

Doğalgaz Boru Hatlarında kullanılacak Boru İçi Denetleme Robotu İçin Kablosuz Haberleşme Amaçlı Anten Tasarımı

Şevval PEKEN¹, İlhami ÜNAL², Hüseyin Ayhan YAVAŞOĞLU³

¹Yeditepe Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
İstanbul
sevval.peken@std.yeditepe.edu.tr

²TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi - Malzeme Enstitüsü, MİLTAL
Gebze, Kocaeli
ilhami.unal@tubitak.gov.tr

³TÜBİTAK - Raylı Ulaşım Teknolojileri Enstitüsü (RUTE)
Gebze, Kocaeli
huseyin.yavasoglu@tubitak.gov.tr

Özet: Doğalgaz boru hatlarının mevcut durumunu öğrenmek, metal kayıplarını, korozyon, çatlak, vb. anomalileri tespit etmek için geliştirilmekte olan boru içi denetleme robotunun kablosuz haberleşmesini sağlamak üzere mikroserit halka yama anten tasarlanmış, benzetimi ve ölçümü yapılmıştır. Geliştirilen anten, robotun fiziksel kısıtlamaları çerçevesinde (dış yarıçapı 70 mm, iç yarıçapı 45 mm, derinlik 15 mm) robot ekipmanları ile doğalgaz borusu içinde modellenerek tasarlanmış olup, kablosuz haberleşme için gerekli olan 902-930 MHz frekans aralığında rezonansa girmektedir.

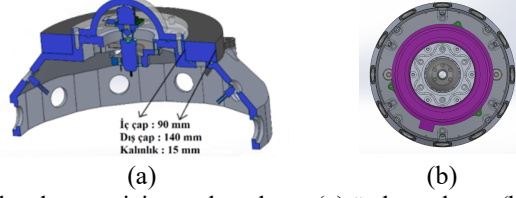
Abstract: An annular-ring patch antenna was designed, simulated and measured to provide wireless communication of the in-pipe inspection robot, which is being developed to learn the current status of natural gas pipelines and detect anomalies such as metal losses, corrosion, cracks, etc. The developed antenna is modeled in a natural gas pipe with robot equipment within the framework of the physical limitations of the robot (outer radius 70 mm, inner radius 45 mm, depth 15 mm), and it resonates in the frequency range of 902-930 MHz, which is required for wireless communication.

1. Giriş

Doğalgaz boru hatlarında gerçekleşebilecek arızalar, enerji arzının devamlılığı açısından önemli olduğu gibi, ciddi can ve mal kayıplarına yol açabilmesi açısından da kritik öneme sahiptir. Arızalar meydana gelmeden boru hattı üzerinde bulunan kusurların erken teşhis edilebilmesi için hattın belirli aralıklarla denetlenmesi gerekmektedir. Boru hattı yaşlandıkça hattın denetim gereksinimi daha çok önem kazanmaktadır. Boru hatlarında operasyon yapan robotların kullanımındaki en büyük zorluklarından biri ise kontrol istasyonu ile robot arasındaki kablosuz haberleşmenin sağlanabilmesidir.

Bu çalışmada doğalgaz boru hatlarında kullanılacak boru içi denetleme robotu için kablosuz veri iletişiminde kullanılmak üzere anten tasarımı sunulmuştur. Robot içindeki kamera görüntüsünün ve operatör ekranına yansıtılacak çeşitli verilerin iletimi için, rafta hazır ürün olarak yer alan alıcı-verici sistemlerini de göz önüne alarak, 902 MHz-930 MHz frekans aralığı belirlenmiştir. Kablosuz haberleşme için literatürde birçok halka anten çalışması mevcut olmakla birlikte [1, 2], sınırlı geometrik alana sahip boru içi denetleme robotu üstüne yerleştirilebilecek yenilikçi bir anten geliştirilmesine yönelik çalışma yer almamaktadır. Haberleşmeyi sağlayacak akıllı robotun anteni, Şekil 1 (a)'da görüldüğü gibi geometrik tasarım kısıtları nedeniyle ancak robotun ön ve arka kısmında bulunan kameralarının etrafında dış yarıçapta 70 mm, iç yarıçapta 45 mm ve derinlik açısından da 15 mm'lik bir alana yerleştirilebilmektedir. Yüksek çözünürlüklü video transferi için asgari 8 MHz bant genişliği

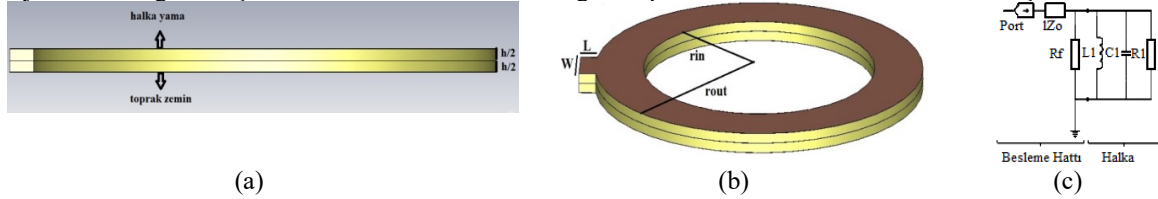
ihtiyacı söz konusu olmakla birlikte, piyasadaki hazır ürünler dikkate alındığında 915 MHz merkez frekansı civarında çalışan ve Şekil 1(b)'de gösterilen alana uygun boyutlarda olan bir antenin geliştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 1. Robot içine yerleştirilecek anten için ayrılan alanın (a) üç boyutlu ve (b) üstten görünümü (mor alan)

2. Anten Tasarımı ve Analizi

Mikroşerit antenlerin tasarımında kullanılabilen ve dielektrik sabitleri genellikle $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$ aralığında olan birçok alttaş/tabana malzemesi vardır. Mikroşerit antenlerde, taban malzemesinin yüksekliğinin artırılması ile verimlilik ve bant genişliğinin artırılması sağlanır. Yükseklik artırıldığında ise yüzey dalgaları oluşur ve antenin ışınım ve karakteristiğini olumsuz etkiler, [3]. Bu nedenle taban malzemesi olarak dielektrik sabiti 4,3 ve dielektrik kayıp tanjantı 0,02 değerine eşit olan ve $h/2=1,575$ mm kalınlığa sahip iki kat FR-4 malzemesi kullanılmıştır.



Şekil 2. Antenin (a) enine kesit görünümü, (b) üstten görünümü ve (c) eşdeğer devresi

Enine kesit ve üstten görünümü Şekil 2 (a) ve 2 (b)'de verilen antenin tasarımında kullanılan parametre değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Halka yama antenin rezonans frekansını kontrol etmek için yalnız bir serbestlik derecesi vardır ve bu kontrol yama yarıçapının değişimi ile sağlanır. Bu değişim modların derecesini değiştirmez fakat her rezonans frekansının mutlak değerini değiştirir [4]. Eşitlik (1) ve (2)'de halka yama antenin yarıçap kısıtı kullanılarak yaklaşık 900 MHz rezonans frekansına sahip olduğu görülmüştür. Optimizasyon yapılarak, parametrelerin değişimi ile gerekli rezonans frekansında çalışması sağlanmıştır. Burada v ışık hızı, ϵ_r alttaşın bağlı dielektrik sabiti ve R_{eff} halka yama antenin efektif yarıçapıdır. Eşitlik (2)'de verilen h ise alttaşın yüksekliği, r dairesel yamanın yarıçapıdır. Tasarım sonunda Tablo 1'de verilen yükseklik değeri ($h=3,15$ mm), üretim sürecinde FR-4 alttaş malzemesinin iki katman olarak kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 2 (a)).

$$f = \frac{3,8317v}{2\pi\sqrt{\epsilon_r R_{eff}}} \quad (1)$$

$$R_{eff} = r \left[1 + \frac{2h}{\pi r \epsilon_r} \left\{ \ln\left(\frac{r}{2h}\right) + (1,41\epsilon_r + 1,77) + \frac{h}{r}(0,268\epsilon_r + 1,65) \right\} \right]^{1/2} \quad (2)$$

Tablo 1. Anten parametreleri ve değerleri

Parametre	W	L	h	r_{in}	r_{out}
Değer (mm)	16	8	3.15	45.2	64

Önerilen antenin eşdeğer devresi ise Şekil 2(c)'de verilmiştir. Z_0 , karakteristik empedans, mikroşerit hattın elektrik uzunluğu l , besleme hattı kayıp direnci R_f 'e eşittir. Eşitlik (3) ve (4)'teki denklemler kullanılarak halka yamanın topraklanmış elemanlar direnci R_1 (2,2 k Ω), kapasitansı C_1 (0.5 mF) ve endüktans değeri L_1 (0.5 H) hesaplanır [5]. $\mu = \mu_r \mu_0$, manyetik geçirgenliği ifade ederken; $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$, dielektrik sabitini temsil eder.

$$R_1 = \frac{2Z_0}{ar_{in}}, C_1 = \frac{\pi}{2w_{01}z_0}, L_1 = \frac{1}{w_{01}^2 c_1} \quad (3)$$

$$W_{01} = \frac{2\pi v_p}{r_{in}}, v_p = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \quad (4)$$

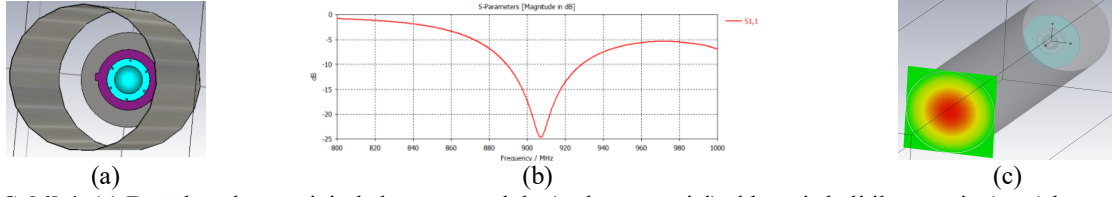
3. Benzetim ve Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

Şekil 3(a)'da, antenin benzetim ve ölçüm sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Elektromanyetik benzetimi CST Microwave Studio kullanarak yapılmıştır. Agilent E8362B model Vektör Network Analizörü kullanılarak yapılan ölçüm sonucuna göre anten boş uzayda, rezonans frekansı 916 MHz olacak şekilde 896-936 MHz aralığında rezonansa girmektedir (Şekil 3(b)). Antenin robot ekipmanları ile birlikte yapılan benzetim çalışmaları sonunda elde edilen yönlü ışınma patemi Şekil 3(c)'de verilmiş olup, maksimum anten kazancı 3,35 dBi'dir.



Şekil 3. Antenin geri dönüş kaybına ait (a) benzetim ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırması ile (b) ölçüm fotoğrafı ve (c) antenin yönlü ışınma patemi

Tasarlanan antenin 12'' çaplı doğalgaz borusu içinde ve kamera modülü gibi robot ekipmanları eklenmiş hali Şekil 4(a)'da verilmiştir. Böylece gerçek çalışma koşullarına daha yakın olarak modellenmesi sağlanmış olup, bu doğrultuda elde edilmiş benzetim sonucu Şekil 4(b)'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre halka yama anteni gerçek çalışma koşullarında kesim frekansı 585 MHz olan doğalgaz borusu içinde, rezonans frekansı 909,5 MHz olacak şekilde 890-929 MHz frekans aralığında rezonansa girmektedir. Ayrıca Şekil 4(c)'de antenin yakın alan bölgesinde, doğalgaz borusu içindeki bir kesite baktığımız zaman, elektrik alan yoğunluğunun ağırlıklı olarak orta bölgede toplandığı gözlemlendiği için, robot üstü halka yama anteni de Şekil 4(a)'da görüldüğü gibi doğalgaz borusunun çap merkezinde olacak şekilde konumlandırılmaktadır.



Şekil 4. (a) Doğalgaz borusu içinde kamera modülü (turkuaz mavisi) eklenmiş hali ile antenin (mor) benzetim modeli ile elde edilen (b) geri dönüş kaybına ait benzetim sonucu ve (c) antenin yakın alan benzetim sonucu

4. Sonuç

Bu çalışmada, rafta hazır ürün olarak kullanılan birçok haberleşme kartının da çalıştığı frekanslarda çalışacak şekilde geliştirilen halka yama anteni, TÜBİTAK'ta geliştirilmekte olan boru içi denetleme robotunun kablosuz veri iletimini sağlamak üzere literatürde ilk defa sunulmuş olup, benzetim ve ölçüm sonuçları başarılı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Robot üzerine yerleşimindeki fiziksel boyut kısıtlamaları ile, robot ekipmanları dâhil edilerek ve doğalgaz borusu içinde modellenerek tasarımı, çalışmanın zor aşamalarını oluşturmuştur. 64 mm dış ve 45.2 mm iç yarıçapa sahip olan nihai anten, boru içi kablosuz haberleşme için gerekli olan 902-930 MHz frekans aralığında rezonansa girmektedir. İleride robot geliştirildikten sonra, antenin robot üzerine entegre edilerek geri dönüş kaybı ve anten kazancı ölçümlerinin yapılması da hedeflenmektedir.

Kaynaklar

- [1]. Guo Y., Bian L. ve Shi X.Q., "Broadband Circularly Polarized Annular-Ring Microstrip Antenna," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, cilt.57, no.8, Ağustos 2009.
- [2]. Jashwant S.D., Lee K. ve Wong. D.P., "Dual-Frequency Stacked Annular-Ring Microstrip Antenna," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, cilt.35, no.11, Kasım 1987.
- [3]. Balanis C.A., Antenna Theory. Analysis and Design, 3rd Ed. New York: Wiley, 2005.
- [4]. Balanis C.A., Advanced Engineering Electromagnetics, John Wiley&Sons, New York, 1989.
- [5]. Ketawath K.N., "Enhancement of Gain with Coplanar Concentric Ring Patch Antenna," Wireless Pers. Commun., cilt.108, s.1447-1457, 2019.