



## Akaryakıt Sektörü için Metamalzeme Tabanlı Sensör Tasarımı ve Uygulaması

### Metamelike Based Sensor Design and Application for Fuel Sector

Furkan DİNÇER<sup>1</sup>, Kemal DELİHACIOĞLU<sup>1</sup>, Mehmet Ali TÜMKAYA<sup>2</sup>, Muharrem KARAASLAN<sup>2</sup>, Cumali SABAH<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, TÜRKİYE

<sup>2</sup> Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, TÜRKİYE

<sup>3</sup> Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kuzey Kıbrıs  
Kampüsü, Kalkanlı, Güzelyurt, TRNC/Mersin 10, Türkiye

Başvuru/Received: 29/01/2017

Kabul/Accepted: 16/04/2017

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2017

#### Öz

Metamalzemelerin sinyal emilimi, anten, sensör, süper lens vb. birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Bu çalışmada ise metamalzemelerin sensör alanındaki önemli uygulamalarından birine değinilmiştir. Bu uygulama, akaryakıt sektörüne yönelik olup markası belirli ve markası belirli olmayan benzin ve mazot numunelerinin tespiti için metamalzeme tabanlı sensör tasarımıdır. Akaryakıt numuneleri için deneysel çalışma gerçekleştirilmiş olup bu veriler simülasyona girilerek buna uygun sensör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Böyle bir çalışma diğer sektörler için de örnek teşkil ederek daha farklı sensör tasarımlarının yapılmasına da imkân sağlayacaktır.

#### Anahtar Kelimeler

“Metamalzeme, sensör, benzin, mazot“

#### Abstract

Metamaterials have many application areas such as absorber, antenna, sensor, super lens and etc. In this study, we focused on sensor application of metamaterials. This application is metamaterial based sensor design in order to find branded and unbranded gasoline - diesel samples for liquid fuel sector. So, experimental setup is realized for branded and unbranded gasoline-diesel samples. Obtained measurement values entered to simulation programme to get optimal design. Such a study would be an example for other sectors to realize different sensor designs.

#### Key Words

“Metamaterial, sensor, petrol, diesel”

## 1. GİRİŞ

Metamalzemeler, doğada bulunmayan ve geleneksel olmayan elektromanyetik özellikler gösteren malzemelerdir. Negatif dielektrik sabiti ve manyetik geçirgenliğe sahip olan malzemeler düşüncesi teorik olarak ilk 1968 yılında Veselago tarafından ortaya konulmuştur (Veselago, 1968). Teorik olarak ortaya konulan bu çalışma araştırmacılar tarafından maalesef uzun yıllar ilgi görmemiştir. 90'lı yılların sonu ve 2000'li yılların başlarında Pendry ve ark., Shelby ve ark. (Pendry vd. 1996, Smith vd. 2000, Shelby vd. 2001) tarafından deneysel olarak incelenmiş ve daha sonra bilim dünyası tarafından çok sayıda çalışma yapılarak büyük ilgi görmüştür. Günümüzde metamalzemeler ile ilgili çok sayıda önemli uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Bunlar; sinyal emiciler (Dincer vd. 2014a, Sun vd. 2011, Sabah vd. 2014, Dincer vd. 2014b), sensörler (Karaaslan ve Bakır 2014), antenler (Hwang vd. 2009, Vrba vd. 2016, Zhou vd. 2011), vb. (Gunduz ve Sabah 2015, Turkmen vd. 2013, Ustunsoy ve Sabah 2016, Mullaa ve Sabah 2017).

Bu çalışmada metamalzemelerin sensör uygulaması üzerine bir tasarım ve uygulama gerçekleştirilmiştir. Günümüzde güncel olarak kullanılan benzin ve mazot gibi akaryakıt ürünleri üzerine gerçekleştirilen bu çalışma için markası belirli ve belirli olmayan benzin ve mazot numunelerinin elektromanyetik özellikleri deneysel olarak analiz edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada numunelere ait dielektrik ve kayıp tanjant parametreleri elde edilmiştir. Bunun için laboratuvarında bulunan Keysight PNA-L N5234 Network Analizörü ve Dielektrik Ölçüm Kiti kullanılmıştır. Çalışma frekansı olarak X band frekans aralığı seçilmiştir. Daha sonra 3D Elektromanyetik Simülasyon kullanılarak metamalzeme sensör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Deneysel veriler programa girilerek, malzemenin oluşturduğu S parametreleri ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Tasarım çalışması içerisinde belirgin rezonans farkının yakalanabilmesi ve tespiti için metamalzeme sensör tasarımı parametrik olarak çalıştırılmıştır. Elde edilen bulgular, sonuç ve değerlendirme bölümünde detaylı olarak analiz edilmiştir.

## 2. AKARYAKIT NUMUNELERINE AIT DENEYSEL ÇALIŞMANIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Metamalzeme tabanlı sensör yapısının tasarlanabilmesi için öncelikle X band frekans aralığında numunelere ait dielektrik ve kayıp tanjant değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu değerler, deneysel çalışma ile elde edilmiştir. Bu bölümde, akaryakıt numunelerine ait deneysel çalışma detaylı olarak gerçekleştirilmiştir. Sonrasında elde edilen bu veriler programa girilerek sensör yapısının tasarlanması amaçlanmıştır.

Deneysel çalışma için Keysight PNA-L N5234 Network Analizörü ve Dielektrik Ölçüm Kiti kullanılmıştır. Network Analizör 43,5 GHz frekans değerine kadar ölçüm yapabilmektedir. Şekil 1'de deneysel çalışmaya ait görüntüler verilmiştir. Keysight PNA-L N5234 Network Analizörü ve Dielektrik Ölçüm Kiti ile X band içerisinde numunelere ait dielektrik ve kayıp tanjant değerleri elde edilmiştir.



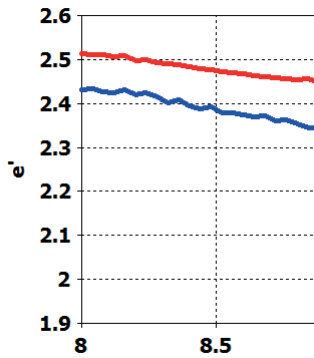
Şekil 1. Deneysel çalışmaya ait görünüm (a) ölçüm düzeneği ve (b) numuneler

Akaryakıt numunelerine ait ölçüm işlemi sonrasında, kite ait bir yazılım ile markalı ve markasız akaryakıt örneklerinin dielektrik ve kayıp tanjant değerleri elde edilmiştir. Bu değerleri Tablo 1'de gösterilmektedir. Bu çalışmalar markalı ve markasız benzin ve mazot numuneleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Ayrıca Şekil 2 ve 3'te sırasıyla benzin ve mazot numunelerine ait dielektrik değerlerinin X band (8-12 GHz) frekans aralığındaki davranışları gösterilmektedir. Şekil 2 ve 3 incelendiğinde, markalı ve markasız numuneler arasında belirgin bir dielektrik değer farkı olduğu görülecektir. Sensör tasarımında bu değer farkı, rezonans frekansına da etki edecektir. Reel dielektrik sabitleri markalı benzin ve markası belirli olmayan benzin için 10 GHz frekans

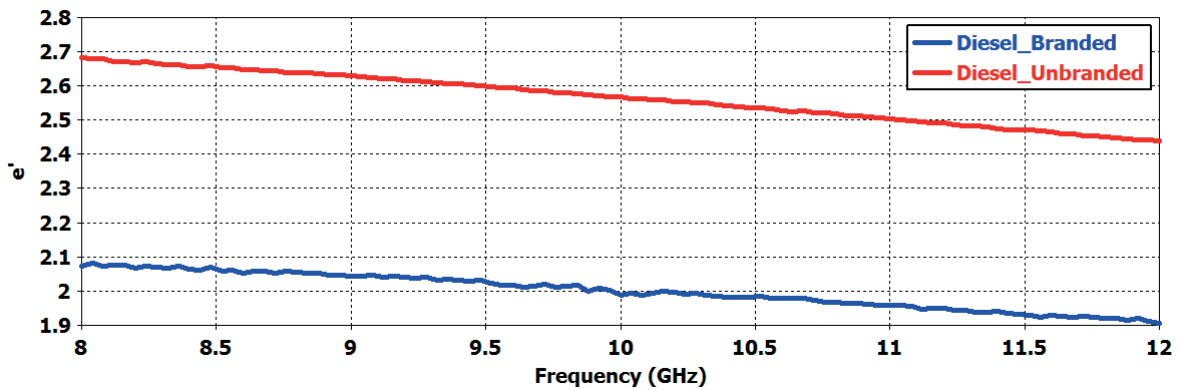
değerinde 2.19 ve 2.33'tür. Bu değerler, markalı mazot ve markası belirli olmayan mazot için 10 GHz frekans değerinde 1.98 ve 2.56'dır.

**Tablo 1.** Markalı ve markasız akaryakıt örneklerinin dielektrik ve kayıp tanjant değerleri

Frekans (GHz)	Reel Dielektrik Değerleri ( $\epsilon$ )			
	Benzin (markalı)	Benzin (markasız)	Mazot (markalı)	Mazot (markasız)
8	2.43	2.51	2.07	2.68
9	2.32	2.44	2.04	2.62
10	2.19	2.33	1.98	2.56
11	2.08	2.24	1.95	2.50
12	1.96	2.15	1.90	2.43
Frekans (GHz)	Loss Tangent Değerleri (Tang. $\delta$ )			
	Benzin (markalı)	Benzin (markasız)	Mazot (markalı)	Mazot (markasız)
8	0.34	0.23	0.15	0.16
9	0.39	0.27	0.17	0.19
10	0.43	0.30	0.20	0.21
11	0.47	0.32	0.22	0.24
12	0.51	0.35	0.23	0.25



**Şekil 2.** Markalı ve markasız benzin numunelerine ait 8-12 GHz frekans aralığındaki dielektrik değerlerinin değişimi

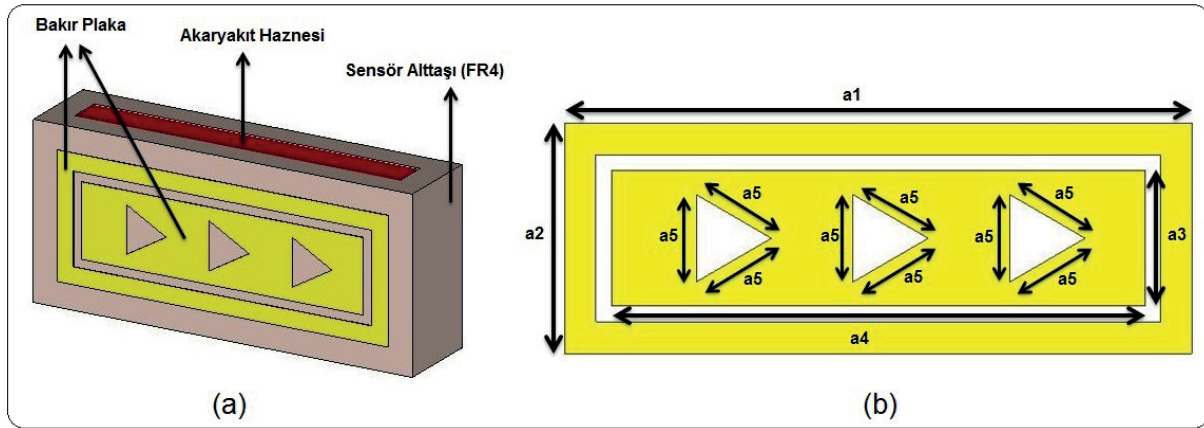


**Şekil 3.** Markalı ve markasız benzin numunelerine ait 8-12 GHz frekans aralığındaki dielektrik değerlerinin değişimi

### 3. AMAÇLANAN SENSÖR UYGULAMASI İÇİN METAMALZEME TASARIMININ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Amaçlanan metamalzeme tabanlı sensör birim hücre yapılarından oluşmaktadır. Materyal yapısında dielektrik için FR4 kullanılmıştır. Çünkü; FR4 ucuz, düşük dielektrik kayıp değerine sahip ve rahatlıkla bulunabilen bir dielektriktir. Seçilen FR4 cinsi malzeme 1.6 mm kalınlık, 4.2 dielektrik geçirgenlik, 1 manyetik geçirgenlik ve 0.02 kayıp tanjant değeri özelliklerine sahiptir. Rezanatör için ise metal kısım bakır ile yapılmıştır. Bakır;  $5.8001 \times 10^7 S / m$  elektriksel iletkenliğe sahiptir. Tasarlanan sensörün rezanatör kalınlığı 0.035 mm'dir. Şekil 4(a) ve 4(b) sırasıyla, amaçlanan metamalzeme sensör tasarımı ve yapıya ait boyutların genel bir görünümünü göstermektedir. Sensör tasarımının yapılabilmesi için FIT tabanlı 3D elektromanyetik simülasyon

kullanılmıştır. Yapı boyutlarının X band içerisinde optimum sonuçlar verebilmesi için program parametrik olarak çalıştırılmıştır. Elde edilen ölçüler;  $a_1= 20$  mm,  $a_2= 7,3$  mm,  $a_3= 4,3$  mm,  $a_4= 17$  mm,  $a_5= 2,77$  mm.

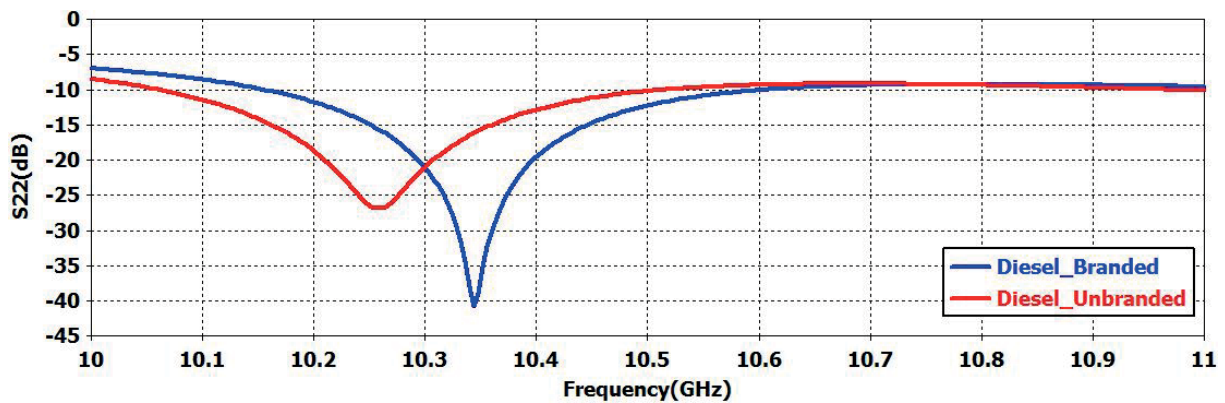


Şekil 4. Amaçlanan metamalzeme tabanlı sensör yapısı (a) yapının 3 boyutlu genel görünümü (b) rezonatöre ait ölçüler

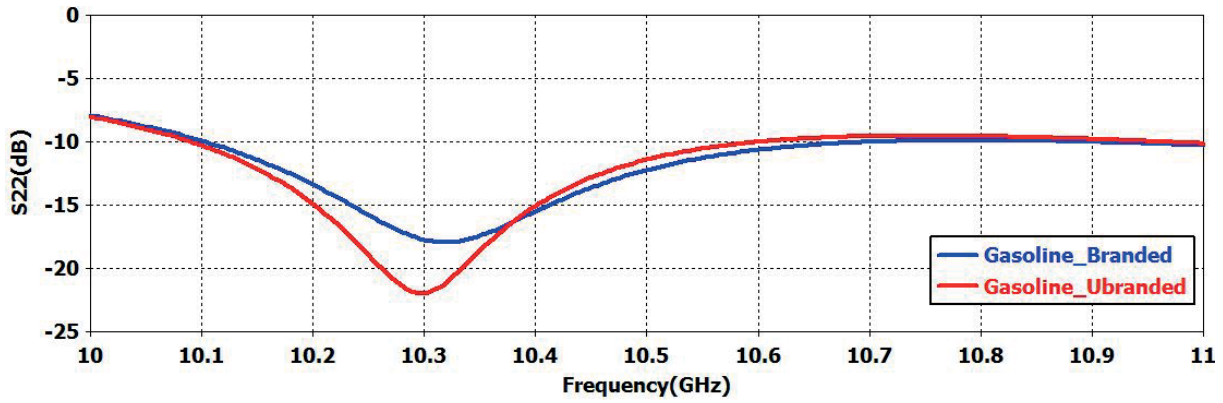
#### 4. TASARLANAN METAMALZEME TABANLI SENSÖR YAPISI İÇİN ELDE EDİLEN NÜMERİK SONUÇLAR

Bu bölüme kadar, markası belirli ve markası belirli olmayan benzin ve mazot numunelerine ait deneysel dielektrik ve kayıp tanjant değerleri X band frekans aralığında elde edilmiştir. Ardından, elde edilen bu değerler 3D Elektromanyetik Simülatöre girilerek FIT tabanlı çözüm yaptırılarak metamalzeme tabanlı bir sensör yapısı tasarlanmıştır.

Bu bölümde tasarlanan bu yapı için nümerik sonuçlar markası belirli ve markası belirli olmayan benzin ve mazot numuneleri için ayrı ayrı elde edilmiştir. Şekil 5'te markası belirli ve markası belirli olmayan mazot numuneleri için  $S_{22}$  (dB) parametresi değerleri gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre; markası belirli olan mazot numunesi 10.34 GHz frekans değerinde rezonans gösterirken, markası belirli olmayan mazot numunesi 10.26 GHz frekans değerinde rezonans göstermiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere rezonans değerleri arasında 80 MHz kadar farklılık bulunmaktadır. Ayrıca, dB değerlerinde de farklılık meydana gelmiştir. Şekil 6'da markası belirli ve markası belirli olmayan benzin numuneleri için  $S_{22}$  (dB) parametresi değerleri gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre; markası belirli olan benzin numunesi 10.32 GHz frekans değerinde rezonans gösterirken, markası belirli olmayan mazot numunesi 10.29 GHz frekans değerinde rezonans göstermiştir.



Şekil 5. Markası belirli ve markası belirli olmayan mazot numunelere ait nümerik sonuç değerleri



Şekil 6. Markası belirli ve markası belirli olmayan benzin numunelere ait nümerik sonuç değerleri

## 5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bilindiği üzere 5607 sayılı Kaçakçılıkla Mücadele Kanunu 15 Temmuz 2014 tarihinde yenilenme suretiyle tekrar oluşturulmuştur. Denetlemeler ve belirleme işlemleri her ne kadar bastırıcı ve konu üzerinde önlem alıcı faaliyetler olsa da; 2013 yılında 17.422.557 litre (Emniyet Genel Müd.) ve 2014 yılında 157 milyon lira değerinde kaçak akaryakıt ele geçirildiği belirtilmektedir (Gümrük ve Tic. Bakanlığı). Meclis Araştırma Komisyonu raporunda da iki yılda tespit edilen kaçak akaryakıtın miktarı 7 milyon 800 bin ton olarak teyit edilmiş, vergi kaybı ise 10 milyar 700 bin TL olarak tespit edilmiştir. Kaçak akaryakıtın ülke ekonomisi yanında araçlarda oluşturduğu hasarlarda son derece ciddi sonuçlar doğurmaktadır. Özellikle motor kısmında oluşturduğu tahribatlar araçların ömürlerine etki etmekte, salınan egzoz gazları sonucunda çevreyi de olumsuz etkilemektedirler. Bundan ötürü bu konuda yapılan ve yapılacak olan çalışmalar büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada; markası belirli ve markası belirli olmayan benzin ve mazot numunelerine ait deneysel dielektrik ve kayıp tanjant değerleri X band frekans aralığında elde edilmiştir. Ardından, elde edilen bu değerler 3D Elektromanyetik Simülatöre girilerek FIT tabanlı çözüm yapılarak metamalzeme tabanlı bir sensör yapısı tasarlanmıştır. Tasarlanan bu yapı için nümerik sonuçlar markası belirli ve markası belirli olmayan benzin ve mazot numuneleri için ayrı ayrı elde edilmiştir. Elde edilen nümerik sonuçlarda markası belirli ve belirli olmayan benzin ve mazot numunelerine ait rezonans değerlerinde tasarlanan sensör yapısı için farklılık olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılık, markalı ve markasız akaryakıt numunelerinin tespiti için önemlidir. Ek olarak; farklı rezonatör yapıları tasarlanarak daha iyi sonuçlar verebilecek metamalzeme tabanlı sensörler tasarlanabilir ve geliştirilebilir.

## 6. AÇIKLAMA

Bu çalışma Dr. Furkan DİNÇER'in yürütücü olduğu, 115E788 numaralı TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir.

## 7.REFERANSLAR

Dincer, F., Akgol, O., Karaaslan, M., Unal, E., & Sabah, C. (2014a). Polarization angle independent perfect metamaterial absorbers for solar cell applications in the microwave, infrared, and visible regime. *Progress In Electromagnetics Research*, 144, 93–101.

Dincer, F., Karaaslan, M., Unal, E., Delihacioglu, K., & Sabah, C., (2014b). Design of polarization and incident angle insensitive dual-band metamaterial absorber based on isotropic resonators, *Progress In Electromagnetics Research*, 144, 123–132.

Gunduz, O. T., & Sabah, C., (2015). Polarization angle independent perfect multiband metamaterial absorber and energy harvesting application. *J. Comp. Electronics*, doi:10.1007/s10825-015-0735-8.

Hwang, R. B., Liu, H. W., & Chin, C. Y., (2009). A metamaterial-based e-plane horn antenna, *Progress In Electromagnetics Research*, 93, 275-289.

Karaaslan, M., & Bakir, M., (2014). Chiral metamaterial based multifunctional sensor applications. *Prog Electromagn Res.*, 149, 55–67.

Mullaa, B., & Sabah, C., (2017). Multi-band metamaterial absorber topology for infrared frequency regime, *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 86, 44–51.

- Pendry, J. B., Holden, A. J., Stewart, W. J., & Youngs, I. (1996). Extremely low frequency plasmons in metallic mesostructures. *Phys Rev Lett.*, 76, 4773–4776.
- Sabah C., Dincer F., Karaaslan M., Unal E., Akgol O., & Demirel E., (2014). Perfect metamaterial absorber with polarization and incident angle independencies based on ring and cross-wire resonators for shielding and a sensor application. *Opt Comm.*, 322, 137–142.
- Shelby, R. A., Smith, D. R., & Schultz S. (2001). Experimental verification of a negative index of refraction. *Science.*, 292, 77–79.
- Smith, D. R., Padilla, W. J., Vier, D. C., Nemat-Nasser, S. C., & Schultz, S. (2000). Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity. *Phys Rev Lett.*, 84, 4184–4187.
- Sun, J., Liu, L., Dong, G., & Zhou, J., (2011). An extremely broad band metamaterial absorber based on destructive interference. *Opt. Express* 19, 21155–21162.
- Turkmen, O., Ekmekci, E., & Sayan, G. T., (2013). Effects of using different boundary conditions and computational domain dimensions on modeling and simulations of periodic metamaterial arrays in microwave frequencies, *Intern. Jour of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 23, 459–465.
- Ustunsoya, M. P., & Sabah, C., (2016). Dual-band high-frequency metamaterial absorber based on patch resonator for solar cell applications and its enhancement with graphene layers, *Journal of Alloys and Compounds*, 687, 514–520.
- Veselago, V. G. (1968). The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of  $\epsilon$  and  $\mu$ . *Soviet Phys Uspekhi.* 47, 509–514.
- Vrba, D., Rodrigues, D. B., Vrba Jr. J., & Stauffer, P. R., (2016). Metamaterial antenna arrays for improved uniformity of microwave hyperthermia treatments," *Progress In Electromagnetics Research*, 156, 1-12.
- Zhou, B., Li, H., Zou, X., & Cui, T. J., (2011). Broadband and high-gain planar vivaldi antennas based on inhomogeneous anisotropic zero-index metamaterials, *Progress In Electromagnetics Research*, 120, 235-247.