

ENDÜSTRİYEL MALZEMELERİN NEMLİLİK ORANININ MİKRODALGA TEKNİĞİYLE TAYİNİ

Ali AKMAN¹

Sibel GÜLER²

Okan SÜLE³

Ali OKTAY⁴

Mikrodalga Araştırma Grubu
Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Uludağ Üniversitesi
16059 BURSA

e-posta : ¹aakman@uludag.edu.tr ²sguler@uludag.edu.tr
³osule@uludag.edu.tr ⁴aoktay@uludag.edu.tr

Anahtar sözcükler : Nemlilik Oranı, Tahribatsız Ölçme, Mikrodalga Ölçme Tekniği

ABSTRACT

A concept of moisture content determination from measurement of the attenuation of an electromagnetic wave propagated in the loaded waveguide is investigated. Experimental results obtained for cardboard of %0 to %40 moisture content at 2.45GHz are used to illustrate the procedure which provides accurate, fast and continuous moisture content determination.

1. GİRİŞ

Bir çok endüstriyel sürecin otomasyonu, işlenen malzemenin nemlilik oranının sürekli olarak ölçülmesini gerektirir. Bu işlem, ancak nemli malzemenin nemlilik oranına bağlı karakteristiklerinin belirlenmesine dayanan dolaylı yöntemlerle yapılabilir. Malzemelerin nemlilik oranının mikrodalga teknikleri ile ölçülmesinin prensibi, suyun dielektrik özelliklerinin bir çok kuru malzemenin dielektrik özelliklerinden çok büyük olmasına dayanır.

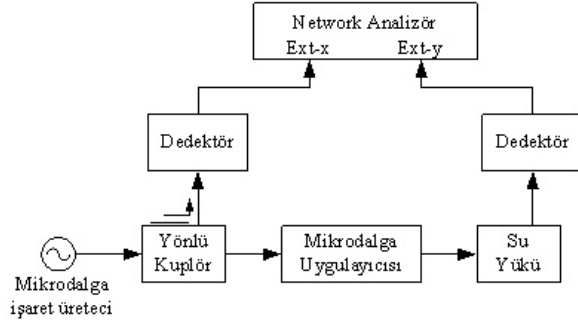
Elektromanyetik dalgaların malzeme ile olan etkileşimi malzemenin dielektrik özellikleri ile belirlenir. İletim, yansımaya, kırınım, saçılma ve kırılma gibi elektromanyetik olaylar malzemelerin dielektrik özelliklerine bağlı olarak ifade edilebilir. Nemli bir malzemenin içerdiği az miktardaki su, bu malzemenin dielektrik özelliklerini dikkate değer oranda değiştirir. Nemliliğin yol açtığı dielektrik özelliklerdeki bu değişiklik elektromanyetik olayları da etkiler. Dolayısıyla nemlilik oranının belirlenmesinde, malzemenin dielektrik özelliklerinin [4] nemlilik ile değişimi kullanılabileceği gibi nemli malzemenin üzerine gelen elektromanyetik dalgayı yansıtma miktarının [2,3] ve zayıflatma miktarının [1,3,5] nemlilik ile değişimi de kullanılabilir. Yansımaya dayalı nemlilik oranı ölçülmesi, özellikle yansımaya katsayısının nemlilik oranına bağlılığının yüksek

olduğu durumlarda faydalıdır. Suyun güçlü bir elektromanyetik dalga yutucu olması, zayıflamaya dayalı ölçümlerin verimliliğini artırır. Bu yüzden bu çalışmada zayıflamaya dayalı teknik seçilmiştir.

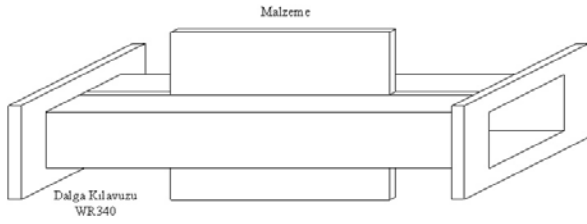
Malzemelerin dielektrik özellikleri frekans, sıcaklık ve malzemenin yoğunluğu ile değiştiğinden yansıma ve iletim karakteristikleri de bu büyüklükler ile değişir. Bu sebeple nemlilik oranı ölçülmesi de bu büyüklüklerin değişmesinden etkilenir. Seçilen ölçüm tekniğinde, bu büyüklüklere ait değişimleri içeren ayarlamaların yapılması ölçüm sonuçlarının bu büyüklüklere olan bağımlılığını ortadan kaldırır.

Elektromanyetik dalgalar ile nem oranının tayin edilmesi malzemeyi tahrip etmeyen yani malzemenin yapısında ve biçiminde bir değişikliğe sebep olmayan bir yöntemdir ve bu sayede malzemenin üretilme veya işleme aşamasında nem oranının sürekli olarak gözlenmesi ve kontrol edilmesine olanak sağlar. Elektromanyetik dalgalar, malzeme ile hacimsal olarak etkileşime girdiklerinden dolayı, kızıl ötesi sistemleri gibi noktasal ölçüm yapan tekniklerin aksine, mikrodalga teknikleri ile nemliliği homojen olmayan ve gizli (bağlı) nem içeren malzemelerin nemlilik oranlarının hassas olarak ölçülmesi mümkündür.

Bu çalışmada, ince ve düzlemsel forma sahip endüstriyel malzemelerin nemlilik oranının tayini için mikrodalga gücünde meydana gelen zayıflamaya dayalı bir sistem geliştirilmiş ve test malzemesi olarak opaklu koli kartonu seçilerek ilgili incelemeler yapılmıştır.



Şekil - 1. Nem oranının belirlenmesinde kullanılan mikrodalga deney düzeneği.



Şekil - 2. Nemli malzemenin dalga kılavuzu içine yerleştirilmesi.

2. ÖLÇME DÜZENEĞİ VE YÖNTEMİ

Bir malzemenin nemlilik oranının tayini, bu malzeme üzerinden geçen mikrodalga gücünde meydana gelen zayıflama ile nemlilik oranı arasındaki ilişkinin çıkarılmasına dayanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda oluklu nemlilik oranının belirlenmesinde kullanılan mikrodalga sistemi Şekil-1’de verilmiştir. Nemli malzemenin mikrodalga gücünde meydana getirdiği zayıflama miktarı malzemenin dielektrik kayıp faktörüne bağlıdır. Malzemelerin dielektrik özellikleri frekansa bağlı olarak değiştiği için sistemin çalışma frekansının seçimi önemlidir. Suyun dielektrik özellikleri incelendiğinde dielektrik kayıp faktörü yaklaşık 17GHz frekansı civarında maksimum değere sahiptir. Fakat, malzeme içindeki suyun davranışı farklıdır ve nemli malzemenin dielektrik kayıp faktörünün tepe değeri çok daha düşük frekanslara kayar. Bu sebeple, çalışma frekansı 2.45GHz seçilmiştir. Bu frekansa sahip mikrodalga işareti bir mikrodalga işaret üretici (HP8648C) tarafından üretilir. Mikrodalga gücünün malzeme ile etkileşimini sağlayan mikrodalga uygulayıcısı, kesiti 86mm×43mm ve boyu 350mm olan bir S bandı dalga kılavuzudur (WR340). Mikrodalga uygulayıcısının çıkış ucuna bağlanan su yükü, bu uçtaki empedans uygunluğunu sağlamak; dolayısıyla bu uca meydana gelebilecek yansımaların ölçümleri etkilememesi amacıyla kullanılmıştır. Mikrodalga uygulayıcısı içine yerleştirilen malzemenin mikrodalga gücünde meydana getirdiği zayıflamanın belirlenebilmesi, uygulayıcının giriş ve çıkış uçlarında mikrodalga gücünün ölçülmesini gerektirir. Girişte 60dB’lik bir yönlü kuplör ve

dedektör (HP86200B) ve çıkışta bir dedektör (HP86200B) güç ölçümü amacıyla kullanılmıştır. Dedektörlerden algılanan işaretler bir network analizöre (HP8713B) uygulanarak giriş ve çıkıştaki güç değerleri ölçülmüştür.

Nemlilik oranı belirlenecek malzemenin şekli mikrodalga tekniğinin seçilmesinde önemlidir. Oluklu koli kartonunun düzlemsel bir şekle sahip ve kalınlığının az olması, dalga kılavuzu içinde ölçüm yapılmasına olanak sağlar. Şekil-2’de kartonun dalga kılavuzu içine yerleştirilmesi görülmektedir. Bu şekilde numunenin kılavuz içine yerleştirilmesi ve ölçümlerin kapalı bir yapı içinde yapılması, serbest uzayda, örneğin horn anten kullanılarak yapılan ölçümlerden daha hassas bir sonuç alınmasını sağlar. Serbest uzayda yapılan ölçümlerde, elektromanyetik dalganın kırınımı, serbest uzaya dağılması, malzemenin kenar etkileri gibi etkenlerin ölçüm sonuçlarını etkilemesi mümkündür. Fakat malzemenin şeklinin kapalı yapı ölçümlere uygun olmadığı durumlarda serbest uzay ölçümleri gereklidir.

Dalga kılavuzu içinde nemli kartonun meydana getirdiği zayıflama değerini tespit edebilmek için önce dalga kılavuzu boş iken her iki ucundaki güç değerleri ölçülür. Daha sonra kılavuz içerisine nemli numüne yerleştirilir ve giriş ve çıkıştaki güç değerleri tekrar ölçülür. Buna göre numunenin mikrodalga gücünde meydana getirdiği zayıflama miktarı,

$$Z = [P_g(\text{dBm}) - P_{\zeta\text{-dolu}}(\text{dBm})] - [P_g(\text{dBm}) - P_{\zeta\text{-boş}}(\text{dBm})] \quad (1)$$

ifadesi yardımıyla bulunur. Burada Z zayıflama, P_g dBm olarak giriş gücü, $P_{\zeta\text{-boş}}$ dalga kılavuzu boş iken dBm olarak çıkış gücü ve $P_{\zeta\text{-dolu}}$ numüne dalga kılavuzuna yerleştirilmiş iken dBm olarak çıkış gücüdür.

Bir malzemenin nemlilik oranı, nemli durum göz önüne alındığında,

$$M(\%) = 100 \times \frac{m_{\text{su}}}{m_{\text{su}} + m_{\text{kuru}}} \quad (2)$$

şeklinde tanımlanır. Malzemenin içerdiği su miktarı ve kuru malzemenin kütlesi bilindiği takdirde nemlilik oranı hesaplanabilir. Bu sayede çeşitli nemlilik oranı sahip nemli malzemelerin zayıflama değerlerinin (1) ifadesi yardımıyla hesaplanması mümkün olmuştur. Hesaplanan bu değerlerden zayıflama ile nemlilik oranı arasındaki ilişki çıkarılmıştır. Suyun dielektrik özellikleri, kuru malzemenin dielektrik özellikleri yanında çok büyük olduğundan bu ilişki,

$$Z = aM + b \quad (3)$$

formunda birinci dereceden bir polinomdur. Bu polinomun katsayılarının belirlenmesi, bilinmeyen

nemlilik oranına sahip malzemelerin meydana getirdiği zayıflama miktarının ölçülmesi ile nemlilik oranının tayin edilmesi mümkün olur.

3. SONUÇLAR

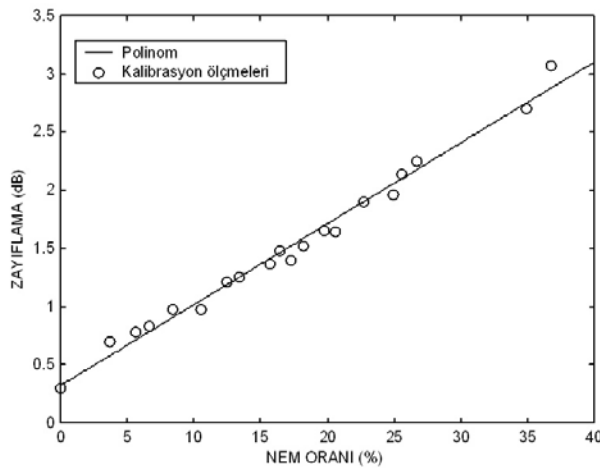
Şekil-1’de verilen sistemin girişine frekansı 2.45GHz ve gücü 10dBm olan bir mikrodalga işareti uygulandı. Ölçüm numünesi olarak boyutları 110mm×150mm×4mm ve ağırlığı yaklaşık 7g civarında olan karton parçaları kullanıldı. Bu numüneler, nem oranları %0 ile %40 arasında değişecek şekilde (2) ifadesi ile belirlenen miktarlarda su ile nemlendirildi. Ölçümler esnasında bu numünelerin sıcaklıkları 25°C civarında tutuldu.

İlk önce nemlilik oranı ile zayıflama arasındaki ilişkinin belirlenmesinde kullanılan ölçümler yapıldı. 20 farklı nem oranı için dalga kılavuzu içinde mikrodalga gücünde meydana gelen zayıflama miktarları hesaplandı. Bulunan bu değerlerden elde edilen birinci dereceden polinomun ifadesi,

$$Z = 0,069497 \times M + 0,321536 \quad (4)$$

olarak bulundu. Şekil-3’de ölçüm sonuçları ve zayıflama ile nem oranı arasındaki bağıntıyı gösteren polinomun değişimi verilmiştir. Şekilden ölçüm sonuçları ile polinom arasındaki uyum görülmektedir. Fakat özellikle %5’den daha küçük ve %30’dan daha büyük nemlilik oranlarında polinomdan sapma daha fazla olmaktadır.

İkinci aşamada test ölçmeleri yapıldı. Numünelerin nem oranları 70 kadar farklı değere ayarlanarak her bir nem oranına karşılık gelen zayıflama miktarları ölçüldü. Bu zayıflama miktarları, (4) ifadesinde yerine konarak, her bir zayıflama değeri için nemlilik oranı



Şekil – 3. Kartonun nem oranına bağlı olarak mikrodalga gücünde meydana gelen zayıflamanın değişimi.

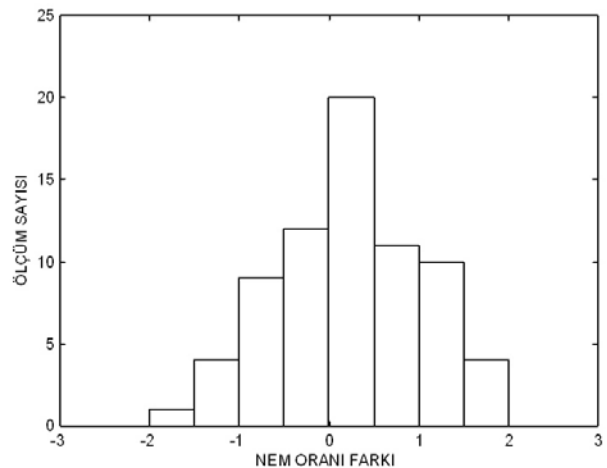
hesaplandı. Hesaplanan bu nem oranları, kuru numüneye ilave edilen su miktarı ve kuru numünün kütlesinden (2) bağıntısı yardımıyla hesaplanan nem oranları ile karşılaştırıldı. Gerçek nemlilik oranı değerleri ile ölçülen nemlilik oranları arasındaki fark dağılımı Şekil-4’de verilmiştir. Ölçülen değerlerin gerçek değerlerden 2 puan kadar sapması özellikle malzemenin sıcaklığındaki ufak değişimlerden, malzemenin ıslatılması neticesinde ölçüm esnasında şeklinde meydana gelen bozukluklardan ve malzemenin kütlesinin ölçülmesindeki hatalardan kaynaklanmaktadır. Bazı ölçüm sonuçları, gerçek ve ölçülen nem oranları ile birlikte Tablo-1’de verilmiştir.

4. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, düzlemsel forma sahip endüstriyel malzemelerin nemlilik oranının mikrodalga teknikleriyle tayin edilmesi incelenmiştir. Bu doğrultuda, bir dalga kılavuzu içine yerleştirilmiş nemli malzemenin mikrodalga gücünde meydana getirdiği zayıflama ile nemlilik oranı arasında bir ilişki kurulmuştur. Bu ilişki yardımıyla nemlilik oranı %0 ile %40 arasında değişen malzemelerin nemlilik oranlarının tayin edilmesi mümkün olmuştur.

Kurulan mikrodalga sistemi, bir endüstriyel sürecin otomasyonuna uygun hale kolayca getirilebilir. Malzemenin sıcaklığı, yoğunluğu gibi parametreler ile zayıflama arasındaki ilişkilerin tanımlanması, nemlilik oranının sıcaklık ve malzeme yoğunluğundan bağımsız olarak ölçülmesine olanak sağlar.

Ayrıca bu çalışmada kullanılan teknik, çeşitli karışımların içerdikleri bileşenlerin oranlarının belirlenmesinde de kolayca kullanılabilir.



Şekil – 4. Kartonun gerçek ve ölçülen nem oranları arasındaki farkın dağılımı.

Tablo – 1. Bazı zayıflama değerlerinde gerçek ve ölçülen nem oranı değerleri.

Zayıflama (dB)	Ölçülen Nem Oranı (%)	Gerçek Nemlilik (%)	Fark
0,78	6,597	5,598	-0,999
0,84	7,460	7,019	-0,442
0,99	9,619	9,228	-0,391
1,03	10,194	10,435	0,240
1,25	13,360	13,417	0,057
1,38	15,230	15,503	0,273
1,63	18,828	19,204	0,376
1,75	20,554	19,577	-0,977
1,90	22,713	22,699	-0,013
2,02	24,439	24,992	0,553
2,10	25,590	25,681	0,091
2,15	26,310	26,480	0,170
2,65	33,504	34,930	1,425

KAYNAKLAR

- [1]. Kraszewski, A.W, Trabelsi, S. And Nelson, S.O., Moisture content determination in grain by microwave parameters measurement., SYMPOSIUM ON ANTENNA TECH. AND APPLIED ELECTROMAGNETICS, August 6-9, Montréal, Canada, pp.515-519, 1996
- [2]. Nelson, S., Lawrence, K., and Kandala, C., Sensing moisture in peanut and pecan kernels by RF impedance measurements., JOURNAL OF MICROWAVE POWER AND ELECTROMAGNETIC ENERGY, vol.27, no.3, pp.171-174, 1992
- [3]. Kraszewski, A., Microwave aquametry – A review., JOURNAL OF MICROWAVE POWER, vol.15, no.4, pp.209-220, 1980
- [4]. Chaloupka, H., Ostwald, O. And Schiek, B., Structure independent microwave moisture measurement., JOURNAL OF MICROWAVE POWER, vol.15, no.4, pp.221-231, 1980
- [5]. Brodwin, M. and Benway, J., Experimental evaluation of a microwave transmission moisture sensor., JOURNAL OF MICROWAVE POWER, vol.15, no.4, pp.261-265, 1980