

BAZI GIDA BİLEŞENLERİNİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN FARKLI FREKANS VE SICAKLIKLARDA BELİRLENMESİ

Cavit BİRCAN¹

ÖZET

Gıda bileşenlerinin dielektrik özellikleri, yüksek frekanslarda ısıtma uygulanan proseslerde en önemli parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır. Dielektrik özellikler, bir materyalin elektromagnetik bir alanda göstereceği tepkiyi belirler ve gerçek kısım (dielektrik sabiti, κ') ile sanal kısmın (dielektrik kayıp faktörü, κ'') birleşmesinden oluşan rölatif kompleks bir sayıdır. Bu nedenle gıdaların temel bileşenleri olan su, dielektrik özellikleri oldukça derinden etkileyen değişik konsantrasyonlardaki Na^+Cl^- ve şeker çözeltileri (% 15) ile gliserolün değişik frekanslardaki dielektrik özellikleri artan sıcaklıkla birlikte belirlenmektedir. Bu değerler dikkate alınarak endüstriyel ve bireysel yüksek frekanslı gıda ısıtma işlemlerinde ısıtma süreleri, hangi frekanslarda ısıtmanın daha kolay gerçekleşebileceği ve gıda bileşenlerinin bu ısıtmadaki rolü konusunda bir fikir verebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dielektrik özellikler, mikrodalga frekansları, sıcaklık

Determination of Dielectric Properties of Some Food Components in Different Frequencies and Temperatures

ABSTRACT

Dielectric properties of food components in high frequency heating processes are encountered as the most important parameters. The dielectric properties determine the response of a material to an electromagnetic field and refer to a complex number consisting of a real portion (the dielectric constant or κ') and an imaginary portion (the dielectric loss factor or κ''). That is why the dielectric properties were determined for water, the basic components of food, different concentration of Na^+Cl^- and 15 % of sugar solution and glyserol. In industrial and domestic high frequency food heating processes, these results will give the idea of the duration of heating time, determination of the better frequencies and the role of food components during heating.

Key words: Dielectric properties, microwave frequencies, temperature

GİRİŞ

Endüstriyel gıda işlemede kullanılan dielektrik ısıtma, özellikle mikrodalga ve yüksek frekanslı ısıtma, gıdaların kimyasal bileşimlerinin elektromagnetik alan ile interaksyonu sonucu gerçekleşmektedir. Bu interaksyon sırasında elektromagnetik alanın hızla değişen polaritesi ile zayıf hidrojen bağlarının dağılması sonucu serbest suyun dipol rotasyonu ve serbest iyonların elektroforetik göçü gerçekleşmekte ve gıdanın içindeki moleküler sürtünmeden ani ısı artışı ortaya çıkmaktadır (Mudgett, 1985).

Mikrodalga ve Radyo Frekansı kullanılarak yapılan yüksek frekanslarla ısıtma işlemlerinde, materyalin içerisinde enerjinin dağılımını ve eşlenmesini etkiledikleri için, dielektrik özellikler bu tür ısıtmalarda en önemli parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır (Mudgett, 1980). Gıda ve benzeri materyallerde geçirgenlik olarak da adlandırılan dielektrik özellikler farklı frekanslarının kullanımını da içeren proseslerde elektromagnetik bir alana maruz kaldıklarında gösterecekleri davranışları anlamak için önemlidir.

Dielektrik özellikler, gerçek kısım (dielektrik sabiti, κ') ile sanal kısmın (dielektrik kayıp faktörü, κ'') birleşmesinden oluşan rölatif kompleks bir

sayıdır, $\kappa = \kappa' - j\kappa''$. Dielektrik sabiti, κ' , moleküllerin polarize olabilirliğinin bir göstergesi ve elektrik enerjisini depolayabilirlik olarak tanımlanırken dielektrik kayıp faktörü, κ'' , ise elektromagnetik enerjinin absorpsiyonu ve dağıtım yolu ile bu enerjinin ısı enerjisine çevrilmesi olarak tanımlanabilir (Mudgett, 1985).

Gıdaların su ve iyonik içeriği, özellikle Na^+Cl^- , o gıdanın dielektrik özelliklerini etkileyen iki ana faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer gıda bileşenlerinin dielektrik özellikler üzerine etkilerinin ise belirtilen bu bileşenlerle karşılaştırıldığında çok daha az olduğu saptanmıştır (Mudgett, 1974).

Gıdaların dielektrik özellikleri, değişik frekanslara ve sıcaklıklara göre önemli değişiklikler göstermektedirler (Hasted ve ark., 1948). Genellikle gıda ısıtma işlemlerinde belirli frekanslar kullanılmakta ise de, dielektrik özelliklerin değişik frekanslardaki değerlerinin bilinmesi, bu gıda materyalinin ne kadar sürede istenilen düzeyde ısıtılacağıın tespit edilmesi açısından önemlidir. Şu anda gıda endüstrisinde mikrodalga ısıtmalarda yaygın olarak kullanılan frekans 915 MHz iken, evlerdeki mikrodalga fırınların kullandığı frekans 2450 MHz'dir.

Dielektrik özellikler sıcaklığa da bağımlı olduğundan, sıcaklık artışı ile birlikte değişik

¹ Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 09100/AYDIN

frekanslarda, farklı gıda bileşenlerinin dielektrik özelliklerinin ölçülmesi büyük önem arz etmektedir. Ayrıca araştırmacılar gıda bileşenlerinden su ve iyonik içeriğin dielektrik özellikleri en fazla etkilediğini söylerken onların gıdada serbest veya bağlı halde bulunmasının da bu özellikler üzerine etkili olduğunu bildirmişlerdir (Buffler ve Stanford 1995; Ryyanen, 1995). Diğer önemli gıda bileşenlerinden şeker (Buck, 1965) ve alkolün (Roebuck et al., 1972) suda çözünmüş hallerinin normalde tahmin edilenden farklı bir şekilde dielektrik kayıp faktörü üzerine etki ettiği bildirilmiştir.

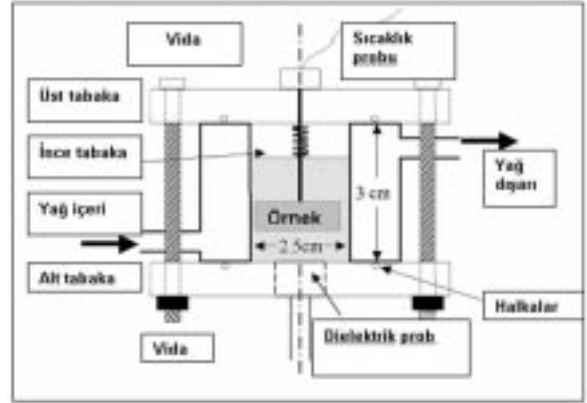
Gıdaların dielektrik özelliklerinin belirlenmesi, sadece mikrodalga ya da yüksek frekanslı ısıtmalar için değil, ayrıca son zamanlarda gıdalarda meydana gelen bazı fiziksel ve kimyasal değişikliklerinin belirlenmesinde de kullanılmaya başlanmıştır. Değişik frekans ve artan sıcaklıklarda protein denaturasyonu (Bircan ve ark., 2001), nişastanın jelatinasyonunun belirlenmesinde (Sipahioglu ve Barringer, 2004) kullanılmaktadır. Ayrıca günümüz gelişen teknolojileri sayesinde, dielektrik özelliklerin gıda güvenliği ve analizlerinde de kullanılması için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, belirli bir teknik kullanarak, belirli aralıklarda, artan bir sıcaklık ve farklı frekanslarda, bazı gıda bileşenlerinin, su, değişik konsantrasyonlarda ki tuz ve şeker çözeltileri ile gliserolün dielektrik özelliklerini belirlemektir.

YÖNTEM

Dielektrik özellikleri ölçmek için bir bilgisayara bağlı, ucu açık bir koaksiyal prob ve istenilen frekansları gönderebilen network analizör (85070B ve 8752C, Hewlett-Packard Company, Denver, CO) kullanılmıştır. Prob paslanmaz çelikten yapı ve örneğin sıcaklığını ayarlayan bir yağ banyosuna bağlı (RTE 140, Neslab Co., Newington, N.H., U.S.A.) silindirik örnek tutucunun içinde, yukarıya bakar bir şekilde yerleşmiştir. Örneğin merkezine kadar inebilen ve sıcaklığı gösteren bir üniteye (HP 34970A, Hewlett-Packard, PaloAlto, Calif., U.S.A.) bağlı olan bir ısı probuda örnek tutucunun üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 1). Örneğin sıcaklığı sabit bir noktaya gelince ölçümler alınmaya başlanmış ve her 5 °C sıcaklık artışında dielektrik özelliklerin her iki parametresi (κ' ve κ'') ölçülmüştür.

Her bir denemeden önce, üç kademeli kalibrasyon gerçekleştirilmiştir. Dielektrik parametreler de, yansıyan sinyalin faz ve büyüklüğünden bilgisayar tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır.

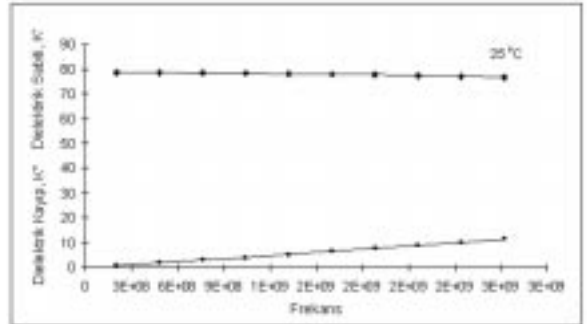
Gıda bileşenlerinin dielektrik özellikleri, farklı frekanslarda (915-2450 MHz arası) frekansta ve oda sıcaklığından 25 °C - 140 °C 'ye kadar çıkarılarak ölçülmüştür. Bütün ölçümler en az üçer defa tekrarlanmıştır.



Şekil 1. Dielektrik özelliklerin ölçülmesinde kullanılan paslanmaz çelik örnek tutucunun kesit görüntüsü

SONUÇ VE TARTIŞMA

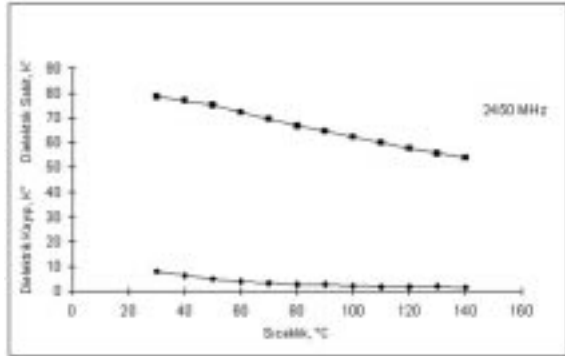
Su, farklı konsantrasyonlardaki Na⁺Cl⁻ ve % 15' lik şeker çözeltisinin artan sıcaklıklarla beraber değişik frekanslarda ve dielektrik özellikleri belirlenmiştir. Bir dipol molekül olan su, gıda bileşenlerinin en önemlilerinden biri olup, dielektrik ısıtma teknolojisi kullanılan gıda işleme proseslerinde ayrı bir öneme sahiptir. Bu dipol, yani çift kutuplu yapı, değişen bir elektromagnetik alan ile karşılaştığında, su molekülleri arasındaki zayıf hidrojen bağları kırılıp bu alanla birlikte yön değiştirir. Suyun elektromagnetik alanda göstermiş olduğu bu tepki, artan frekanslarda ve sabit bir sıcaklıkta (25 °C) dielektrik özellikler kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 2). Elde edilen sonuçlara göre, kullanılan frekans arttırıldıkça dielektrik sabiti düşmekte, buna karşın dielektrik kayıp faktörü ise artmaktadır.



Şekil 2: Artan frekanslar ve sabit bir sıcaklıkta suyun dielektrik özelliklerinin gösterdiği davranışlar.

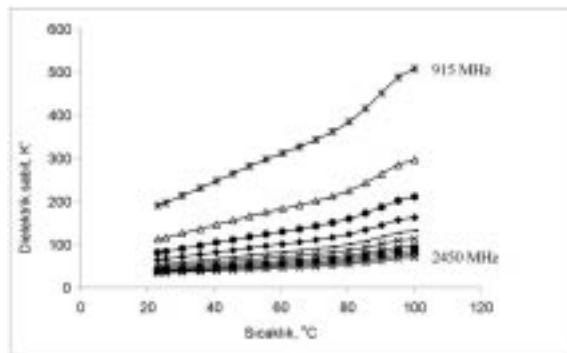
Frekans sabit tutularak (2450 MHz) sıcaklık 25 °C'den 100 °C'ye kadar çıkartıldığında ise; sıcaklık arttıkça dielektrik sabit ve dielektrik kayıp faktörü değerlerinin oransal olarak azaldığı görülmektedir (Şekil 3). Serbest dipol molekülleri, artan frekanslarla beraber, yani rezonans frekansı dışına çıkıldıkça, elektromagnetik alanın yönüyle aynı hızda hareket edememekte ve sonuç olarak, azalan dielektrik sabiti olarak yansımaktadır. Bununla birlikte frekanslardaki

artış, elektromagnetik absorpsiyonu artırmakta ve bu ise, yükselen bir dielektrik kayıp faktörü değeri olarak yansımaktadır. Böylece, polar moleküllerin hareketi ya da ajitasyonu, hareketlerini yakındaki moleküllere taşıyarak ısının açığa çıkmasını sağlar. Bu araştırmada elde edilen sonuçlar, diğer çalışmalar ile uyumludur (Mudgett 1985, Kaatze, 1989). Ayrıca suyun herhangi bir gıdada bulunduğu durum yani bir bileşene bağlı olup olmayışının da dielektrik özellikleri etkilediği bazı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Mudgett 1985).

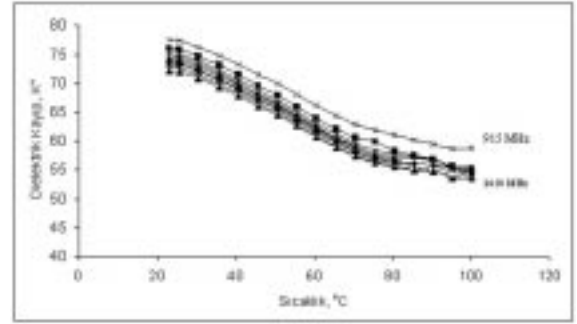


Şekil 3: Suyun dielektrik özelliklerinin artan sıcaklık ve sabit bir frekansta gösterdiği davranışlar.

Yüzde ikilik tuz çözeltisinin dielektrik sonuçları, artan sıcaklıklar (25-100 °C) ve değişen frekans aralıklarında (915 - 2450 MHz) incelendiğinde; eklenen tuz iyonlarının dielektrik sabit değerlerinin artan sıcaklık ve azalan frekans değerleri ile bir azalma gösterdiği, fakat buna karşılık dielektrik kaybın ise azalan frekans ve artan sıcaklığa karşılık oransal bir artış gösterdiği gözlemlenmiştir (Şekil 4, 5). Değerlerdeki bu değişimin nedeni; ortamdaki Na^+ ve Cl^- gibi iyonların dipol moleküllere bağlanarak elektromagnetik alanın değişmesiyle birlikte hareket etmekte zorlanması ve dielektrik sabitinde bir düşmeye neden olmasıdır. Buna karşılık ortamdaki iyonlar, elektromagnetik enerji ile karşılaştıklarında, azalan frekanslarda enerji absorpsiyonu artarak dielektrik kayıp faktörü değerlerinin yükselmesine sebep olmaktadır.



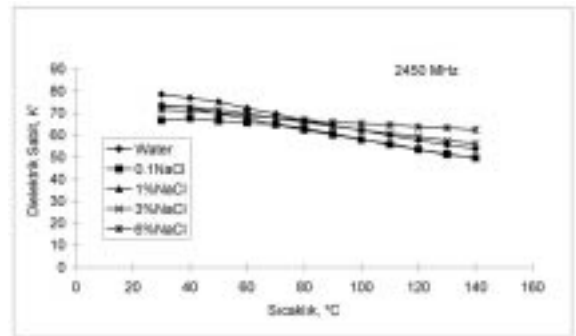
Şekil 4: % 2'lik tuz çözeltisinin 915 MHz' den 2450 MHz kadar olan 11 değişik frekans ve artan sıcaklıklarda gösterdiği dielektrik sabiti değerleri.



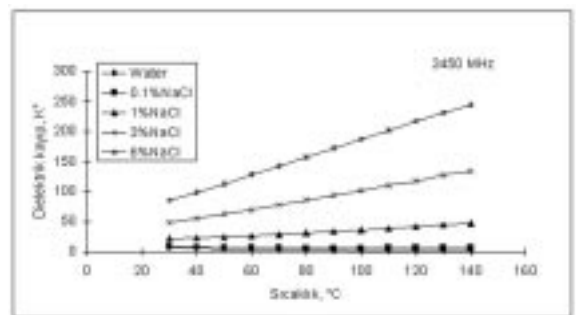
Şekil 5: % 2'lik tuz çözeltisinin 915 MHz' den 2450 MHz kadar olan 11 değişik frekans ve artan sıcaklıklarda gösterdiği dielektrik kayıp faktörü değerleri.

Yapılan bir araştırma, iyonik bir ortamda iki türlü dielektrik kaybın olduğunu göstermektedir, sudan kaynaklanan dipol kayıp faktörü ve iyonlardan kaynaklanan iyonik kayıp (Mudgett, 1986). Ayrıca ısı artıp frekans azaldıkça, iyonik kayıp dipole kayba göre daha ön plana çıkar.

Suyun ve değişik konsantrasyonlardaki tuz çözeltilerinin sabit bir frekansda (2450 MHz) dielektrik davranışları Şekil 6 ve 7'de verilmiştir. Çözeltideki Na^+ Cl^- iyon konsantrasyonları arttıkça sıcaklığın da yükselmesi ile beraber, dielektrik kayıp faktörü artırmakta buna karşılıklı dielektrik sabit düşmektedir (Şekil 6, 7).

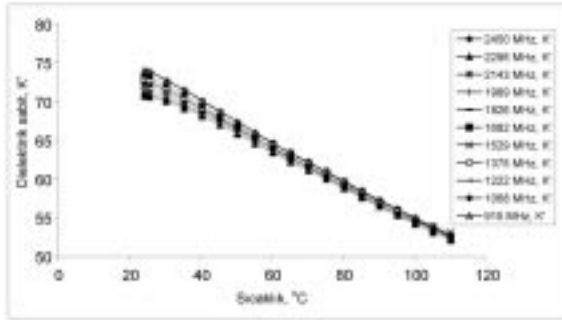


Şekil 6: Su ve değişik konsantrasyonlardaki tuz çözeltilerinin sabit bir frekans ve artan sıcaklıklarda gösterdiği dielektrik sabiti değerleri.

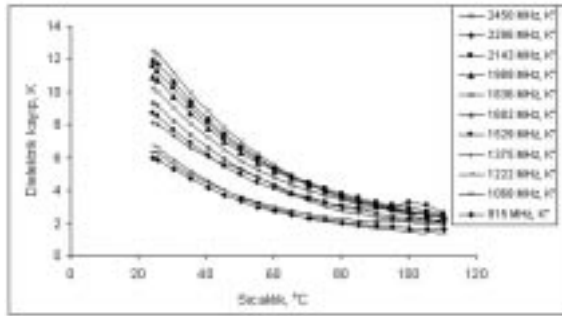


Şekil 7: Su ve değişik konsantrasyonlardaki tuz çözeltilerinin sabit bir frekans ve artan sıcaklıklarda gösterdiği dielektrik kayıp faktörü değerleri.

Araştırmada %15'lik su-şeker çözeltisinin dielektrik değerleri ise Şekil 8 ve 9'da verilmiştir. Eklenen şeker ile birlikte her iki parametre değerlerinin de düştüğü gözlenmiştir. Ancak oda sıcaklığındaki dielektrik kayıp faktörü değerlerinin su ile karşılaştırıldığında daha yüksek oluşu, beklenmedik bir durum olarak ortaya çıksa da, bu durum Fricke modeli ile açıklanmış ve şekerin su ile yaptığı hidrojen bağının ortamı stabilize etmesi sonucu dielektrik kayıp faktörü değerinin artırdığı öne sürülmüştür (Roebuck et al., 1972).

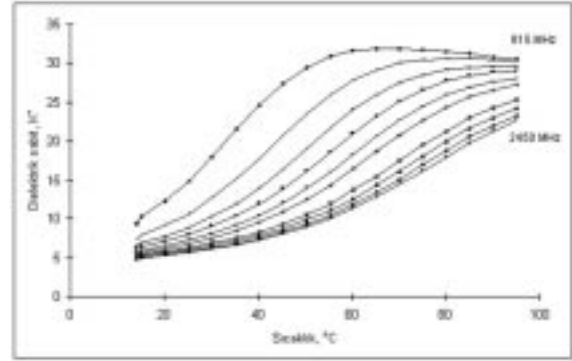


Şekil 8: % 15'lik şeker çözeltisinin 915 MHz' den 2450 MHz kadar olan 11 değişik frekansta ve artan sıcaklıklarda gösterdiği dielektrik sabit değerleri.

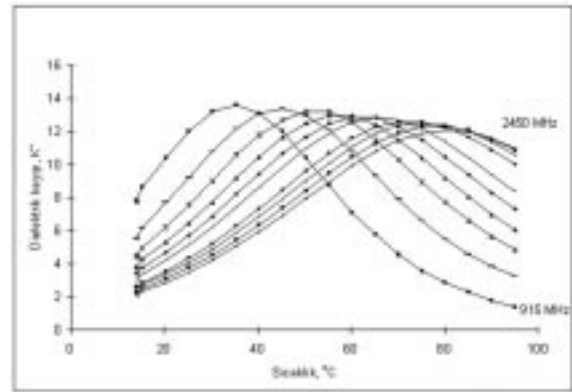


Şekil 9: % 15'lik şeker çözeltisinin 915 MHz' den 2450 MHz kadar olan 11 değişik frekansta ve artan sıcaklıklarda gösterdiği dielektrik kayıp faktörü değerleri.

Dielektrik özellikler açısından en ilginç tavır sergileyen ise gliserol olmuştur. Dielektrik sabit, azalan frekans ve artan sıcaklıkla beraber yükselme eğilimi göstermiştir (Şekil 10). Dielektrik kayıp faktörü ise yaklaşık 55 °C'ye kadar dielektrik sabit gibi aynı şekilde azalan frekans ve artan sıcaklıkla beraber bir yükseliş gösterdikten sonra, en düşük frekansdan başlayarak tüm değerlerinde artan sıcaklıkla beraber bir düşüş gözlemlenmiştir (Şekil 11). Gliserolün belirli bir sıcaklıktan sonra gösterdiği bu davranışın nedeni hakkında ise bir açıklamaya rastlanmamıştır.



Şekil 10: Gliserolün 915 MHz' den 2450 MHz kadar olan 11 değişik frekansta ve artan sıcaklıklarda gösterdiği dielektrik sabit değerleri.



Şekil 11: Gliserolün 915 MHz' den 2450 MHz kadar olan 11 değişik frekansta ve artan sıcaklıklarda gösterdiği dielektrik kayıp faktörü değerleri.

Sonuç olarak, dielektrik özellikler, su, tuz ve şeker karışımları ve gliserol için değişen frekans ve sıcaklıklarla alakalı olarak değiştiği belirlenmiştir. Su, bir çok gıda için majör bir bileşendir ve bulunduğu ortamdaki dielektrik özellikleri belirleyende ana etmedir. Suyun bu özelliğinden faydalanılarak, yani gıdanın dielektrik özellikleri ölçülerek su içeriği belirlenebilmektedir.

Bilindiği gibi yeni, üstün özellikli ve yıkıcı olmayan metotlar gıda güvenliğini artırmak için günümüzde sıkça araştırılıp test edilmektedir. Gelişen teknolojilerinde yardımıyla gıdaların dielektrik özelliklerinden faydalanılarak, bir gıdanın doğallığının, kalitesinin ve potansiyel zararlı katkı maddeleri içerip içermediğinin değişik frekans ve ısı aralığında belirlenmesi konularında çalışmalar yapılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Bircan, C. Barringer S. A., Mangino M. 2001. Use of dielectric properties to detect whey protein denaturation. J. Microwave Power EE. 36(3):179-186.
- Buck, D. E. 1965. The dielectric spectra of ethanol-water mixtures in the microwave region. Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.

- Buffler RC, Stanford MA. 1995. Effects of dielectric and thermal properties on the microwave heating of foods. *Microwave Word*. 16(1): 5-10.
- Hasted, J. B, Ritson, D. M., Collie, C. H. 1948. Dielectric properties of aqueous ionic solutions. *J. Chem. and Physics*. 16: 1-21.
- Kaatze, U. 1989. Complex permittivity of water as a function of frequency and temperature. *J. Chem. Eng. Data*, 34:371-374.
- Mudgett R. E. 1985. Dielectric Properties of Food. In: Decareau RV, editor. *Microwave in the food processing industry*. New York: Academic Press, Inc. p 14-57.
- Mudgett R. E. 1986. Electrical Properties of Food. In: Rao MA, Rizvi SSH, editors. *Engineering Properties of Food*, New York: Marcel Decker, Inc. p 330-387.
- Roebuck B. D, Goldblith SA, Westphal WB. 1972. Dielectric properties of carbohydrate-water mixtures at microwave frequencies. *J. Food Sci*. 37: 199-204.
- Ryynanen S, Risman P. O, Ohlsson T. 1996. The dielectric properties of native starch solutions. *J Microwave Power EE*. 31(1): 50-53.
- Sipahioglu, O., Bircan, C., Barringer, S. A. 2004. Use of dielectric properties to determine starch gelatinization. *Italian Food Bev. Technol*. 37:17-20.