Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi 27(2), 93 - 99, 2019

Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskisehir Osmangazi University 27(2), 93 - 99, 2019

KABLOSUZ YERALTI ALGILAYICI AĞLAR İÇİN DÜĞÜM İLETİŞİMİNDE DERİNLİK FAKTÖRÜNÜN ANALİZİ

Muhammed Enes BAYRAKDAR[1*]

[1]Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Düzce
ORCID No: https://orcid.org/0000-0001-9446-0988

DOI : http://dx.doi.org/10.31796/ogummf.545943

Anahtar Kelimeler

algılayıcı ağ, derinlik, yeraltı.

Öz

Kablosuz yeraltı algılayıcı ağlar, yeni bir araştırma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Akıllı sulamadan, güvenlik ve yardım tabanlı yönlendirmeye kadar birçok mühendislik uygulamasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kablosuz yeraltı algılayıcı ağların uygulama alanlarının bir kısmı tünel, mağara, vb. yeraltı boşluklu alanlardan oluşurken, bir kısmı da yeraltı boşluksuz katı ortamlardan oluşmaktadır. Bu bağlamda, kablosuz yeraltı algılayıcı ağlar tarımsal amaçlı olarak son zamanlarda büyük önem kazanmaya başlamıştır. Bu makale çalışmasında, toprağın yeraltı-yeraltı ve yeraltı-yerüstü kablosuz yeraltı algılayıcı düğüm iletişimine olan etkisi matematiksel olarak benzetim modeli ile incelenmiştir. Ağ yapısının başarımını değerlendirmek amacıyla, alınan sinyal gücü ve yol kaybı parametreleri ele alınmıştır. Derinlik mesafesi arttıkça, iletişimde yaşanan yol kayıplarının da arttığı gözler önüne serilmiştir. Elde edilen başarım değerlendirmesi sonuçları, kablosuz yeraltı algılayıcı ağlarda derinlik tabanlı iletişim için farklı gönderici gücü ile sinyal iletimi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

ANALYSIS OF DEPTH FACTOR IN NODE COMMUNICATION FOR WIRELESS UNDERGROUND SENSOR NETWORKS

Keywords

sensor network, depth, underground.

Abstract

Wireless underground sensor networks are a new area of research. It is widely used in many engineering applications, from smart irrigation to security and help based routing. Some of the application areas of wireless underground sensor networks are underground with space such as tunnel, cave, etc. while some consists of no spaced underground solid areas as well. In this context, the wireless underground sensor networks have recently become very important for agricultural purposes. In this paper, the effect of soil on underground-underground and underground-surface wireless underground sensor node communication has been investigated with a mathematical simulation model. In order to evaluate the performance of the network structure, the received signal strength and path loss parameters are discussed. As the depth distance increases, the increase in path loss of communication has been revealed. The acquired performance evaluation result reveals the need for signal transmission with different transmitter power for depth-based communication in wireless underground sensor networks.

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 28.03.2019	Submission Date	: 28.03.2019
Kabul Tarihi	: 11.07.2019	Accepted Date	: 11.07.2019

1. Giriş

Kablosuz yeraltı algılayıcı ağlar, gömülü algılayıcı düğümlere sahip kablosuz algılayıcı ağları türlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Kisseleff, Chen, Akyildiz ve Gerstacker, 2016). Yeraltı algılayıcı düğümler, birbirleriyle toprak ortamında veya zeminden yukarıda bulunan toplayıcı istasyonlar ile kablosuz olarak iletişim kurmaktadırlar (Stuntebeck, Pompili ve Melodia, 2006). Yeraltı altyapı izleme, deprem ve toprak kayması tahmini, topraktaki nem durumunu izleme, peyzaj yönetimi, sınır devriyesi ve güvenlik gibi yeraltına yerleştirilen algılayıcı düğümlerden faydalanarak yapabileceğimiz çok çeşitli uygulama alanları mevcuttur (Tooker ve Vuran, 2012). Karasal kablosuz ağları göz önüne aldığımızda, algılayıcı düğümler temel olarak hava ortamında elektromanyetik

* Sorumlu yazar; e-posta: muhammedbayrakdar@duzce.edu.tr

dalga kullanarak iletişim kurmaktadırlar (Ma, 2012). Yeraltı algılayıcı ağlarda ise, yayılma ortamı genel olarak kanal modelinin iyi çalışmayabileceği toprak, kaya ve su gibi ortamlar olduğu için iletişim zorlukları ortaya çıkmaktadır (Chehri, Fortier ve Tardif, 2006).

Literatürde kablosuz algılayıcı ağların başarımı konusunda yapılan muazzam miktarda araştırma bulunmaktadır (Trinchero, Fiorelli, Galardani ve Stefanelli, 2009). Ağ bağlantı kalitesi, bu ağların güvenilirliğini değerlendirmek için kullanılan en temel kriterlerden biri durumundadır (Ünsal, Akkan, Akkan ve Çebi, 2016). Kablosuz algılayıcı düğümler arasındaki bağlantı düzeyi temel olarak; mekansal yoğunluğa, gönderme-alma özelliklerine ve kablosuz kanalın özelliklerine bağlıdır (Nan ve Xue-Li, 2009).

Günümüzde, yeraltı algılayıcı ağların gerçek hayattaki sorunlara çözüm olarak uygulanması konusundaki hızla artan talepler nedeniyle, bu ağların kullanılabilirliğini ve güvenilirliğini araştırmak elzem olmuştur (Ndoh ve Delisle, 2005). Yapılan araştırmaların başında, topraktaki elektromanyetik dalgaların yayılma özelliklerinin incelenmesinin yanında; çoklu yol, toprak bileşimi, toprak nemi ve gömme derinliği gibi diğer etkenler gelmektedir (Jiang, Qian ve Peng, 2009). Yeraltı algılayıcı ağlarda 3 temel iletişim yönü bulunmaktadır: (i) yeraltı - yeraltı iletişim. (ii) yeraltı – toplayıcı istasyon. (iii) yerüstü – yeraltı (Tooker ve Vuran, 2012).

Ndoh ve Delisle (2005), kablosuz algılayıcı ağlar konseptini, maden galerilerindeki hareketli kablosuz konumlar ve kişiler için alternatif bir yaklaşım olarak tanıtmışlardır. Jiang ve diğ. (2009), tünel kablosuz algılayıcı ağlardaki düğümlerin enerji tüketimi analizine dayanarak, düğümlerin ortalama enerji tüketimini en aza indirgeyebilecek ve ağ ömrünü uzatacak enerji verimli bir konumlandırma stratejisi geliştirmişlerdir. Tooker ve Vuran (2012), sabit yeraltı düğümlerinden veri toplayan hareketli düğümlerden oluşan pratik bir kablosuz yeraltı algılayıcı ağ mimarisi geliştirmişlerdir. Bu kapsamda, paket büyüklüğü ve hata kontrol şemalarının ağ performansı üzerindeki etkilerini saha deneyleri aracılığıyla incelemişlerdir. Dong ve Vuran (2013); kablosuz yeraltı algılayıcı ağların değişen çevresel koşullar altında bağlanması, kritik koşullar altında kümelenme boyutu dağılımının modellenmesi ve yeraltı kümeleri için yeni bir yer üstü iletişim kapsama modelinin elde edilmesi çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Elleithy ve Liu (2013), iletişimde güç tüketimi için gelişmiş bir model sunmaktadırlar ve kuru kumun yeraltı iletişimde kablosuz algılayıcı ağların ömrü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Dung, Trang, Choi ve Hwang (2016), zemin altındaki elektromanyetik dalga yoluyla birbirleriyle iletişim halinde olan kablosuz algılayıcı düğümlerin topolojik bağlantı üzerindeki toprak ortamı özelliklerini ve ağ parametrelerinin etkisini incelemişlerdir.

Yu, Wu, Han ve Zhang (2012), kablosuz yeraltı algılayıcı ağları tarımsal kullanım için incelemişlerdir. Ayrıca, yeraltı iletişimin karasal iletişimden çok daha farklı olduğunu vurgulamışlardır. Ağ performansını, farklı frekanslar ve farklı derinlikler için test etmişlerdir. Yu ve diğ. (2012) tarafından yapılan çalışma ile bu makale çalışması kıyaslandığında, toprağın yeraltı-yeraltı ve yeraltı-yerüstü algılayıcı düğüm iletişimine olan etkisini ortaya koyan matematiksel model içermesi bu makale çalışmasının farkını ortaya koymaktadır. Ek olarak, Yu ve diğ. (2012) tarafından yapılan çalışmadan farklı olarak bu makale çalışmasında yol kaybı parametresi yanında alınan sinyal gücü parametresi de grafiksel sonuç olarak sunulmaktadır.

Sun ve Akyildiz (2010), kablosuz yeraltı algılayıcı ağların olasılık tabanlı bağlantı konusunu incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, olasılık tabanlı bağlantı konusunu analiz etmek amacıyla matematiksel model geliştirmişlerdir. Benzetim modeli sonuçları ile farklı ortam ve sistem parametrelerini test etmişlerdir. Sun ve Akyildiz (2010) tarafından yapılan çalışma ile bu makale çalışması kıyaslandığında, toprağın yeraltı-yeraltı ve yeraltı-yerüstü algılayıcı düğüm iletişimine olan etkisini ortaya koyan benzetim modeli parametrelerinin net bir şekilde tablo halinde tanımlanması bu makale çalışmasının farkını ortaya koymaktadır. Ek olarak, Sun ve Akyildiz (2010) tarafından yapılan çalışmadan farklı olarak bu makale çalışmasında yol kaybı parametresi ve alınan sinyal gücü parametresi grafiksel sonuç olarak sunulmaktadır.

Trang, Dung ve Hwang (2018), yeraltı algılayıcı düğümlerin bağlantı konusunu analiz etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, toprak nem oranı parametresini ele almışlardır. Kablosuz yeraltı algılayıcı ağlar için, elektromanyetik dalga sistemini ve geleneksel manyetik indükleme sistemini karşılaştırmışlardır. Trang ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışma ile bu makale çalışması kıyaslandığında, toprağın yeraltı-yeraltı ve yeraltı-yerüstü algılayıcı düğüm iletişimine olan etkisini ortaya koyan benzetim modeli parametrelerinin net bir şekilde tablo halinde tanımlanması bu makale çalışmasının farkını ortaya koymaktadır. Ek olarak, Trang ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmadan farklı olarak bu makale çalışmasında yol kaybı parametresi yanında alınan sinyal gücü parametresi de grafiksel sonuç olarak sunulmaktadır.

Bu makale çalışmasında, toprağın yeraltı-yeraltı ve yeraltı-yerüstü algılayıcı düğüm iletişimine olan etkisi matematiksel olarak benzetim modeli ile incelenmiştir. Ağ yapısının başarımını değerlendirmek amacıyla, alınan sinyal gücü ve yol kaybı parametreleri ele alınmıştır. Yeraltı algılayıcı ağ yapısının matematiksel ve benzetim modelleri, Matlab yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır. Derinlik mesafesi arttıkça, iletişimde yaşanan yol kayıplarının da arttığı gözler önüne

serilmiştir. Elde edilen başarım değerlendirmesi sonuçları, yeraltı algılayıcı ağlarda derinlik tabanlı iletişim için farklı gönderici gücü ile sinyal iletimi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

2. Yeraltı Algılayıcı Ağlar

Algılayıcı ağlar konusu, günümüzde çok aktif bir araştırma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır (Dohare, Maity, Paul ve Prasad, 2016). Ticari tarımdan, güvenlik ve jeolojiye kadar mevcut uygulamaların zenginliği; çeşitli yeraltı koşullarını izleme gereksinimini gün yüzüne çıkarmıştır (Cao, Lu ve He, 2011). Bu bağlamda; tarım, su ve mineral içeriği gibi toprak koşullarını izlemek için özellikle yeraltı algılayıcı düğümler sıklıkla kullanılmaktadır (Zemmour, Baudoin ve Diet, 2017). Algılayıcı düğümler, sıhhi tesisat gibi alt yapıların bütünlüğünü izlemek için de başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Akyildiz ve Stuntebeck, 2006). Ek olarak, toprak kayması ve deprem izleme gibi olağanüstü durumlar da çeşitli algılayıcı düğümler kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Ma, 2012).

2.1. Kullanım alanları

Su ve mineral içeriği gibi yeraltı toprak koşullarını izleme yanında uygun sulama ve gübreleme için veri sağlamak amacıyla da tarım alanında algılayıcı düğümler sıklıkla kullanılmaktadır (Ünsal vd., 2016). Bununla birlikte, bir kablosuz yeraltı algılayıcı ağ sistemi daha verimli toprak bakımı için mevcut yaklaşımlara önemli bir alternatif olarak görülmektedir (Trinchero ve diğ., 2009). Örneğin; kablosuz yeraltı algılayıcı ağların kurulumu mevcut kablolu çözümlerden daha kolay olduğu için, algılayıcı düğümler ayrıntılı veriler sağlamak için daha yoğun bir şekilde konumlandırılabilmektedir (Dong ve Vuran, 2013). Geniş bir algılayıcı düğüm verisi sayesinde tüm bir alanı sulamak yerine, algılayıcı düğümlere bağlı fıskiyeler aktif hale getirilebilmektedir (Kisseleff ve diğ., 2016). Bir sera ortamı göz önüne alındığında, algılayıcı düğümler her bir tesisin bitkisi içine yerleştirilebilmektedir (Nan ve Xue-Li, 2009).

Günümüz altyapı sistemlerinde; borular, elektrik kabloları ve sıvı depolama tankları gibi büyük miktarda yeraltı teçhizatlar bulunmaktadır (Stuntebeck ve diğ., 2006). Kablosuz yeraltı algılayıcı ağlar, bu gibi altyapı sistemlerinin hepsini izlemek için kullanılabilmektedir (Chehri ve diğ., 2006). Örneğin; yer altı tanklarında yakıt depolayan akaryakıt istasyonları düşünüldüğünde, hiçbir sızıntı olmamasından emin olunması yanında tanktaki yakıt miktarının sürekli olarak dikkatli ve doğru bir şekilde izlenmesi gerekmektedir (Akyildiz ve Stuntebeck, 2006).

Konumlarının farkında olan sabit yeraltı algılayıcı düğümler, konum tabanlı servisler için bir işaret olarak kullanılabilmektedir (Tooker, Dong, Vuran ve Irmak, 2012). Örnek olarak, bir yoldan geçerken herhangi bir araba ile iletişim kurmak için yüzeyin altına yerleştirilen algılayıcı düğümler verilebilmektedir (Ünsal ve diğ., 2016). Bu ortamdaki olası bir hizmet, sürücüyü yaklaşmakta olan bir dur işareti veya trafik sinyaline karşı uyarmak olarak düşünülebilir (Chehri ve diğ., 2006). Böyle bir senaryoda, araç yaklaşan sinyal hakkında algılayıcı düğümler sayesinde bilgi alacak ve bunu ilgili aracın sürücüsüne iletecektir (Ndoh ve Delisle, 2005).

Kablosuz yeraltı algılayıcı ağlar, insanların veya nesnelerin yer üstünde mevcudiyetini ve hareketlerini izlemek için de kullanılabilmektedir (Jiang ve diğ., 2009). Yer tespiti için yerleştirilen algılayıcı düğümler, sabit ve konumlarının farkında olmalıdır (Dong ve Vuran, 2013). Bununla birlikte, yer tespitinin aksine, nesnelerin gömülü cihazla doğrudan iletişim yoluyla varlıklarını bildirdiği durumlarda, varlık izleme, bir kişinin veya nesnenin varlığını belirlemek için basınç, akustik veya manyetik özelliklere sahip algılayıcı düğümlerin kullanılmasını gerektirmektedir (Akyildiz ve Stuntebeck, 2006). Bu uygulama, davetsiz misafirleri tespit etmek için algılayıcı düğümlerin bir binanın çevresine yerleştirildiği ev ve iş yeri güvenliği için kullanılabilmektedir (Tooker ve Vuran, 2012). Bu tür bir sistemde, algılayıcı düğümlerin varlıkları gizlendiğinden dolayı, davetsiz misafirlerin farkında olması çok düşük bir ihtimaldir (Elleithy ve Liu, 2013).

2.1. İletişim türleri

Yeraltı iletişim için kullanılan algılayıcı düğümler, yeraltı ya da yerüstü olarak yerleştirilebilen, toplayıcı istasyon haricindeki tüm algılayıcı cihazlardan oluşmaktadır (Dong ve Vuran, 2013). Karasal kablosuz algılayıcı ağlarda olduğu gibi kablosuz yeraltı algılayıcı ağlarda da toplayıcı istasyon tüm verilerin son olarak ulaştığı noktadır (Jiang ve diğ., 2009). Yeraltı iletişimde tüm algılayıcılar aynı derinlikte veya farklı derinlikte olabilmektedir (Ndoh ve Delisle, 2005). Her iki iletişim türü için de algılayıcı cihaz donanımı, verilerin bir toplayıcı istasyona verimli bir şekilde yönlendirilmesini sağlamak için özel olarak tasarlanmaktadır (Dohare ve diğ., 2016).

Cihazların yerleştirildiği derinlik, ağ yapısının ne amaçla uygulandığına bağlı olarak değişmektedir (Cao ve diğ., 2011). Örneğin; basınç algılayıcıları yüzeye yakın yerleştirilirken, topraktaki su algılayıcıları ise bitkilerin köklerine daha yakın yerleştirilmektedir (Akyildiz ve Stuntebeck, 2006). Bu şekilde, yer altı teçhizatı en aza indirilerek ağın maksimum gizliliği sağlanmaktadır (Dung ve diğ., 2016). Sığ derinlikte yerleştirilen cihazlar,

daha düşük yol kayıplarına maruz kalmaktadır (Dong ve Vuran, 2013).

Yeraltı ve yerüstü algılayıcı düğümlerin aynı haberleşme ortamında birlikte yer aldığı teknoloji melez olarak isimlendirilmektedir (Jiang ve diğ., 2009). Kablosuz sinyaller; havada topraktan daha az kayıpla yayılabildiğinden, yerüstü algılayıcı cihazlar daha düşük güç tüketmektedirler (Ndoh ve Delisle, 2005). Melez teknolojide ise, verilerin yeraltından daha az atlama ile yönlendirilmesi sağlanmaktadır (Elleithy ve Liu, 2013).

Ek olarak, karasal cihazlar güç kaynağının değiştirilmesi veya yeniden şarj edilmesi gerektiği durumlarda yeraltı cihazlara göre daha erişilebilir durumdadırlar (Zemmour ve diğ., 2017). Bu nedenle; güç harcamaları bakımından bir seçim yapılması gerektiğinde, daha fazla güç tüketimi gerektiren işlemler yerüstü cihazlar tarafından yapılmaktadır (Dung ve diğ., 2016). Melez topolojinin dezavantajı ise, algılayıcı ağın katı bir yeraltı teknolojisinde olduğu gibi tamamen gizlenememesidir (Akyildiz ve Stuntebeck, 2006).

3. Matematiksel Model ve Benzetim Modeli

Bu çalışmada, algılayıcı düğümlerin birbirleri arasında yeraltı-yeraltı haberleşme ve toplayıcı istasyonlar ile yeraltı-yerüstü haberleşme yaptığı ağ yapısı ele alınmıştır. Düğümler, öncelikle kendisine yakın olan toplayıcı istasyona verilerini aktarmaktadırlar. Eğer bu da direk iletişimle mümkün değilse, diğer düğümler üzerinden ad-hoc bir şekilde verilerini toplayıcı istasyona ulaştırmaktadırlar. Yeraltı algılayıcı düğümler farklı derinliklerde bulunduğundan, alınan sinyal gücü ve yol kaybı parametreleri hesaplanırken derinlik de hesaba katılmaktadır. Algılayıcı düğümün, bulunduğu derinlikten toplayıcı istasyona veri ulaştırana kadar olan mesafenin ifadesi (1)'deki gibidir:

$$d = (x - x_1) + (x_1 - x_2) + (y + x_2) \quad (1)$$

Denklem (1)'de; d toplam uzaklığı, x yeraltı düğümlerin derinliğini ve y toplayıcı istasyonun yerden yüksekliğini temsil etmektedir. x_1 ve x_2 ise, ilgili düğümün toplayıcı istasyona kadar veri ulaştırabilmesi için ad-hoc bir şekilde haberleşme yaptığı diğer düğümlerdir. İlgili düğümün toplayıcı istasyona göre bulunan derinliği sığ ise, verisini direkt olarak (x + y) mesafe ile iletmektedir. Yol kaybı, d hesaba katılarak (2)'deki gibi elde edilmektedir.

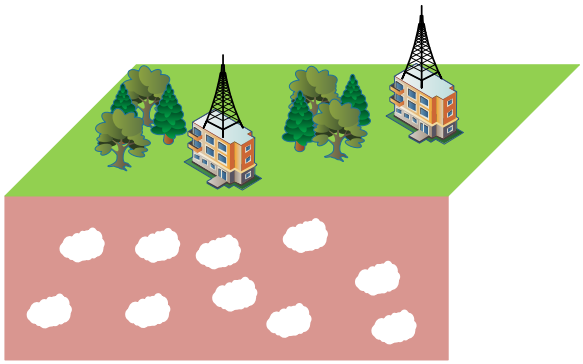
$$yk = 20\ log_{10}(d) + 20\ log_{10}(f) \quad (2)$$

Denklem (2)'de, yk yol kaybını ve f frekansı ifade etmektedir. Yol kaybı temel olarak, derinlik mesafesine ve frekansa bağlı olmaktadır. Alınan sinyal gücü, yk kullanılarak (3)'deki gibi yazılmaktadır.

$$asg = gsg + tk - yk - sz \quad (3)$$

Denklem (3)'te; asg alınan sinyal gücünü, gsg gönderilen sinyal gücünü, tk alıcı-gönderici antenlerin toplam kazancını ve sz toprak veya sulu toprak emiliminden kaynaklanan sinyal zayıflamasını temsil etmektedir.

Şekil 1'de, yeraltı algılayıcı ağ yapısındaki düğümler ve toplayıcı istasyonlar görülmektedir. Yeraltında bulunan algılayıcı düğümlerin farklı derinliklerde olduğu varsayılmıştır. Düğümler, verilerini toplayıcı istasyonlara aktarırken direk olarak aktarma yapabildikleri gibi birbirleri üzerinden ad-hoc bir şekilde de aktarabilmektedirler. Yeraltı algılayıcı düğümler, kendilerine yakın olan toplayıcı istasyonlardan birine verilerini aktarabilmektedirler. Düğümler birbirleri arasında ve toplayıcı istasyon ile kablosuz olarak haberleşmektedirler.



Şekil 1. Yeraltı Algılayıcı Ağ Yapısı

Güç yönetimi için, düğümlerin mümkün olan en düşük enerji tüketimini sağlamaları amacıyla boşta oldukları zamanlarda uyku halinde beklemektedirler.

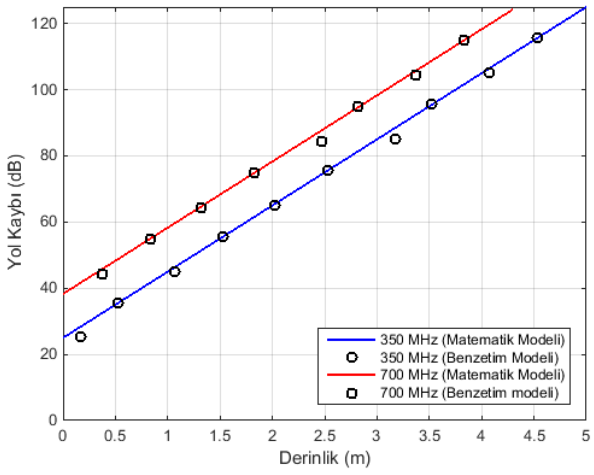
Tablo 1'de, yeraltı algılayıcı ağ yapısının benzetim parametreleri ve değerleri görülmektedir. Frekans değeri, yeraltı algılayıcı ağlarda elektromanyetik dalgalarla haberleşme yapıldığından ve ticari karasal algılayıcı ağlar için kullanımı müsait olduğundan dolayı 315 MHz olarak seçilmiştir. Belli bir derinlik seviyesinden sonra topraktan kaynaklanan zayıflama etkisi ve yol kaybı değerleri sinyali bozmaktadır. Bu sebeple, maksimum 5 metre derinlik ele alınmıştır.

Tablo 1
Benzetim Parametreleri

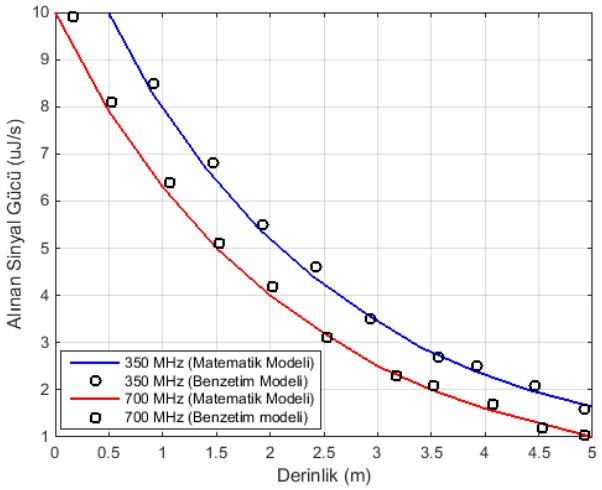
Parametre	Değer
Algılayıcı düğüm sayısı	10
Gönderici gücü	1 w
Alıcı anten kazancı	2 dB
Gönderici anten kazancı	2 dB
Frekans	315 MHz
Maksimum derinlik	5 m

4. Performans Değerlendirmesi

Kablosuz algılayıcı ağ yapısının başarımını değerlendirmek için; derinlik, yol kaybı ve alınan sinyal gücü parametreleri ele alınmıştır. Şekil 2'de, farklı frekanslar için derinliğe göre yol kaybı parametresinin sonuçları görülmektedir. Derinlik 0 ile 5 metre arasında değişirken, yol kaybı dB cinsinden 0 ile 120 arasında değişmektedir. Frekans değerinin 350 MHz seviyesinden 700 MHz seviyesine çıkarılması yol kaybının artmasına sebep olmaktadır. Şekil 3'te, farklı frekanslar için derinliğe göre alınan sinyal gücü parametresinin sonuçları görülmektedir. Alınan sinyal gücünün birimi μJ/s olarak ele alınmıştır. Frekans değerinin 350 MHz seviyesinden 700 MHz seviyesine çıkarılması alınan sinyal gücünün düşmesine sebep olmaktadır.



Şekil 2. Farklı Frekanslar için Derinliğe Göre Yol Kaybı



Şekil 3. Farklı Frekanslar için Derinliğe Göre Alınan Sinyal Gücü

Tablo 2'de, bu çalışmadan elde edilen matematiksel model sonuçları, benzetim modeli sonuçları ve simülatör modelinden elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Matematiksel model sonuçları, Bölüm 3'te türetilen denklemler yardımıyla elde edilmiştir. Simülatör modeli sonuçları, kablosuz algılayıcı ağlar için genel olarak kullanılan Riverbed Modeler yazılımından elde edilmiştir (Riverbed, 2019). Benzetim modeli sonuçları ise, Matlab yazılımı yardımıyla elde edilmiştir (Matlab, 2019).

Tablo 2

Sonuçların Kıyaslanması

Parametre	Mat	Sim	Bnz
Yol Kaybı (2m) (dB)	64	67	63
Yol Kaybı (4m) (dB)	107	113	109
Alınan Sinyal Gücü (2m) (uJ/s)	5,2	4,6	5,1
Alınan Sinyal Gücü (4m) (uJ/s)	2,4	2,1	2,9

Tablo 2'deki sonuçlar, ortalama derinlik değerleri olan 2 metre ve 4 metre için kıyaslanmıştır. Frekans bandı, kablosuz yeraltı algılayıcı ağlar için genel olarak tercih edilen 350 MHz değeri kullanılmıştır. Performans parametreleri olarak, yeraltı algılayıcı ağlar için önemli olan yol kaybı ve alınan sinyal gücü kullanılmıştır. Yol kaybı parametresi dB olarak ve alınan sinyal gücü parametresi uJ/s olarak verilmiştir. Mat, Sim ve Bnz sırasıyla matematiksel model, simülatör modeli ve benzetim modelini temsil etmektedir. Kıyaslanan sonuçların birbirine yakın olması, tasarlanan yeraltı

algılayıcı düğüm iletişim modelinin doğruluğunu ve geçerliliğini ortaya koymaktadır.

5. Tartışma

Yapılan çalışmada, yeraltı algılayıcı ağlar için derinlik faktörünün analizi gerçekleştirilmiştir. 350 Mhz frekans bandının yeraltı algılayıcı düğüm haberleşmesi için daha iyi sonuçlar verdiği gözler önüne serilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda daha çok kömür madeni, mağara vb. boşluklu ortam içeren yeraltı ağlar üzerine çalışmalara rastlanmıştır. Haberleşme ortamının boşluksuz katı bir ortam olduğu topraktaki kablosuz haberleşme üzerine çalışmalara rastlanmamıştır.

6. Sonuçlar

Bu makale çalışması kapsamında, toprağın yeraltı-yeraltı ve yeraltı-yerüstü algılayıcı düğüm iletişimine olan etkisi matematiksel olarak benzetim modeli ile incelenmiştir. Ağ yapısının performansını değerlendirmek için, alınan sinyal gücü ve yol kaybı parametreleri ele alınmıştır. Derinlik mesafesi arttıkça, iletişimde yaşanan yol kayıplarının da arttığı göz önünde bulundurularak iletişimde kayıplar yaşandığı grafiklerle ifade edilmiştir. Elde edilen performans değerlendirmesi sonuçları, yeraltı algılayıcı ağlarda derinlik tabanlı iletişim için farklı gönderici gücü ile sinyal iletimi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Gelecek çalışmalarda, yeraltı algılayıcı ağlarda yaşanan yol kaybı sorununa yönelik çalışmaların yapılması mevcut uygulamada olan sistemlere katkı sağlayacaktır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akyildiz, I. F. & Stuntebeck, E. P. (2006). Wireless underground sensor networks: Research challenges. *Ad Hoc Networks*, 4(6), 669-686. doi: https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2006.04.003

Cao, Z., Lu, H. & He, Q. (2011). Research of underground staff positioning system based on wireless sensor network, *International Conference on Computer Science and Service System (CSSS)*, 600-603, Nanjing.

Chehri, A., Fortier, P. & Tardif, P. (2006). Application of Ad-hoc sensor networks for localization in underground mines, *IEEE Annual Wireless and Microwave Technology Conference*, 1-4, Clearwater Beach, FL.

Dohare, Y. S., Maity, T., Paul, P. S. & Prasad, H. (2016). Smart low power wireless sensor network for underground mine environment monitoring, *3rd International Conference on Recent Advances in Information Technology (RAIT)*, 112-116, Dhanbad.

Dong, X. & Vuran, M. C. (2013). Environment aware connectivity for wireless underground sensor networks, Proceedings *IEEE INFOCOM*, 674-682,Turin.

Dung, L. T., Trang, H. T. H., Choi, S. & Hwang, S. O. (2016). Impact of soil medium on the path connectivity of sensors in wireless underground sensor networks, *International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC)*, 60-64, Hanoi.

Elleithy, A. & Liu, G. (2013). Analysis of the lifetime of wireless sensor networks for underground communications in dry sand, *WAMICON*, 1-6, Orlando, FL.

Jiang, H., Qian, J. & Peng, W. (2009). Energy efficient sensor placement for tunnel wireless sensor network in underground mine, *2nd International Conference on Power Electronics and Intelligent Transportation System (PEITS)*, 219-222, Shenzhen.

Kisseleff, S., Chen, X., Akyildiz, I. F. & Gerstacker, W. (2016). Wireless power transfer for access limited wireless underground sensor networks, *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 1-7, Kuala Lumpur.

Ma, F. (2012). Sensor networks-based monitoring and fuzzy information fusion System for underground Gas disaster, *9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 596-600, Sichuan.

Matlab, S. (2019). Benzetim Yazılımı. Erişim Adresi : https://www.mathworks.com/products/matlab.html

Nan, W. & Xue-Li S. (2009). Research on Nodes Location Technology in Wireless Sensor Network Underground, *Third International Symposium on Intelligent Information Technology Application Workshops*, 273-275, Nanchang.

Ndoh, M. & Delisle, G. Y. (2005). Geolocation in underground mines using wireless sensor networks, *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 229-232, Washington, DC.

Riverbed, M. (2019). Simülatör Yazılımı. Erişim Adresi : https://www.riverbed.com/gb/

Stuntebeck, E. P., Pompili, D. & Melodia, T. (2006). Wireless underground sensor networks using commodity terrestrial motes, *2nd IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks*, 112-114, Reston, VA.

Sun, Z. & Akyildiz I. F. (2010). Connectivity in Wireless Underground Sensor Networks, *7th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON)*, 1-9, Boston, MA.

Tooker, J., Dong, X., Vuran, M. C. & Irmak, S. (2012). Connecting soil to the cloud: A wireless underground sensor network testbed, *9th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON)*, 79-81, Seoul.

Tooker, J. & Vuran, M. C. (2012). Mobile data harvesting in wireless underground sensor networks, *9th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON)*, 560-568, Seoul.

Trang, H. T. H., Dung, L. T. & Hwang, S. O. (2018). Connectivity analysis of underground sensors in wireless underground sensor networks. *Ad Hoc Networks*, 71, 104-116. doi: https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2018.01.002

Trinchero, D., Fiorelli, B., Galardini, A. & Stefanelli, R. (2009). Underground wireless sensor networks, *IEEE 10th Annual Wireless and Microwave Technology Conference*, 1-3, Clearwater, FL.

Ünsal, E., Akkan, T., Akkan, L. Ö. & Çebi, Y. (2016). Power management for Wireless Sensor Networks in underground mining, *24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, 1053-1056, Zonguldak.

Yu, X., Wu, P., Han, W. & Zhang, Z. (2012). Overview of wireless underground sensor networks for agriculture. *African Journal of Biotechnology*, 11(17), 3942-3948. doi: http://dx.doi.org/10.5897/AJBX11.020

Zemmour, H., Baudoin, G. & Diet, A. (2017). Soil Effects on the Underground-to-Aboveground Communication Link in Ultrawideband Wireless Underground Sensor Networks. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 16, 218-221. doi: https://doi.org/10.1109/LAWP.2016.2570298