. lactis* ssp. *lactis* için 420 S ve *Leuconostoc mesenteroides* ssp. *cremoris* için 725 S olduğu tespit edilmiştir [20].

ELEKTRİK İLETKENLİĞİ YÖNTEMİ İLE MASTİTİSLİ SÜTLERİN BELİRLENMESİ

Mastitis, süt teknolojisi açısından son derece önemli bir problemdir. Klinik mastitis üreticiler tarafından tespit edilebilmesine rağmen, subklinik mastitisin teşhisi için iltihaplı bileşiklerin ve patojen karakterli mikroorganizmaların belirlenmesi gerekmektedir. Bu hastalığın teşhisinde kullanılan metodların pahalı olmaması, uygulanabilirliğinin kolay olması ve en önemlisi de doğru sonuç vermesi istenmektedir [15]. Çünkü subklinik mastitis süt veriminde büyük oranda bir azalmaya neden olmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde mastitise bağlı olarak ortaya çıkan verim azalmasının, süt endüstrisinde yıllık 1 milyar dolar zarara neden olduğu tahmin edilmektedir [21].

Mastitis nedeniyle sütün bileşiminde meydana gelen değişikliklerin mümkün olan en kısa sürede belirlenmesi ve hastalığın ilerlemesinin önlenmesi için çeşitli tedbirler alınması, hem süt verimi açısından ve hem de sütün teknolojik olarak işlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır [7]. Mastitis teşhisinde somatik hücre sayısının tespiti, California Mastitis Testi, sütün mikrobiyolojik analizi ve elektrik iletkenliği değerinin ölçülmesi gibi pek çok metottan yararlanılmaktadır. Şüphesiz elektrik iletkenliği metodu diğerlerine nazaran son derece pratik bir uygulamadır [21].

Mastitis, sütün iyon konsantrasyonunda değişiklik meydana getirmesinden dolayı sütün elektrik iletkenliğinin artmasına neden olmaktadır. Memenin yapısında meydana gelen değişim sonucunda laktoz ve potasyum miktarı azalmakta, sodyum ve klor iyonları artmaktadır [22]. Günümüzde mastitis teşhisi için elektrik iletkenliğine dayalı yöntemlerin kullanımı yaygınlaşmıştır [16]. Yapılmış olan çalışmalar klinik ve subklinik mastitisin teşhisinde elektrik iletkenliği metodunun oldukça uygun ve pratik olduğunu göstermektedir [22].

Janal (1987), mastitisli sütlerde elektrik iletkenliği değerinin 6.00 mS/cm'nin üzerinde olduğunu bildirmektedir [23]. Yapılan bir çalışmada memesi Staphylococcus aureus ile enfekte olmuş ineklerden alınan süt örneklerinde elektrik iletkenliğinin 7.1 ile 7.5 mS/cm değerine yükseldiği belirlenmiştir [24].

Nielen ve ark (1993) günlük süt verimi ile elektrik iletkenliği arasında bir korelasyon olduğunu bildirmişler, elektrik iletkenliğindeki 1 mS'lik artışın günlük süt veriminde 0.88 kg'lık bir azalmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir [15].

ELEKTRİK İLETKENLİĞİ YÖNTEMİ İLE MİKROORGANİZMALARIN TESPİT EDİLMESİ

Günümüzde bir kalite standardı olan HACCP sistemi ile özellikle mikrobiyolojik tehlikelerin kontrol altında tutulması hedeflenmektedir. Bu yüzden mikrobiyolojik analizlere her zaman gereksinim duyulmaktadır. Ancak pratikte mikrobiyolojik analiz sonuçlarının geç alınması ve maliyetlerinin yüksekliği nedeni ile kısa sürede sonuç alınabilen mikrobiyolojik kalite kontrol tekniklerinin geliştirilmesi büyük önem kazanmıştır [25].

Kültür ortamlarının elektro-kimyasal özelliklerindeki değişimler gıda maddelerinin, özellikle süt ve ürünlerinin kalitesinin belirlenmesinde başarılı bir şekilde kullanılabilir [14]. Besiyerinin elektrik iletkenliğinde meydana gelen değişimler, örnekte bulunan mikroorganizma sayısı ve bu mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri ile yakından ilişkilidir [26].

Mikroorganizmaların besi ortamında gelişmeleri sırasında iletkenlik özelliği bulunmayan veya oldukça zayıf olan protein, karbonhidrat ve yağ gibi büyük moleküller daha küçük yapıli moleküllere dönüştürülmekte ve iletkenlik özelliği yüksek olan amino asit, laktat ve asetat gibi son ürünler meydana gelmektedir. Böylece besi ortamının elektrik iletkenliğinde büyük oranda bir değişim oluşmakta ve bu değişim sisteme entegre edilen paslanmaz çelik elektrotlarla ölçülebilmektedir [17].

Genel olarak bakteriyel gelişme sonucu ortamın elektrik iletkenliği artış göstermektedir. Bazı mikroorganizmalar örneğin mayalar, genellikle iyonize olmayan metabolitler oluşturarak iletkenlikte çok az değişim meydana getirmektedirler. Maya gelişmesinin söz konusu olduğu yoğurt gibi ürünlerde son yıllarda geliştirilen indirekt elektrik iletkenliği ölçüm yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde paslanmaz çelikten yapılmış olan elektrotlar, mikrobiyal besi ortamı yerine, ikinci kısımda yer alan alkali bir çözeltiye daldırılır. Mikroorganizmalar tarafından üretilen CO₂ gazı, alkali çözelti ile reaksiyona girerek belirli bir süre sonra çözeltinin rezistansında ölçülebilir bir değişime neden olmaktadır [12].

Mucchetti ve ark (1994) tarafından yapılmış olan bir çalışmada laktik asit bakterilerince oluşturulan proteolizin elektrik iletkenliğine olan etkisi belirlenmiştir. Araştırmacılar, sütte bulunan farklı laktik asit bakterilerinin serbest amino asit miktarını artırdığını buna bağlı olarak iletkenlikte 10-50 S/cm civarında bir artışa neden olduğunu tespit etmişlerdir [6].

Gıda endüstrisinde özellikle de süt teknolojisinde en önemli problemlerden bir tanesi gıda zehirlenmesine neden olan Listeria monocytogenes varlığıdır. Taranto ve ark (1997) tarafından yapılmış olan bir çalışmada L.monocytogenes üzerine safra asidinin inhibe edici etkisi optik yoğunluk ve elektriksel iletkenlik değerlerinin ölçülmesi ile tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda bakteriyel gelişim üzerine inhibitör veya aktivatör olarak görev yapan bileşiklerin belirlenmesinde kullanılan optik yoğunluk ve elektrik iletkenliği değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Pratik olması ve güvenilirliğinin yüksek olması gibi nedenlerden dolayı araştırmacılar, elektrik iletkenliği yönteminin diğer yöntemlerden daha üstün olduğu görüşüne varmışlardır [26]. Elektrik iletkenliği ölçüm tekniği, özellikle süt ve süt ürünlerinin

toplam mikroorganizma sayısının saptanmasında rutin olarak kullanılabilir [12]. Besi ortamının elektriksel özelliklerindeki değişim Baktometre ve Malthus gibi özel cihazlarla ölçülmektedir. Bu iki cihaz birbirine benzer özellik göstermektedir. Ancak Malthus sistemi, çok kullanımı ve otoklav edilebilir özelliğe sahip örnek kavanozu ve elektrot içermektedir [17].

Baktometre, bileşimi normal olmayan sütlerin tespitinde, antibiyotiklerin belirlenmesinde, starter kültür aktivitesinin ölçülmesinde, bakteriyofaj tespiti ile pastörize edilmiş sütün raf ömrünün tahmin edilmesinde; Malthus sistemi ise pastörize edilmiş sütün pastörizasyon sonrası kontaminasyona uğrayıp uğramadığının kontrolünde, çiğ sütte bulunan psikrotrofik bakterilerin tespitinde ve süt tozunda mikroorganizma belirlenmesinde kullanılmaktadır. Son zamanlarda sütteki Salmonella'nın belirlenmesi ve Enterobacteriaceae'nin sayımı için de elektrik iletkenliği metodundan yararlanıldığı bildirilmektedir [17].

Elektriksel iletkenlik yöntemi geleneksel standart plak sayımına kıyasla çok daha az iş gücü, besiyeri ve alet-ekipmana ihtiyaç duyulması, daha kısa sürede sonuç vermesi gibi çok önemli bazı avantajlara sahiptir. Kullanılan cihazlar ilk alımda pahalı bir yatırım olarak düşünülebilir. Fakat cihazın kullanım süresi içinde analiz başına düşen maliyet oranının azaldığı ve analiz süresinden yüksek tasarruf sağlandığı göz ardı edilmemelidir.

KAYNAKLAR

1. St-Gelais, D., Champagne, P. C., Erepnoc, F., Audet, P., 1995. The use of electrical conductivity to follow acidification of dairy blends. *International Dairy Journal*, (5):427-438.
2. Mabrook, M.F., Petty, M.C., 2003. Effect of composition on the electrical conductance of milk. *Journal of Food Engineering*, 60(3): 321-325.
3. Montoya, M.M., De La Plaza, J.L., Lopez-Rodriguez, V., 1994. Relationship between changes in electrical conductivity and ethylene production in avocado fruits. *Lebensm Wiss. u- Technology*, 27:482-486.
4. Lewis, M.J. 1990. Physical properties of foods and food processing systems. Department of Food Science and Technology University of Reading, UK, pp. 465.
5. Lepetit, J., Sale, P., Favier, R., Dalle, R., 2002. Electrical impedance and tenderisation in bovine meat. *Meat Science*, 60:51-62.
6. Mucchetti, G., Gatti, M., Neviani, E., 1994. Electrical conductivity changes in milk caused by acidification: determining factors. *Journal of Dairy Science*, 77: 940-944.
7. Metin, M., 1998. Süt Teknolojisi-Sütün Bileşimi ve İşlenmesi. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 33, İzmir.
8. Saldamlı, İ., Erdem, K.Y. 1988. Süte su katma yolu ile yapılan hilelerin saptanmasında elektriksel iletkenlik yönteminin kullanılabilirliği. *Doğa Türkiye Tarım ve Ormanlık Dergisi*, 12 (3): 409-420.
9. Akyüz, N., Tunçtürk, Y., Ayar, A., 1996. Elektrik iletkenliği ölçüm tekniğinin süt teknolojisinde kullanımı. *Süt Teknolojisi Dergisi*, 1(2): 35-39.
10. Akyüz, N., Ayar, A., Tunçtürk, Y., 1996. Süte hile amacıyla katılan suyun elektrik iletkenliği değeriyle belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Yüzcüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6 (2): 75-87.
11. Mabrook, M.F., Petty, M.C. 2002. Application of electrical admittance measurements to the quality control of milk. *Sensors and Actuators B*, 84, 136-141.
12. Ünlütürk, A., Turantaş, F., 1998. Gıda Mikrobiyolojisi. Mengi Tan Basımevi, 605 ss, İstanbul.
13. Paquet, J., Lacroix, C., Audet, P., Thibault, J., 2000. Electrical conductivity as a tool for analysing fermentation processes for production of cheese starters. *International Dairy Journal*, 10: 391-399.
14. Lanzaova, M., Mucchetti, G., Neviani, E., 1993. Analysis of conductance changes as a growth index of lactic acid bacteria in milk. *Journal of Dairy Science*, 76:20-28.
15. Nielsen, M., Schuiken, Y.H., Van de Broek, J., Brand, A. 1993. Relations between on-line electrical conductivity and daily milk production on a low somatic cell count farm. *Journal of Dairy Science*, 76: 2589-2596.
16. Lansbergen, L.M.T.E., Nielsen, M., Lam, T.J.G.M., Pengov, A., Schuiken, Y.H., 1994. Evaluation of a prototype on-line electrical conductivity system for detection of subclinical mastitis. *Journal of Dairy Science*, 77: 1132-1140.
17. Vasavada, C.P., 1993. Rapid methods and automation in dairy microbiology. *Journal of Dairy Science*, 76: 3101-3113.
18. Şahan, N., Güven, M., Konar, A. 1998. Adana'da satılan çiğ sütün bazı özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 13(4): 187-196.
19. Yaygın, H., Kılıç, S., 1993. Süt Endüstrisinde Saf Kültür. *Altındağ Matbaacılık*, 108 ss, İzmir.
20. Svensson, K. U., 1994. Starter culture characterization by conductance methods. *Journal of Dairy Science*, 77: 3516-3523.
21. Ruegg, P.L., Reinemann, D.L. 2002. Milk quality and mastitis tests. *Bovine Practitioner*. 36:41-54.
22. Kitchen, B. J., 1981. Review of the progress of dairy science, bovine mastitis: milk compositional changes and related diagnostic tests. *Journal of Dairy Research*, 48, 167-175.
23. Janal, R. 1987. The application of conductivity, a new apparatus for monitoring milk. *Dairy Science Abstracts* 49, 3330.
24. Molnar, A., Kukovics, S. 1993. Relationships of the electric conductivity of sheep milk the somatic cell count and the milk components. *Proceeding of the 5th. International Symposium on Machine Milking of Small Ruminants*, 14-20, Hungary.
25. Kara, H., 1999. İmpedans yöntemi ile hızlı mikrobiyolojik analiz. *Gıda Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, 4(3): 23-24.
26. Toranto, M.P., Pesce De Ruiz Holgado, A., Font de Valdez, G. 1997. Use of conductimetric method to evaluate the effect of bile acids on *Listeria monocytogenes*. *Milchwissenschaft*, 52(5), 247-249.