

Nem ve Frekansa Bağlı Olarak Kayısı ve Erik Yapraklarının Dielektrik Özelliklerinin Dalga Kılavuzu İletim Hattı Yöntemiyle Belirlenmesi

Determination of Dielectric Properties of Apricot and Plum Leaves by Waveguide Transmission Line Method depending on Moisture Content and Frequency

Habib DOĞAN*

Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 32300, Isparta

• Geliş tarihi / Received: 09.08.2019

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 24.10.2019

• Kabul tarihi / Accepted: 13.11.2019

Öz

Gelişen teknolojiyle birlikte tarımsal ürünlerdeki uygulamalar gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Bu uygulamalarda temel belirleyici parametre, bitkisel malzemenin dielektrik özelliğinin belirlenmesidir. Çünkü malzemeye nüfuz eden elektromanyetik (EM) dalganın malzemeyle nasıl etkileşeceği dielektrik özelliklerine de bağlıdır. Üretimde verim ve kalitenin artmasını sağlayan uzaktan algılama (UA) ile kurutma ve ısıtma teknolojilerinin etkin çalışabilmesi, malzemenin dielektrik karakteristiğiyle ilişkilidir. Bu çalışmada, Türkiye’de çok yaygın olarak üretimi yapılan kayısı ve erik ağaçlarının yapraklarının dielektrik parametreleri iletim hattı yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler 3,30-4,90 GHz arasında (WR229 dalga kılavuzu için) yapılmış ve nem oranı ve frekansa bağlı kayısı ve erik yapraklarının dielektrik karakteristikleri incelenmiştir. Kayısı yapraklarının dielektrik ölçüm verilerini kullanarak frekans ve nem oranına bağlı, eğri uydurma yöntemiyle yeni bir model önerilmiştir. Bu model, kayısı türüyle aynı aileden olan erik yaprağının dielektrik ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılarak önerilen modelin doğruluğu test edilmiştir. Modelin performansını görmek için determinasyon katsayısı R² ve Hataların Ortalama Kare Kökü (RMSE) değerleri sırasıyla 0.996 ve 0.653 olarak elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Dielektrik Ölçümü, Erik Yapağı, Kayısı Yapağı, Nem Oranı, NRW Algoritması

Abstract

With developing technology, applications in agricultural products are becoming more common. The main dominant parameter in these applications is the determination of the dielectric property of the plant material. Because how the electromagnetic (EM) wave penetrating the material interacts with the material depends on its dielectric properties. The ability of remote sensing (RS) and drying and heating technologies to increase efficiency and quality in production is related to the dielectric characteristics of the material. In this study, the dielectric parameters of leaves of apricot and plum trees made widely produced in Turkey are measured by using the transmission line technique. Measurements are conducted between 3.30-4.90 GHz (for WR229 waveguide) and dielectric characteristics of apricot and plum leaves depending on moisture content and frequency are investigated. A new model is proposed by a curve fitting method based on frequency and moisture content using dielectric measurement data of apricot leaves. This model is compared with the dielectric measurement results of the plum leaves of the same family as the apricot type and the accuracy of the proposed model is tested. To make sure the performance of the model well enough, the coefficient of determination R² and Mean Square Root of Error (RMSE) values are obtained as 0.996 and 0.653, respectively.

Keywords: Dielectric Measurement, Plum Leaf, Apricot Leaf, Moisture Content, NRW Algorithm

*Habib DOĞAN; habib.dogan@csb.gov.tr, Tel: (0246) 224 13 00, orcid.org/0000-0001-8685-9569

1. Giriş

Tarımsal uygulamalarda uzaktan izleme/kontrol ve uzaktan algılama (UA) sistemleri yaygın olarak kullanılır. Bu sistemler, geleneksel yöntemlere göre üretimde kalite ve verim artışına yol açar. Bu yeni teknolojilerin, biyolojik bitki örtülerinde doğru bir biçimde kullanılabilmesi için bitki örtüsünü oluşturan bitkisel malzemelerin (yaprak, dal, meyve, vb.) dielektrik parametrelerinin belirlenmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Çünkü bitki örtüsüne uygulanacak elektromanyetik (EM) dalgaların bitki örtüsündeki malzemelerle nasıl etkileşeceği tamamen ortamın dielektrik parametreleri tarafından belirlenir (Ulaby ve Jedlika, 1984). Bitki kümesine gelen elektromanyetik (EM) dalgalar, bitkilerin yaprak, gövde, dal ve meyve yüzeylerine nüfuz eder ve yüzeyde yansıma, kırılma, soğurulma ve saçılma gibi EM davranışları gerçekleştirir.

Bazı bitkilere yönelik teknolojik uygulamalar, mikrodalga ısıtma/kurutma, soğurucu malzeme tasarımı ve UA uygulamaları olarak kategorize edilebilir. Mikrodalga ısıtma/kurutma işlemleri, bitkilerin dielektrik parametreleri dikkate alınarak yapılır ve geleneksel yöntemlere göre zaman ve enerji açısından bazı avantajlara sahiptir (Navarrete vd., 2011; Kamuriddin vd., 2017). Bu yöntemlerle bitkisel ürünler, hasat sonrası sağlıklı ve uzun süreli depolanabilirler. Ayrıca bu ürünlerin, zararlı haşerattan korunmaları da sağlanır (Trabelsi, 2016; Shrestha, 2011). Günümüzde, soğurucu malzeme olarak kullanılan polimer tabanlı materyallerin zamanla soğurma özelliğini kaybetmesi ve sağlık/çevre açısından riskler barındırması, organik bitkisel malzemelerden soğurucu malzemesi üretme çalışmalarını hızlandırmıştır. Bu amaçla, lifli bitkilerin soğurma özellikleri araştırılmıştır (Colak, 2019; Kaur, 2015). Muz, yaprak ve kabukları, içerdiği karbon miktarına bağlı olarak soğurucu malzeme olarak kullanılabilir ve muz yapraklarına belli oranda katkı malzemesi eklenmesiyle soğurma özelliğinin artırılacağı tespit edilmiştir (Jayamani vd., 2016).

Belli bölgelerde yoğunlaşan bitki türlerinin yayılım etkileri değişik çalışmalarla ortaya konulmuştur (Ramanov ve Ulanov, 2018). Bitki örtüsünün dielektrik parametreleri belirlenerek, kırılma, yansıma ve saçılma gibi EM davranışları öngörülebilir (Ulaby ve El Rayes, 1987; Chuah, 1997). UA uygulamaları, tarım ve özellikle askeri alanlarda yaygın olarak kullanılır. Bu uygulamadaki mikrodalga teknolojisi, diğer teknolojilere göre çeşitli avantajlar içerir. Bunlar:

mikrodalgaların, gece ve bulutlu havalarda çalışmaya elverişli olması, bitki örtüsündeki suya karşı duyarlı olması ve bitki ve toprağa belli bir seviyede nüfuz edebilme kabiliyetinin olmasıdır (Kocakuşak vd., 2016).

Bitkisel malzemelerle ilgili tüm çalışmalarda temel motivasyon, bu malzemelerin dielektrik özelliklerinin belirlenmesidir. Yapılan çalışmalarda bu malzemelerin dielektrik geçirgenliğinin, büyük oranda bitkinin içerdiği su miktarına bağlı olduğu görülmüştür (Trabelsi, 2016; Kraszewski ve Nelson, 2004). Ayrıca ortaya konulan modellerde bitkisel malzemelerin (yaprak, dal, meyve, vb.) ortalama dielektrik geçirgenliğinde yaprakların daha baskın olduğu gözlenmiştir (Chuah, 1997).

Kayıplı ortamlarda kompleks dielektrik sabitinin reel kısmı (ϵ'), EM enerjinin malzeme içerisinde ne kadar depo edildiğini belirlerken, sanal kısmı ise EM yayılım hızını, zayıflamayı ve iletim parametrelerini belirler. Genel olarak, homojen, yön bağımsız ve kayıplı bir ortam için kompleks dielektrik sabiti Denklem 1'de verilmiştir.

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (1)$$

Burada, malzemenin kayıp tanjantı ϵ''/ϵ' olduğu için Denklem 2'deki gibi ifade edilir. Malzeme içerisindeki güç kaybının, frekansa ve malzemenin dielektrik sabitine bağlı olduğu bu denklemde görülmektedir (Faktorová ve Isteniková, 2011).

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} = \frac{\sigma}{\omega\epsilon_r\epsilon_0} \quad (2)$$

Bitkilerde dielektrik parametre ölçümleri 1910'lu yıllara dayanmasına rağmen son yıllarda bu çalışmalara olan ilgi gittikçe artmıştır (Nelson, 2006). Bu konu ile ilgili ilk çalışmalar ampirik düzeyde olup, daha sonraki çalışmalarda ise dielektrik ölçüm sonuçlarının verileri elde edilmeye başlanmıştır (Nelson, 1991).

Bazı bitkilerin dielektrik parametrelerinin belirlenmesinde çeşitli teknikler kullanılmaktadır. 100 MHz'in alt frekans bölgesinde paralel plaka ve toplu elemanlar yöntemleri kullanılır iken, daha üst frekans bölgelerinde ise iletim hattı, koaksiyel prob, boşluk rezonatörü, dalga kılavuzu iletim hattı ve serbest uzay ölçüm teknikleri kullanılır (Venkatesh ve Raghavan, 2005; Khaled vd., 2015; Krraoui, 2016). Bu çalışmalarda, genel olarak bitkilerin içerdiği su miktarına bağlı olarak

belli frekans aralıklarındaki dielektrik parametreler ölçülmüştür. Bitki yaprakları koparılmadan yapılan dielektrik ölçüm çalışmaları (van Emmerik, 2015) koparıldıktan sonra farklı NO değerleri için yapılan çalışmalar ve tamamen toz haline getirilerek gerçekleştirilen ölçüm çalışmaları mevcuttur (Afzal ve Mousavi, 2008; Baharudin vd., 2015). Genelde tahıl ürünleri olmak üzere özellikle mısır bitkisi üzerinde çok fazla çalışma yapılmıştır (Kraszewski ve Nelson, 2004; Afzal ve Mousavi, 2008) ve bu sayede meyvelerin olgunlaşması ve kalitelerinin belirlenmesinin gerçekleştirilebilirliği incelenmiştir (Nelson, 1991).

Erik ve kayısı, aynı familya (Rosacea), aynı takım (Rosales) ve aynı cinse (Prunus) ait iki meyve türüdür. Kayısı üretiminde Türkiye yıllık yaklaşık 800.000 ton üretimle dünyada birinci sırada iken erik üretiminde 250 bin tona yaklaşan yıllık üretimi ile yedinci sıradadır. Türkiye’de kayısı üretimi daha çok Malatya ve Erzincan bölgeleriyle özdeşleşmiş olsa da hemen hemen tüm bölgelerde kayısı üretimine rastlanılmaktadır. Türkiye, kayısı üretiminde dünyada ilk sırada yer almasına rağmen, ihracat miktarlarına bakıldığında diğer ülkelerin gerisinde kaldığı görülmektedir. Bu durum, tarımsal uygulamalardaki teknolojik uygulamaların eksikliğine bağlı olarak verim ve kalitede yaşanan sorunlardan kaynaklanmaktadır. Tarımsal ürünlerin gerek yönetimindeki otomasyon gerekse de UA uygulamalarıyla verim artışının gerçekleşeceği düşünülmektedir. Bu tespit bu çalışmadaki temel motivasyonumuz olmuştur.

Bu çalışmada, sabit sıcaklıkta nem oranı (NO) ve frekansa bağlı olmak üzere birbiriyle aynı aile ve takımdan olan kayısı ve erik yapraklarının dielektrik karakteristikleri ölçüm sonuçlarıyla elde edilmiştir. Kayısı yapraklarının dielektrik ölçüm verilerini kullanarak eğri uydurma yöntemiyle yeni bir model önerilmiştir. Bu modelin doğruluğu kayısı türüyle aynı cinsten olan erik yaprağıyla ilgili dielektrik ölçümlerle test edilmiştir. Ölçümlerde dalga kılavuzu iletim hattı tekniği kullanılmıştır. Ölçümler WR229 dalga kılavuzuyla 3.30-4.90 GHz frekans bandında yapılmıştır. Bu çalışmadaki ölçüm sonuçlarının 3,30-4,90 GHz frekans aralığında verilmesinin iki nedeni vardır. Öncelikle, literatürde mısır ve pirinç vb. gibi bazı bitkilerin boylarını izlemek ve nem oranına bağlı bitkinin dielektrik sabitini kullanarak bitkinin su ihtiyacını tespit etmek için S-bandında çalışan Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) tekniğinin kullanılması (Ballester vd., 2005), ikinci olarak, ölçümlerde kullanılan

WR229 dalga kılavuzunun 3,3-4,9GHz bandında çalışması ve bu frekans bandının ağırlıklı olarak S-bandında bulunmasıdır. Çalışmanın 2. bölümünde kullanılan dielektrik ölçüm yöntemi verilmiştir. 3. bölüm, elde edilen ölçüm sonuçları ve önerilen modelden oluşur ve 4. bölümde sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Ölçüm ve Test Hazırlığı

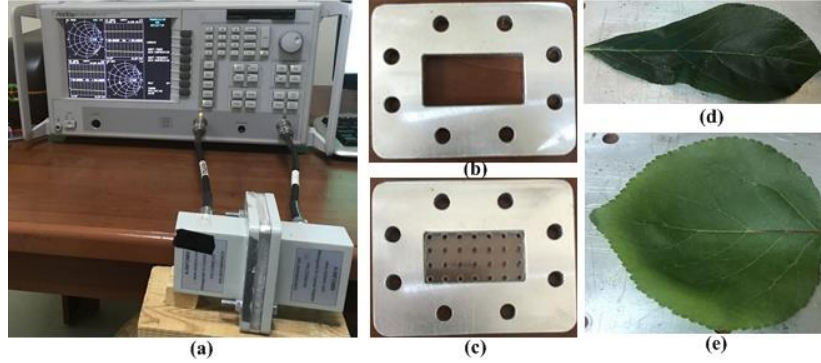
Ölçüm yöntemi olarak bu çalışmada Dalga Kılavuzu İletim Hattı yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde hangi frekans aralığında ölçüm yapılacaksa ilgili dalga kılavuzu seçilmiştir. Dalga kılavuzu, Vektör Network Analizör’e (VNA) RF koaksiyel kabloyla bağlanmıştır. Giriş ve çıkış portlarına bağlı olan iki dalga kılavuzu ve uyumlu bir flanş kullanılmıştır. Ölçülen numuneler (kayısı ve erik yaprakları), flanş ile WR229 dalga kılavuzu arasına yerleştirilerek ölçüme hazır hale getirilirler. Dielektrik ölçümler 3,30-4,90 GHz (WR229 dikdörtgen dalga kılavuzu) aralığında yapılmıştır. VNA olarak Anritsu MS4624B modeli (10 MHz – 9 GHz) kullanılmıştır. Ölçümlerde kullanılan numunelerin kurutulma aşamasında kıvrılma ve kırılmaları engellemek için 2,8 mm kalınlığa sahip şeffaf plastik cam (plexiglass) tercih edilmiştir. Burada kullanılan plastik camların dielektrik ölçümlerde küçük bir etkisi bulunur. Bu etki, dielektrik ölçümlerin hesabında dikkate alınmalıdır. Yaprakların kurutulmasını sağlamak için plastik cam üzerinde CNC yöntemiyle 7×4’lük 1 mm’lik eşit mesafede delikler açılmıştır. Numuneler ölçümden önce 36 saat boyunca saf suda bekletilerek suya doymuş hali ile ölçüme hazır hale getirilmiştir. Numunelerin suda bekletildiği bu süre içerisinde ağırlıkları her 12 saatte bir ölçülmüş ve 36. saat sonunda ağırlığında ciddi bir değişim gözlenmemiştir. Ölçümler suda bekletilen toplam sürenin hesaba katılmadığı durumda yaklaşık 2 gün sürmüştür.

Ölçüme başlamadan önce suya doymuş yapraklar WR229 dalga kılavuzu boyutlarına uygun olarak maket bıçağıyla kesilmiştir. Dielektrik ölçümlerinde numunelerin S_{11} ve S_{21} parametreleri ölçülmüş ve ağırlıkları mgr hassasiyetine sahip hassas bir terazi ile ölçülmüştür. Suya doymuş yapraklar, mikrodalga fırında adım adım kurutulmuştur. Her bir adımda S_{11} ve S_{21} ölçümleri tekrar alınmıştır. Numunelerin kurutma ve ölçüm adımları, yapraklar tamamen kuruyana kadar devam etmiştir. Son kurutma aşamasından sonra, fırın içerisindeki sıcaklık 70° iken numune bu ortamda 12 saat bekletilerek numunelerin

tamamen kurutulması sağlanmıştır. Ölçümler 24°C oda sıcaklığında yapılmıştır.

Şekil 1’de ölçüm düzeneği verilmiştir. Şekil 1a’da dalga kılavuzlarıyla beraber ölçüme hazır olan

VNA görülmektedir. Şekil 1b ve Şekil 1c, sırasıyla içi boş ve içi plastik camla dolu flanş bulunmaktadır. Şekil 1d ve Şekil 1e’de ise sırasıyla erik ve kayısı yaprakları verilmiştir.



Şekil 1. Ölçüm düzeneği

Giriş bölümünde belirtildiği gibi numunelerin kurutulma süreci adım adım gerçekleştirilmiştir. Tablo 1’de erik ve kayısı yapraklarının WR229 için yapılan kurutma aşamalarında hesaplanan ağırlık ve NO değerleri verilmiştir. Kurutma işlemine geçmeden önce suya doymuş kayısı yaprağının ağırlığı 407 mg olarak tartılmıştır. Kurutmanın her adımında kayısı yaprağının ağırlığı düşerek 115 mg’da sabit kalmıştır. Bu ağırlık, yaprağın fırında 70°’de 12 saat bekletilerek elde edilmiş ve tamamen kurutulmuş olan ağırlıktır. Tablo 1’den anlaşılacağı gibi, bu ağırlık azalmasına bağlı olarak nem miktarı ve NO da düşmüştür. Suya doymuş kayısı yaprağı kurutulmadan önceki NO değeri %100 iken, tamamen kurutulmuş yapraktaki nem oranı ise %0 olarak Denklem 3 ve Denklem 4’e göre hesaplanmıştır. Benzer şekilde, suya doymuş erik

yaprağı ağırlığı 394 mg iken, tamamen kurutulmuş numunenin ağırlığı 148 mg’dır.

Suya doymuş yaprağın ağırlığı $m_{doymuş}$ iken tamamen kurumuş yaprağın ağırlığı ise m_{kuru} ’dur. Yaprığın içerdiği su miktarı Denklem 3’e göre hesaplanabilir (van Emmerik, 2013).

$$Su\ miktarı = m_{doymuş} - m_{kuru} \quad (3)$$

Yaprakların nem oranı, Denklem 4’le elde edilebilir. Burada $m_{ölçülen}$ her bir kurutma adımında ölçülen yaprağın ağırlığıdır.

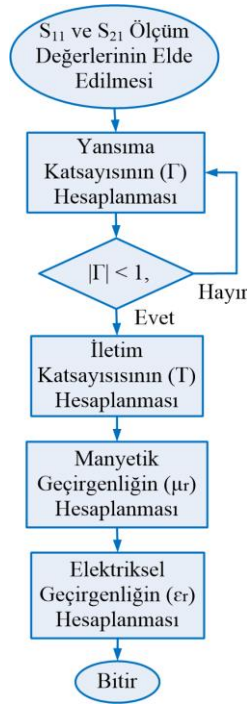
$$NO = \frac{m_{ölçülen} - m_{kuru}}{Su\ miktarı} \quad (4)$$

Tablo 1. Dielektrik ölçümleri yapılan kayısı ve erik yaprakların ağırlıkları ve NO değişimi

Kayısı yaprağı				Erik yaprağı			
Toplam ağırlık (mg)	Kurumuş ağırlık (mg)	Nem miktarı (mg)	Nem oranı (%)	Toplam ağırlık (mg)	Kurumuş ağırlık (mg)	Nem miktarı (mg)	Nem oranı (%)
407	115	292	100	394	148	246	100
198	115	83	28.42	250	148	102	41.46
147	115	32	10.96	199	148	51	20.73
130	115	15	5.14	176	148	28	11.38
119	115	4	1.37	164	148	16	6.50
115	115	0	0	148	148	0	0

NO değerinin dielektrik sabiti üzerindeki etkisini görebilmek için ölçülmüş S-parametreleri değerlerini kullanarak bağıl dielektrik sabitinin hesaplanmıştır. Literatürde bu hesaplamaya ilgili çeşitli algoritmalar bulunmasına rağmen, en çok bilinen ve yaygın olarak kullanılan yöntem,

Nicolson-Ross-Weir (NRW) algoritmasıdır (Nicolson ve Ross, 1970; Weir, 1974). Bu çalışmada NRW modeli kullanılarak yaprakların dielektrik özellikleri hesaplanmıştır. Bu NRW algoritmasının akış diyagramı (Yaw, 2012), Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. NRW algoritmasının akış diyagramı

2.1. Sistematik Hataların Ortadan Kaldırılması

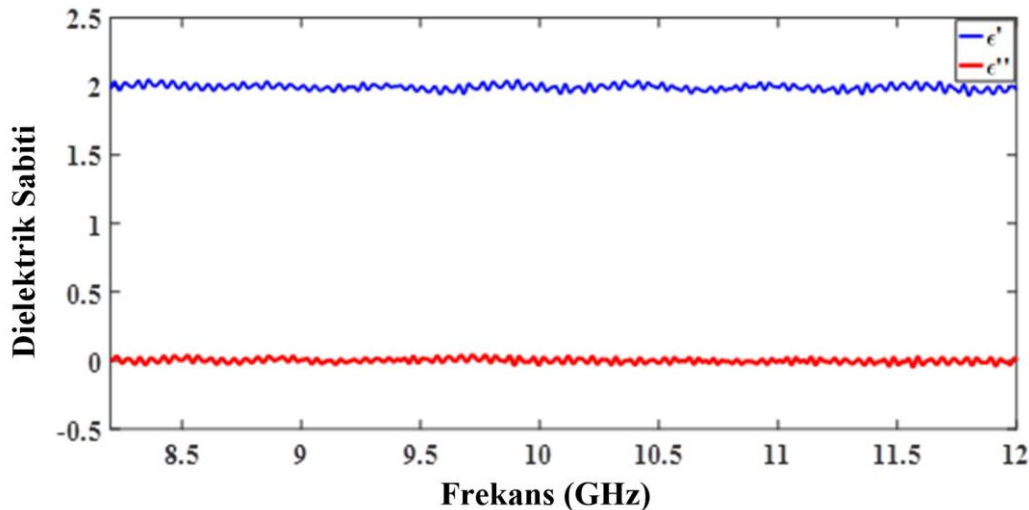
Dielektrik ölçümlerde sistematik hataları ortadan kaldırmak için yaygın olarak kullanılan yöntemler, gömülü ve Doğrudan Yansım Hattı (DYH) yöntemleridir. Gömülü yönteminde, teste kullanılan modelin hatalarını ortadan kaldırmak için matematiksel ifadelerden yararlanılır. Bu yöntem, genellikle kalibrasyon yöntemlerinin kullanılmadığı koaksiyel olmayan Test Altındaki Cihazlarda (TAC) tercih edilir (Uygulama notları, 2004). TAC'm ölçümlerindeki hataların giderilmesinde, S_{11} ve S_{22} parametrelerinden yararlanılır. Bundan dolayı bu işlem, modeldeki hataların TAC yapılmadan uygulanamaz. Dielektrik ölçümlerinde kullanılan plastik camlar,

TAC gibi davrandığı için çalışma frekans bölgesinde S-parametrelerinin ölçülmesi gerekir. Dolayısıyla hem flanş hem de plastik camların etkileri numunenin olduğu ve olmadığı durumlar için referans ölçümler yapılmalı ve dikkate alınmalıdır. Bunun için bu durumun literatürdeki yöntemlerle uyumlu olmasına dikkat edilmelidir (Helhel ve Kurnaz, 2016).

Dielektrik ölçümlerde oluşabilecek hataları en aza indirmek için farklı türde kalibrasyon yöntemleri vardır. Bunların arasında Doğrudan Yansım Hattı Yöntemi, yaygın olarak kullanılan ve doğru sonuçlar veren bir yöntemdir (Ye vd., 2016). Bu teknik, ölçüm yöntemlerindeki doğruluğu gösterebilen bir referans yöntem olarak da bilinir. Bu yüzden, bu yöntemin doğruluğunu doğrudan etkileyebilecek hataların kaynakları dikkate alınmalıdır. Düşük frekanslarda ihmal edilen hata oranları, yüksek frekanslarda ölçüm doğruluğunu daha fazla etkiler.

2.2. Ölçüm ve Kalibrasyon Yöntemini Doğrulama Testi

Teflon, dielektrik ölçüm doğruluğunda yaygın olarak kullanılan ve bilinen bir malzemedir (Kumar vd., 2007). Bu malzemenin ϵ' ve ϵ'' değerleri frekansa göre değişim oluşmamakta olup, sırasıyla 2 ve 0'dır. Bu çalışmada kalınlığı 2,5 mm olan teflon levha kullanılarak dielektrik parametrelerinin ölçümü yapılmıştır. Şekil 3 incelendiğinde teflon malzemenin ölçülen ϵ' ve ϵ'' değerleri, teorik değerlere yakın değerler elde edilmiştir. Böylece sistematik hataları ortadan kaldırmak amacıyla hazırlanan test düzeneği ve uygulanan kalibrasyon yönteminin doğruluğu tespit edilmiş olur.



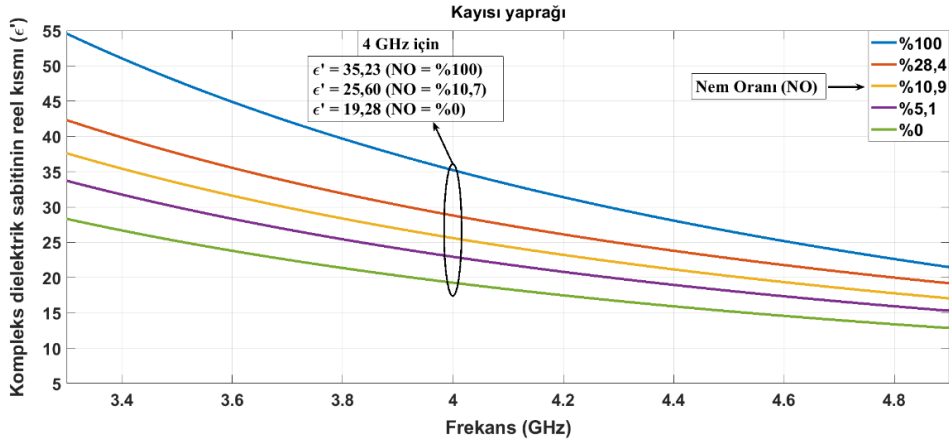
Şekil 3. 2,5 mm kalınlığındaki teflon malzeme için ölçülen dielektrik parametreleri

3. Ölçüm Sonuçları ve Önerilen Model

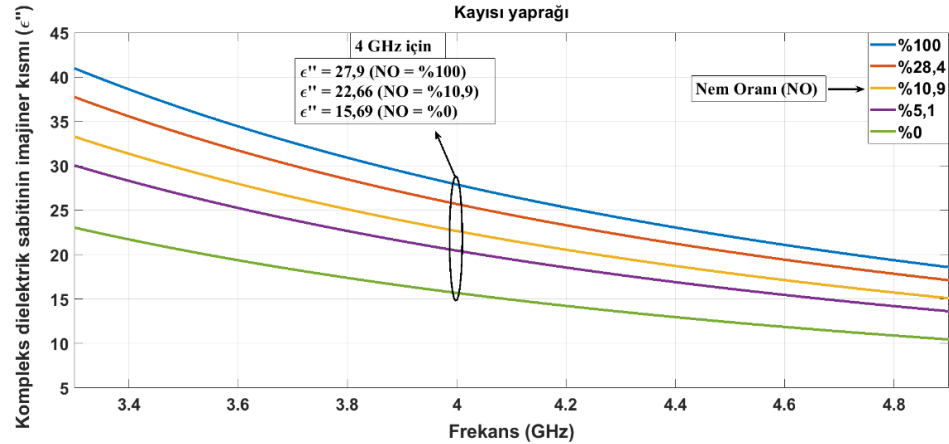
Giriş bölümünde belirtildiği gibi ölçümlerde kayısı ve erik yaprakları numune olarak kullanılmıştır. Dalga kılavuzu olarak 3,30-4,90 GHz frekans bandına uyumlu WR229 dalga kılavuzu kullanılmıştır. Her bir numune için ϵ' ve ϵ'' değerleri 24°C oda sıcaklığında, frekans ve NO değerlerine bağlı olarak ölçülmüştür. VNA'dan elde edilen S_{11} ve S_{21} değerleri kullanılarak 2.

Bölüm'de bahsedilen NRW algoritması kullanılarak ϵ' ve ϵ'' değerleri hesaplanmıştır. Bu frekans bandı için ölçüm adım sayısı 2 MHz olup 801 farklı frekans noktasında ölçüm yapılmıştır.

Şekil 4'te kayısı yaprakları için ölçülen ϵ' değerleri verilmiştir. ϵ' değerinin, frekans azalışı ve NO artışı ile arttığı gözlenmiştir. Bu benzer değişimlerin ϵ'' değerleri için de geçerli olduğu Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 4. Kayısı yaprakları için ϵ' değerinin frekans ve NO değerlerine göre değişimi



Şekil 5. Kayısı yaprakları için ϵ'' değerinin frekans ve NO değerlerine göre değişimi

Şekil 6 ve Şekil 7'de erik yaprakları için elde edilen ϵ' ve ϵ'' değerleri verilmiştir. Frekansa bağlı olarak ϵ' ve ϵ'' değerleri, eksponansiyel olarak azalmaktadır. NO'ya bağlı olarak ise bu değerler dikey ekseninde azaldığı görülmüştür. Literatürde, saf suyun ϵ' değerleri, 3,30-4,90 GHz bandı için 78-74 aralığında değişmektedir (Ulaby ve El-Rayes, 1987). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar için suya doymuş yaprağın ϵ' ve ϵ'' değerleri, kuru yaprağına göre daha yüksektir ve bu durum NO'dan dolayı beklenen durumdur.

Kayısı yapraklarının ölçüm sonuçlarından elde edilen veriler kullanarak eğri uydurma yöntemiyle yeni bir model elde edilmiştir. Bu modelle, sabit sıcaklıkta (24°C) frekans ve NO'ya bağlı

dielektrik sabitini hesaplamak hedeflenmiştir. Denklem 5'te verilen bu model, iki değişkenli ikinci dereceden bir kuvvet fonksiyonundan oluşur.

$$\epsilon_r(f, m) = a + b.f^{-c} + d.m^e + g.f^{-c}.m^e$$

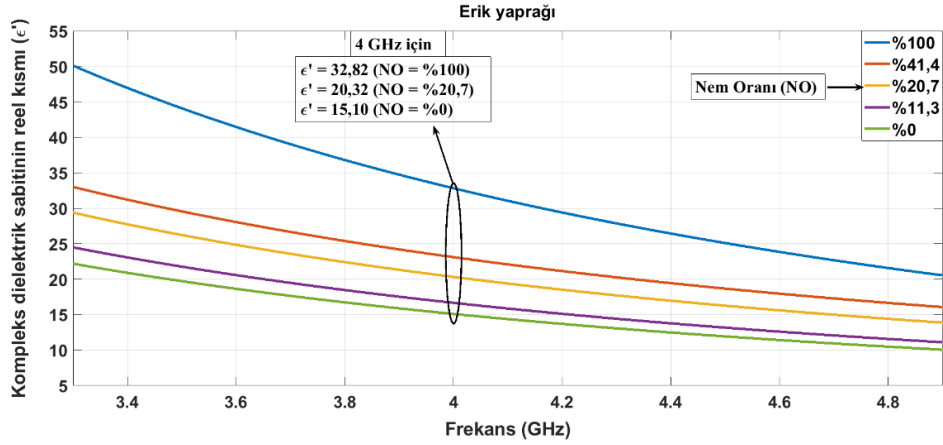
$$\epsilon_r(f, m) = a + b.f^{-c} + d.m^e + g.f^{-c}.m^e \quad (5)$$

$$\epsilon_r = \sqrt{(\epsilon')^2 + (\epsilon'')^2} \quad \epsilon_r = \sqrt{\epsilon'^2 + \epsilon''^2} \quad (6)$$

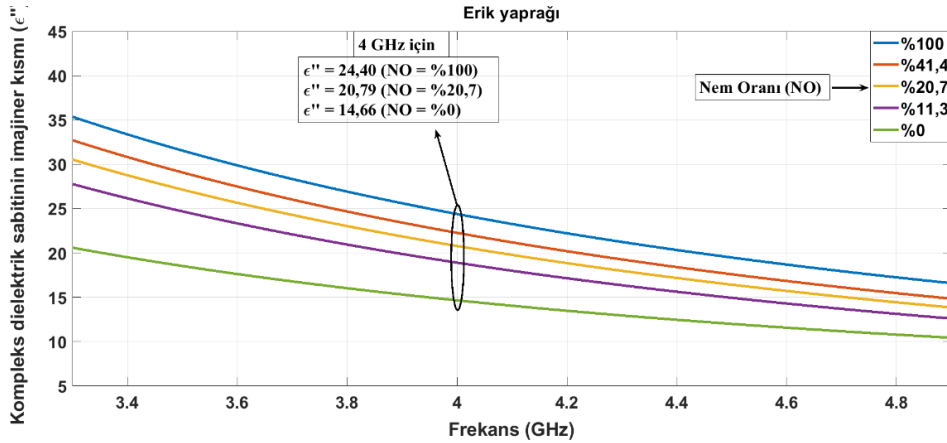
Burada, ϵ_r dielektrik sabiti, f GHz cinsinden frekans, m, 0-100 arasında değişen NO'dur.

Denklem 6’da verilen ϵ_r değeri, malzemenin dielektrik sabitinin hem reel hem de sanal kısmını içerdiği için modelde tercih edilmiştir. Kayısı yaprağı için WR229 dalga kılavuzu için elde edilmiş modelin katsayıları $a=1,263$, $b=378,4$, $c=2,005$, $d=-0,808$, $e=0,3679$, $g=73,92$ şeklindedir. Bu modeli oluşturmak için, Tablo 1’de kayısı yaprağının kurutma adımlarında hesaplanan 6 farklı NO değeri, veri olarak kullanılmıştır. Elde edilen modelin doğruluğunu test etmek için daha önce ölçümlerde kullanılan kayısı yapraklarından farklı ve %29 NO’ya sahip başka bir kayısı yaprağı test numunesi olarak

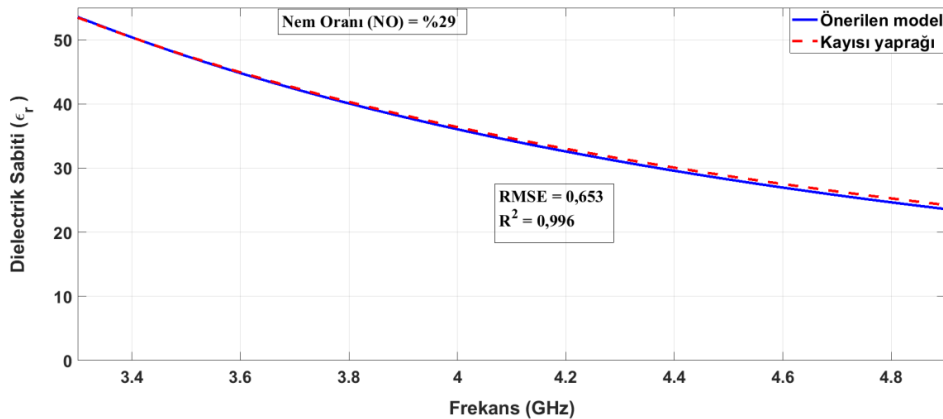
seçilmiştir. Önerilen modelde de aynı NO değerine sahip olması için Denklem 5’te verilen m değeri 29 olarak girilmiştir. Şekil 8’de önerilen modelle test için seçilen kayısı yaprağının ölçülen değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuçların birbiriyle çok uyumlu olduğu görülmektedir. Modelin performansını görmek için determinasyon katsayısı R^2 ve Hataların Ortalama Kare Kökü (RMSE) değerleri, tüm frekans ve NO değerlerine temel alınarak MATLAB® programıyla hesaplanmıştır. Buna göre modelin R^2 ve RMSE değerleri, sırasıyla 0,996 ve 0,653 olarak elde edilmiştir.



Şekil 6. Erik yaprakları için ϵ' değerinin frekans ve NO değerlerine göre değişimi



Şekil 7. Erik yaprakları için ϵ'' değerinin frekans ve NO değerlerine göre değişimi

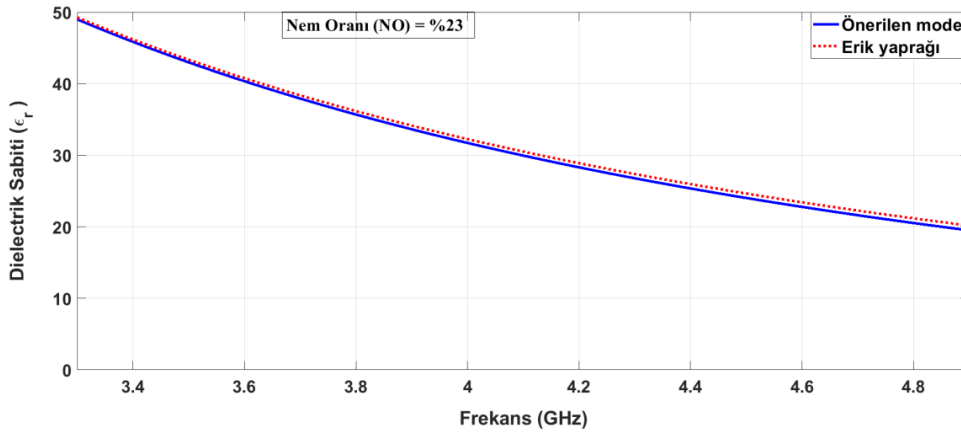


Şekil 8. Kayısı yaprağı ölçüm sonuçlarıyla önerilen modelin doğruluğunun test edilmesi

Kayısı yaprağına ait ölçüm verilerini kullanarak oluşturulan modelin erik yaprağı için kullanılabilirliği test edilmiştir. MC değeri %23 olan bir erik yaprağı ile aynı nem oranına sahip ($m=0,23$) önerilen modelin sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçların birbiri ile çok uyumlu olduğu Şekil 9'da görülmüştür. Bu karşılaştırma, aynı akraba ailesi içinde olan bir bitkinin yapraklarından elde edilen bir modelin aynı ailedeki diğer bitki türleri için uyumlu olabileceği hususunda fikir vermektedir.

Kayısı yaprağına ait ölçüm verilerini kullanarak oluşturulan modelin erik yaprağı için

kullanılabilirliği test edilmiştir. Burada, NO değeri %23 olan bir erik yaprağıyla aynı NO değerine sahip ($m=23$) önerilen modelin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu sonuçların birbiriyle çok uyumlu olduğu Şekil 9'da görülmüştür. Bu karşılaştırma, aynı cins ve aynı aile içinde olan bir bitkinin yapraklarından elde edilen bir modelin aynı cinsteki diğer bitki türleri için uyumlu olabileceği hususunda fikir vermektedir. Kayısı ve erik, aynı familya (Rosacea), takım (Rosales) ve cins (Prunus) grubunda bulunur. Bundan dolayı kayısı yaprağı ölçüm verileriyle elde edilen model, erik yaprağı ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



Şekil 9. Kayısı yaprağı modelinin erik yaprağı ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılması

Tablo 2'de bu çalışmada elde edilen sonuçlarla, yakın özellikteki diğer bitki yapraklarına ait ölçümlerin karşılaştırılması verilmiştir. Bu karşılaştırma tablosuna bakılınca ölçüm yapılan ve yeni model geliştirmek amacıyla kullanılan kayısı yaprağının dielektrik parametrelerinin

literatürdeki diğer yaprakların dielektrik parametrelerine benzer olduğu görülmektedir. Bunun ise, yapraklardaki nem oranı ve frekansın dielektrik parametrelerdeki belirleyiciliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 2. Literatür karşılaştırması

	ϵ'	ϵ''	Frekans (GHz)	Nem	Ref
Armut Yapağı	19-12	5-3,2	3,3-4,9	%63	(Li vd., 2014)
Mısır Yapağı	20-18	5,5-4	3,3-4,9	%63	(Li vd., 2014)
Mısır Yapağı	34-28	8-5	3,3-4,9	%60	(Ulaby ve El-Rayes, 1987)
Yonca Yapağı	38-33	19-13	3,3-4,9	%73	(Shrestha vd., 2011)
Kaucuk Yapağı	22-18	8-6	3,3-4,9	%46	(Chuah vd., 1997)
Bu çalışma (Kayısı Yapağı)	32-19	34-23	3,3-4,9	%41	

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bitki örtüsüne ait dielektrik parametreler, çok değişik amaçlarla kullanılmakta olup, gelişen teknolojik uygulamaların tarımsal ürünlerde yaygınlaşabilmesi için bilinmesi gereken temel parametrelerdir. UA, izleme/kontrol uygulamaları, ısıtma ve kurutma işlemleri gibi mikrodalga teknikleri, bitkisel ürünlerin üretim kalite ve

verimindeki artışları amaçlar. Bunun için, bitkisel malzemelerin dielektrik özelliklerinin doğru olarak belirlenmesi gerekir. Elde edilen sonuçların ülkemizin hemen hemen her bölgesinde yaygın bir şekilde üretimi yapılan kayısı ve erik üretiminde geleneksel yöntemler yerine teknolojik uygulamaların kullanımında yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Bu deneysel çalışmada, kayısı ve erik yapraklarının dielektrik parametreleri Doğrudan Yansıma Hattı Yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Yapılan ölçümler WR229 dalga kılavuzuyla 3,30-4,90 GHz frekans bandında gerçekleştirilmiştir. Bütün frekans bandında kayısı için ϵ' değerleri 12-55, ϵ'' değerleri ise 10-41 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Sonuçlar ölçüm yapılan yapraklarda dielektrik parametrelerin NO ve frekansa bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. NO değerine bağlı olan dielektrik parametreler, bitkilerin su ihtiyacının tespit edilerek eksik veya fazla sulamadan doğacak zararların önüne geçilmesinde önemli etkindir. Dolayısıyla, bu çalışmadaki elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler, mikrodalga tekniklerinin bitki örtüsünün uzaktan takip edilerek izleme ve yönetilmesinde ve verimli bir şekilde uygulanmasında yol gösterici olabilir.

Teşekkür

Bu çalışmadaki ölçümlerin gerçekleştirildiği Akdeniz Üniversitesi Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Araştırma Merkezi (EMUMAM)'a teşekkür ederim.

Kaynaklar

Afzal, A. ve Mousavi, S.F., 2008. Estimation of moisture in maize leaf by measuring leaf dielectric constant. *International Journal of Agriculture and Biology*, 10, 66-68.

Baharudin, E., Ismail, A., Alhawari, A.R.H. Zainudin, E.S., Majid, D.L. ve Seman, F.C., 2015. Investigation on the dielectric properties of pulverized oil palm frond and pineapple leaf fiber for X-band microwave absorber application. *Advanced Materials Research*, 488-491.

Ballester-Berman, J.D., López-Sánchez, J.M. ve Fortuny-Guasch, J., 2005. Retrieval of biophysical parameters of agricultural crops using polarimetric SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43 (4), 683-694

Chuah, H., Kam, S. ve Chye, Y., 1997. Microwave dielectric properties of rubber and oil palm leaf samples: measurement and modelling. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 2623-2639.

Colak, B., 2019. Moisture content effect of banana leaves to radio frequency absorbing. *Microwave and Optical Technology Letters*, 61, 2591-2595.

Faktorová, D. ve Isteníková, K., 2011. Modelling of scattering parameters in biological tissues. *Skin*, 1, 1-7.

Helhel, S. ve Kurnaz, O., 2016. Buried metal detection within the wooden block by X-band measurements. *Microwave and optical technology letters*, 58, 1245-1253.

Jayamani, E., Hamdan, S., Ezhumalai, P. ve Bakri, M.K., 2016. Investigation on dielectric and sound absorption properties of banana fibers reinforced epoxy composites. *Jurnal Teknologi*, 78, 97-103.

Kamaruddin, M.J., Yusof, M. Ngadi, N., Zakaria, Z., Arsad, A. ve Kidam, K., 2017. Dielectric Properties for Extraction of Orthosiphon Stamineus (Java Tea) Leaves. *Chemical Engineering Transactions*, 56, 1771-1776.

Kaur, R., Aul, G. D. ve Chawla, V., 2015. Improved reflection loss performance of dried banana leaves pyramidal microwave absorbers by coal for application in anechoic chambers. *Progress In Electromagnetics Research*, 43, 157-164.

Khaled, D., Novas, N., Gazquez, J., Garcia, R. ve Manzano-Agugliaro, F., 2015. Fruit and vegetable quality assessment via dielectric sensing. *Sensors*, 15, 15363-15397.

Kocakusak, A., Colak, B. ve Helhel, S., 2016. Frequency dependent complex dielectric permittivity of rubber and magnolia leaves and leaf water content relation. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 50, 294-307.

Kraszewski, A.W. ve Nelson, S.O., 2004. Microwave permittivity determination in agricultural products. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 39, 41-52.

Krraoui, H., Mejri, F. ve Aguilu, T., 2016. Dielectric constant measurement of materials by a microwave technique: application to the characterization of vegetation leaves. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 30, 1643-1660.

Kumar, A., Sharma, S. ve Singh, G., 2007. Measurement of dielectric constant and loss factor of the dielectric material at microwave frequencies. *Progress In Electromagnetics Research*, 69, 47-54.

Li, Z., Zeng, J., Chen, Q. ve Bi, H., 2014. The measurement and model construction of complex permittivity of vegetation. *Science China Earth Sciences*, 57 (4), 729-740.

Navarrete, A., Mato, R., Dimitrakakis, G., Lester, E., Robinson, J. ve Cocero, M., 2011. Measurement

- and estimation of aromatic plant dielectric properties. Application to low moisture rosemary. *Industrial Crops and Products*, 33, 697-703.
- Nelson, S.O., 1991. Dielectric properties of agricultural products-measurements and applications. *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 26, 845-869.
- Nelson, S.O., 2006. Agricultural applications of dielectric measurements. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 13, 688-702.
- Nelson, S.O., 1991. Dielectric properties measurement techniques and applications. *Transactions of the ASAE-American Society of Agricultural Engineers*, 42, 523-530.
- Nicolson, A. ve Ross, G., 1970. Measurement of the intrinsic properties of materials by time-domain techniques. *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*, 19, 377-382.
- Romanov, A.N. ve Ulanov, P.N., 2018. Seasonal Differences in Dielectric Properties of Dwarf Woody Tundra Vegetation in a Microwave Range. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57, 3119-3125.
- Shrestha, B.L., Wood, H.C. ve Sokhansanj, S., 2011. Microwave dielectric properties of alfalfa leaves from 0.3 to 18 GHz. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 60, 2926-2933.
- Trabelsi, S., Mckeown, M. S. ve Nelson, S.O., 2016. Dielectric properties-based method for rapid and nondestructive moisture sensing in almonds. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 50, 94-105.
- Ulaby, F.T. ve El-Rayes, M.A., 1987. Microwave dielectric spectrum of vegetation-Part II: Dual-dispersion model. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 550-557.
- Ulaby, F.T. ve Jedlicka, R., 1984. Microwave dielectric properties of plant materials. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 406-415.
- Uygulama Notları, 2004. De-embedding and Embedding S-Parameter Networks Using a Vector Network Analyzer.
- Van Emmerik, T. H., 2013. Diurnal differences in vegetation dielectric constant as a measure of water stress. *Yüksek Lisans Tezi, Delft Üniversitesi, Hollanda.*
- Van Emmerik, T., Steele-Dunne, S., Judge, J. ve van de Giesen, N., 2015. A comparison between leaf dielectric properties of stressed and unstressed tomato plants, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 275-278.
- Venkatesh, M. ve Raghavan, G., 2005. An overview of dielectric properties measuring techniques. *Canadian Biosystems Engineering*, 47, 15-30.
- Weir, W.B., 1974. Automatic measurement of complex dielectric constant and permeability at microwave frequencies. *Proceedings of the IEEE*, 62, 33-36.
- Yaw, K.C., 2012. Measurement of Dielectric Material Properties. Application Note, Rhode & Schwarz. https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/00aps_undefined/RAC-0607-0019_1_5E.pdf.
- Ye, L., Li, C., Sun, X., Jin, S. Chen, B. ve Ye, X., 2016. Thru-Reflect-Line Calibration technique: error analysis for characteristic impedance variations in the line standards. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 59, 779-788.