

Yeraltı Kablosuz Algılayıcı Ağlar için Bulanık Mantık Tabanlı Toplayıcı İstasyon Karar Yaklaşımı

Fuzzy Logic Based Collector Station Decision Approach for Underground Wireless Sensor Networks

Muhammed Enes BAYRAKDAR*

Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 81620, Düzce

• Geliş tarihi / Received: 02.04.2019

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 28.08.2019

• Kabul tarihi / Accepted: 09.09.2019

Öz

Bu makale çalışmasında, yeraltı kablosuz algılayıcı ağlarında kayıpsız veri iletimi yapabilmesi için bulanık mantık tabanlı toplayıcı istasyon karar yaklaşımı önerilmiştir. Algılayıcı düğümlerin enerji tasarruflu kayıpsız veri iletimi yapabilmesi için, toplayıcı istasyon karar işlemleri bulanık mantık yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Önerilen yeraltı kablosuz algılayıcı ağ yapısının benzetim modeli Riverbed yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Matlab yazılımı kullanılarak anlık olarak bulanık mantık tabanlı karar işlemi yapılmıştır. Bulanık mantık sisteminde; enerji, derinlik ve kullanım giriş parametreleri değerlendirilerek toplayıcı istasyon kararı çıkış değeri elde edilmektedir. Kablosuz algılayıcı ağlarda sıklıkla kullanılan iş çıkarma başarımı ve enerji tüketimi parametreleri incelenerek, önerilen yeraltı kablosuz algılayıcı ağ performansı değerlendirilmiştir. Önerilen algılayıcı ağ performansını değerlendirmek için sonuçlara bakıldığında, maksimum iş çıkarma başarım oranı ve ortalama enerji tüketimi ile yeraltı kablosuz algılayıcı ağlarda kayıpsız veri iletimi yapıldığı gözler önüne serilmiştir. Önerilen bulanık mantık sistemi sayesinde; kablosuz algılayıcı ağlar için en uygun toplayıcı istasyon seçimi yapılmakta ve enerji tüketimi mümkün olan en düşük seviyede tutulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Bulanık mantık, kablosuz algılayıcı ağ, toplayıcı istasyon, yeraltı

Abstract

In this paper, fuzzy logic based collector station decision approach is proposed in order to provide lossless data transmission in underground wireless sensor networks. With the aim of allowing the sensor nodes to transmit energy-efficient lossless data, the decision of the collector station is performed with the help of fuzzy logic. The simulation model of the proposed underground wireless sensor network was performed using Riverbed software. Fuzzy logic-based decision processing was performed by using Matlab software. In the fuzzy logic system; collector station decision output value is obtained by evaluating energy, depth and usage input parameters. The proposed underground wireless sensor network performance is evaluated by examining the throughput and energy consumption parameters which are commonly used in wireless sensor networks. When the results are examined to evaluate the proposed sensor network performance, it is revealed that lossless data transmission is performed in underground wireless sensor networks with maximum throughput performance and average energy consumption. Thanks to the proposed fuzzy logic system; the most suitable collector station is selected for wireless sensor networks and energy consumption is kept at the lowest possible level.

Keywords: Fuzzy logic, wireless sensor network, collector station, underground

*Muhammed Enes BAYRAKDAR; muhammedbayrakdar@duzce.edu.tr; Tel: (0380) 542 11 33; orcid.org/0000-0001-9446-0988

1. Giriş

İletişim tekniklerindeki son gelişmelerin yanı sıra, yeraltı ortamdaki algılayıcı ağ uygulamaları da önemli ölçüde artmıştır. Kablosuz yeraltı algılayıcı ağlar, yeraltı kablosuz algılayıcılardan oluşan ve gelecek vaat eden bir çalışma alanıdır. Kablosuz olması sayesinde, kablolu yeraltı izleme teknikleriyle mümkün olmayan birçok farklı uygulamayı yapabilmemize olanak sağlamaktadır. Kablosuz yeraltı algılayıcı ağlar; toprak kayması tahmini, sınır devriyesi, güvenlik, altyapı izleme, toprak durumu izleme, deprem tahmini vb. konularını kapsamaktadır. Ancak; yeraltı iletişimin en zorlu kısmı, katı bir ortam olan yayılma ortamıdır. Bunun ana nedeni, yayılma ortamının hava olduğu karasal kablosuz algılayıcı ağların aksine yayılım ortamının katı bir ortam toprak vb. olmasıdır. Geleneksel karasal kablosuz algılayıcı ağ teknikleri yeraltı toprak ortamında iyi çalışmadığından, yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Literatürde kablosuz yeraltı algılayıcı ağları hakkında çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar enerji verimliliği ve toplayıcı istasyon seçim teknikleri üzerine odaklanmaktadır. Ichihashi ve arkadaşları, park yerlerinde boşluk / doluluk oranını tespit etmek için ParkLotD adlı kamera tabanlı yeni bir sistem hakkında çalışma yapmışlardır (Ichihashi vd., 2009). Lokshina ve Insinga, yeraltı kömür madeni atmosferlerinin izlenmesi ve kontrol işlemleri sırasında alınan gazın dinamik görüntülerin yorumlanması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Ayrıca görüntünün işlenmesi için uygulanan bulanık mantık yöntemlerine dayanan bir karar destek sistemi oluşturmuşlardır (Lokshina vd., 2003). Fischer ve arkadaşları, yeraltı elektrik kablolarında kaçak detektörünün uygulanması sırasında göz önünde bulundurulması gereken sorunlar hakkında genel bilgiler vermişlerdir (Fischer vd., 2004). Xianmin ve Lan, çoklu algılayıcı veri füzyon teorisine dayanan elektrikli kömür kırıcısı için yeni bir gerçek zamanlı kömür nakliye izleme sistemi önermişlerdir (Xianmin vd., 2014). Ichihashi ve arkadaşları, bulanık mantık kümelemesi, parçacık sürüsü optimizasyonu ve hiper parametre ayarına dayanan detektör performansı hakkında bir çalışma yapmışlardır (Ichihashi vd., 2010). Gauss ve Bay, bilinmeyen ortamlarda çalışan bir yeraltı konum keşif robotu için kesin olmayan algılayıcı veriler varlığında bile yörünge belirleyebilen denetimsiz bir bulanık mantık algoritması sunmuşlardır (Gauss ve Bay, 1998). Ahmad ve arkadaşları, tehlikeli operasyonlar sırasında

işçilere yönelik izleme işlemini sağlamak için bulanık mantık kullanan ajan tabanlı kişisel bir izleme sistemi önermişlerdir (Ahmad vd., 2011). Zyada ve arkadaşları, insani yardım için bulanık mantık ve algılayıcı ağ tabanlı kurallar sunmuşlardır (Zyada vd., 2006).

Algılayıcı düğümler çok sınırlı bir güce sahip olduklarından, herhangi bir kablosuz algılayıcı ağ türünde enerji tüketimini azaltmak önemlidir (Ma, 2012). Literatürde, bu konu ile ilgili olarak çok fazla araştırma yapılmaya devam etmektedir (Jaryani vd., 2015). Bununla birlikte; bu araştırmaların çoğu yayılma ortamının hava olduğu karasal kablosuz ağlar için yapılmaktadır (Sinha vd., 1999). Fakat yeraltı ortamı karasal ortamdaki tamamen farklıdır. Çünkü yayılma ortamı hava değil, katı bir ortam olan topraktır (Sinha vd., 2002). Zayıflama ve yol kaybı değerleri yeraltı ortamda, yerüstü ortama göre çok daha fazla yüksektir. Bu nedenle, yeraltı iletişimde enerji tüketimini azaltmanın yollarını araştırmak ve bulmak oldukça önemlidir. Bu şekilde, kablosuz yeraltı algılayıcı ağların ömrünü artırmak mümkün olacaktır. Ek olarak, verilerin güvenilirliği yeraltı iletişimde dikkat gerektiren başka bir önemli özelliktir. Çünkü bit hata oranı yerüstü iletişimden farklı olmaktadır. Günümüzde, kablosuz algılayıcı ağların güvenilirliğini artırmak için yeraltı hata kontrol kodunun kullanımını araştıran birçok çalışma bulunmaktadır (Gupta vd., 2013).

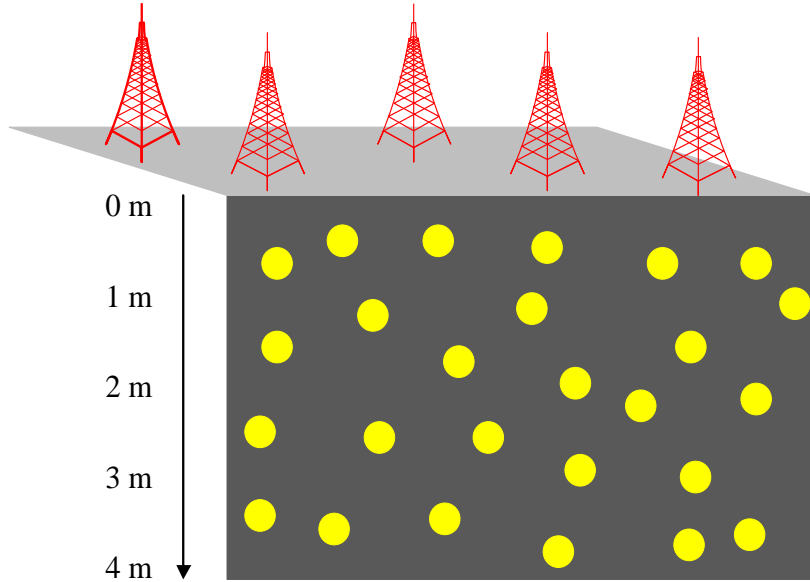
Bununla birlikte, kablosuz yeraltı algılayıcı ağların enerji tüketimini azaltmak için gerçekleştirilen sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Huang vd. kablosuz yeraltı algılayıcı ağlar için sınırlı enerji kaynağı ve topolojiye bağlı toleransı incelemişlerdir (Huang vd., 2018). Bunun yanında, enerji tasarruflu rastgele ölçeksiz bir topoloji modeli ve ayarlanabilir oran endeksli bir güç ağı topoloji yapısı önermişlerdir. Shahooei vd. yeraltı yük taşımacılığı için uygun bir sistem tasarlamayı hedeflemişlerdir (Shahooei vd., 2019). Ek olarak, yeraltı sisteminin enerji tüketimini en az seviyede tutmayı amaçlamışlardır. Alzoubi vd (2019) yeraltı madenleri için talep üzerine dondurma ilkesini deneysel ve matematiksel model yardımıyla elde etmişlerdir. Ayrıca, enerji tüketimini en az seviyede tutarak kayıpsız veri iletimi yapmayı hedeflemişlerdir. Literatürdeki yeraltı algılayıcı ağlar ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, enerji tüketimini en aza indirmek için bulanık mantık kullanan makale bulunmadığı görülmektedir.

Bu makale çalışmasında, yeraltı algılayıcı ağlarda kayıpsız veri iletimi yapabilmesi için bulanık mantık tabanlı toplayıcı istasyon karar yaklaşımı önerilmiştir. Algılayıcı düğümlerin enerji tasarruflu kayıpsız veri iletimi yapabilmesi için, toplayıcı istasyon karar işlemleri bulanık mantık yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Önerilen yeraltı kablosuz algılayıcı ağ yapısının benzetim modeli Riverbed yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Matlab yazılımı kullanılarak anlık olarak bulanık mantık tabanlı karar işlemi yapılmıştır.

2. Bulanık Mantık tabanlı Yeraltı Kablosuz Algılayıcı Ağ Yaklaşımı

Bu makale çalışmasında, yeraltındaki konumlarından dolayı yeniden enerji depolanması

mümkün olmayan yeraltı algılayıcı düğümler ele alınmıştır. Kablosuz yeraltı algılayıcı düğümlerin yeraltı-yeraltı haberleşme gerçekleştirebilmesi için kablosuz yeraltı algılayıcı ağ tasarımı ve benzetimi yapılmıştır. Kablosuz yeraltı algılayıcı düğümler, toplayıcı istasyona veri aktarmak için yeraltı-yerüstü haberleşme gerçekleştirmektedirler. Enerji verimliliği sağlamak için, yeraltı algılayıcı düğümler, verilerini kendilerine en yakın olan toplayıcı istasyona iletmektedirler. Sezilen verilerin doğrudan toplayıcı istasyona aktarılması mümkün değilse, veriler dolaylı bir şekilde diğer yeraltı algılayıcı düğümleri aracılığıyla da toplayıcı istasyona iletebilmektedir.



Şekil 1. Kablosuz yeraltı algılayıcı ağ ortamı

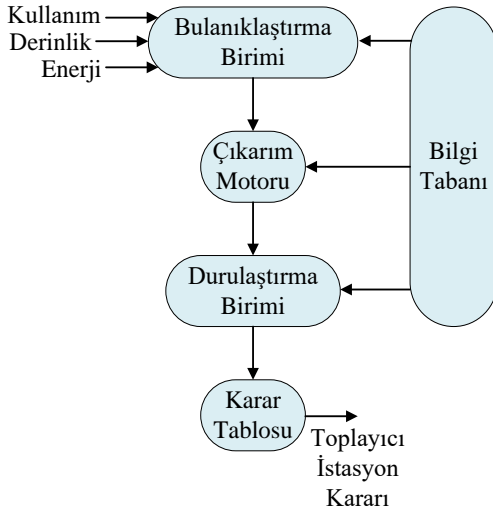
Şekil 1’de, önerilen kablosuz yeraltı algılayıcı ağdaki kablosuz yeraltı algılayıcı düğümler ve toplayıcı istasyonlar görülmektedir. Kablosuz yeraltı algılayıcı düğümlerinin görevi veri toplamaktır. Yüzeğe yakın olan yeraltı algılayıcı düğümler; veri toplama işlemine ek olarak, derin yeraltı algılayıcı düğümlerin toplayıcı istasyonlara veri iletim işlemine yardım etmektedirler. Toplayıcı istasyonların görevi, kendisine gelen sezilen verileri toplamaktır. Toplanan veriler herhangi bir çevrimiçi cihazdan izlenebilmektedir. Kablosuz yeraltı algılayıcı düğümler, herhangi bir veri sezme veya gönderme olmadığında boşta beklemektedirler. Bu durumda, kablosuz yeraltı algılayıcı düğümler uyku durumuna geçerek mümkün olan en düşük enerji tüketimini sağlamaktadırlar. Kablosuz yeraltı algılayıcı düğümler maksimum 4 metre derinliğe

yerleştirilmektedir (Gupta vd., 2013). Sağlıklı bir kablosuz haberleşme, 5 metre derinlikten sonra oldukça azaldığı için benzetim modelinde maksimum derinlik 4 metre olarak ele alınmıştır (Fischer vd., 2004).

Tablo 1. Algılayıcı ağ için kullanılan benzetim parametreleri

Parametre	Değer
Veri oranı	10 kbps
Modülasyon tekniği	Bpsk
Algılayıcı düğüm sayısı	26
Toplayıcı istasyon sayısı	5
Gönderme gücü	800 mw
Veri paketi boyutu	40 byte
İletim frekansı	350 MHz
Maksimum derinlik	4 m

Tablo 1’de, yeraltı algılayıcı ağıın benzetim parametreleri ve değerleri gösterilmektedir. Veri oranı 10 kbps ve modülasyon tekniği bpsk olarak ayarlanmıştır. Buna göre, kablosuz algılayıcı düğüm sayısı 26 ve toplayıcı istasyon sayısı 5 olarak seçilmiştir. Gönderme gücü, maksimum derinlikte olan algılayıcı düğüm dikkate alınarak seçildiği için 800 mw olarak belirlenmiştir. Sezilen veriler için kullanılan veri paketi boyutu 40 bayt olarak ele alınmıştır. İletim frekansı olarak, kablosuz yeraltı düğüm haberleşmesi için uygun olan 350 MHz ayarlanmıştır.



Şekil 2. Önerilen algılayıcı ağıın bulanık mantık blok diyagramı

Şekil 2’de, önerilen kablosuz yeraltı algılayıcı ağı için bulanık mantık sisteminin blok diyagramı verilmiştir. Önerilen bulanık mantık sisteminde, kablosuz haberleşme alanındaki çalışmalarda yaygın olarak tercih edilen Mamdani metodu kullanılmıştır (Muduli vd., 2018). Bulanık mantık sistemi; bulanıklaştırma birimi, çıkarım motoru ve durulaştırma birimlerinden oluşmaktadır. Bulanıklaştırma birimi kesin olan net bir girişi bulanık bir değere dönüştürürken, durulaştırma birimi çıkış değerleri setini kesin olan tek bir net değere dönüştürmektedir. Durulaştırma birimi temel olarak, kural tabanlı çıkarım mekanizmasından gelen bulanık ifadeleri sisteme uygulanabilecek sayısal ifadelere dönüştürmektedir. Bu üç birim sürekli olarak bilgi tabanı ile iletişim halinde olmaktadır. Bilgi tabanı, kural tabanı ve üyelik fonksiyonlarından oluşmaktadır. Bulanıklaştırma biriminde, belirli değerler bulanık veri kümelerine dönüştürülmektedir. Bu bulanık kümeler çıkarım motorunda işlendikten sonra, durulaştırma birimi bunları sayısal değerlere dönüştürmektedir. Durulaştırma biriminden sonra, son bir aşama olarak karar tablosu bulunmaktadır. Karar tablosu

biriminde, durulaştırma biriminden gelen sayısal değerlere göre toplayıcı istasyon kararı verilmektedir. Çıkış değeri olan toplayıcı istasyon kararı; kullanım, derinlik ve enerji giriş değerleri kullanılarak elde edilmektedir. Üyelik fonksiyonları için üç giriş parametresi ve bu üyelik fonksiyonları için üç farklı seviye bulunmaktadır.

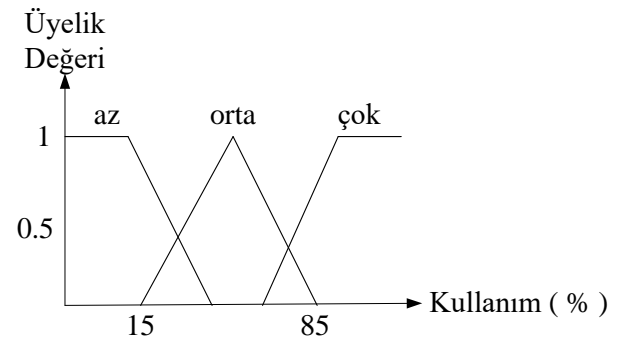
Şekil 3’te, bir yeraltı algılayıcı düğümün kullanımı için üyelik fonksiyonları gösterilmektedir. Algılayıcı kullanımı, bir düğümün sezdiği veri trafiği olarak tanımlanmaktadır. Düğümlerin kullanımı %0 ile %100 arasında değişmektedir. Az, orta ve çok olmak üzere 3 seviye bulunmaktadır.

Şekil 4’te bir yeraltı algılayıcı düğümün derinliği için üyelik fonksiyonları gösterilmektedir. Düğümlerin derinliği 0 metre ile 4 metre arasında değişmektedir. Az, orta ve çok olmak üzere 3 seviye bulunmaktadır. Derinlik, toplayıcı istasyonu kararı için en etkili parametredir.

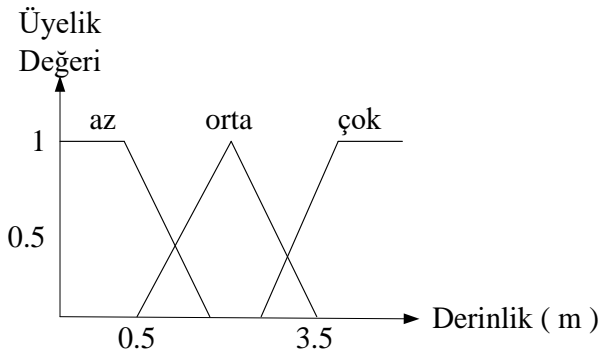
Şekil 5’te bir yeraltı algılayıcı düğümünün kalan enerjisi için üyelik fonksiyonları gösterilmektedir. Düğümlerinin kalan enerjisi, 0 joule ve 8 joule arasında değişmektedir. Düşük, orta ve yüksek olmak üzere 3 seviye bulunmaktadır.

Şekil 6’da toplayıcı istasyon kararı için üyelik fonksiyonları görülmektedir. Çıkış olarak, toplayıcı istasyonun çok yakın, yakın veya uzak olması gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır. Toplayıcı istasyon kararının çok yakın olması düşük enerji tüketimi avantajı sağlamaktadır. Fakat tüm algılayıcı düğümlerin en yakın toplayıcı istasyon ile haberleşme yapmak istemesi sonucunda, veri trafiği yoğunluğundan dolayı çarpışmalar ve gecikmeler meydana gelebilmektedir.

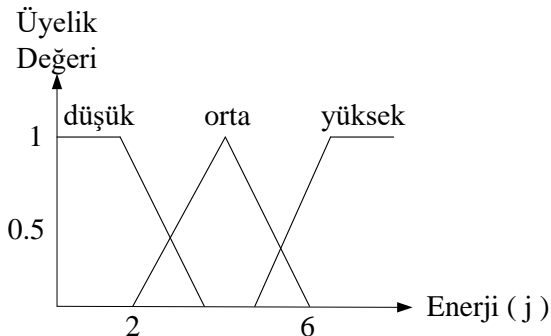
Tablo 2’de, toplamda 27 kuraldan oluşan kural tablosundaki tüm kurallar görülmektedir.



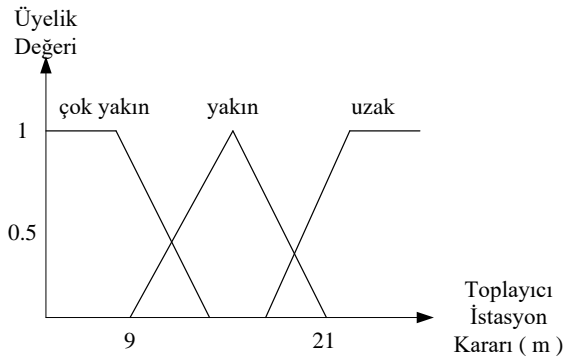
Şekil 3. Kullanım parametresinin üyelik fonksiyonları



Şekil 4. Derinlik parametresinin üyelik fonksiyonları



Şekil 5. Enerji parametresinin üyelik fonksiyonları



Şekil 6. Toplayıcı istasyon kararı üyelik fonksiyonları

Tablo 2. Bulanık mantık sisteminin kural tablosu

Kurallar
Eğer (kullanım orta ise) ve (derinlik çok ise) ve (enerji düşük ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı çok yakın) olur
Eğer (kullanım az ise) ve (derinlik az ise) ve (enerji düşük ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı yakın) olur
Eğer (kullanım çok ise) ve (derinlik çok ise) ve (enerji yüksek ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı çok yakın) olur
Eğer (kullanım orta ise) ve (derinlik çok ise) ve (enerji orta ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı uzak) olur

Tablo 2. devamı

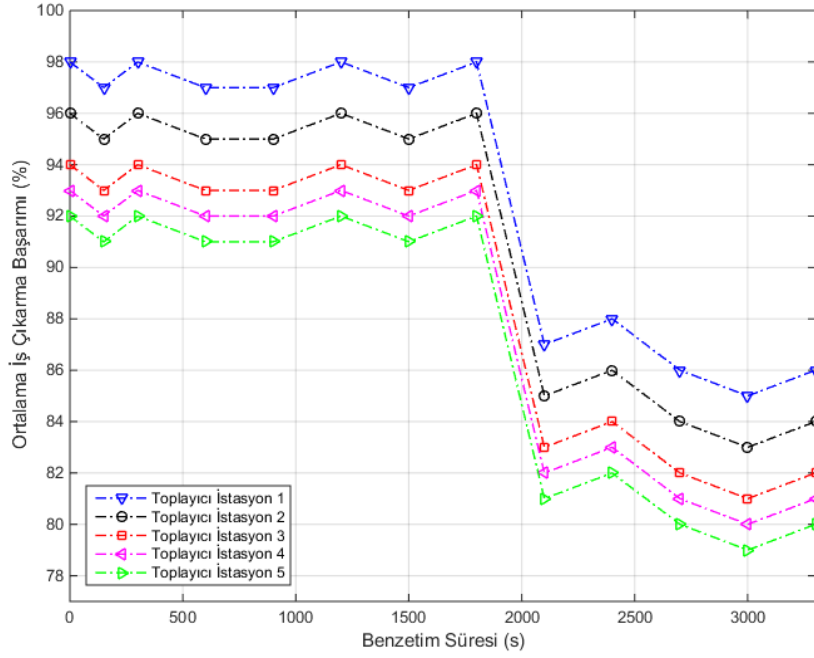
Kurallar
Eğer (kullanım orta ise) ve (derinlik çok ise) ve (enerji yüksek ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı çok yakın) olur
Eğer (kullanım orta ise) ve (derinlik orta ise) ve (enerji yüksek ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı çok yakın) olur
Eğer (kullanım orta ise) ve (derinlik orta ise) ve (enerji orta ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı yakın) olur
Eğer (kullanım orta ise) ve (derinlik orta ise) ve (enerji düşük ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı uzak) olur
Eğer (kullanım orta ise) ve (derinlik az ise) ve (enerji yüksek ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı çok yakın) olur
Eğer (kullanım orta ise) ve (derinlik az ise) ve (enerji orta ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı uzak) olur
Eğer (kullanım orta ise) ve (derinlik az ise) ve (enerji düşük ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı çok yakın) olur
Eğer (kullanım az ise) ve (derinlik çok ise) ve (enerji düşük ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı yakın) olur
Eğer (kullanım az ise) ve (derinlik çok ise) ve (enerji orta ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı yakın) olur
Eğer (kullanım az ise) ve (derinlik çok ise) ve (enerji yüksek ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı yakın) olur
Eğer (kullanım az ise) ve (derinlik orta ise) ve (enerji yüksek ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı uzak) olur
Eğer (kullanım az ise) ve (derinlik orta ise) ve (enerji orta ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı çok yakın) olur
Eğer (kullanım az ise) ve (derinlik orta ise) ve (enerji düşük ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı çok yakın) olur
Eğer (kullanım az ise) ve (derinlik az ise) ve (enerji yüksek ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı yakın) olur
Eğer (kullanım az ise) ve (derinlik az ise) ve (enerji orta ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı yakın) olur
Eğer (kullanım çok ise) ve (derinlik çok ise) ve (enerji orta ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı çok yakın) olur
Eğer (kullanım çok ise) ve (derinlik çok ise) ve (enerji düşük ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı çok yakın) olur
Eğer (kullanım çok ise) ve (derinlik orta ise) ve (enerji yüksek ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı uzak) olur
Eğer (kullanım çok ise) ve (derinlik orta ise) ve (enerji orta ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı yakın) olur
Eğer (kullanım çok ise) ve (derinlik orta ise) ve (enerji düşük ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı uzak) olur
Eğer (kullanım çok ise) ve (derinlik az ise) ve (enerji yüksek ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı çok yakın) olur
Eğer (kullanım çok ise) ve (derinlik az ise) ve (enerji düşük ise) o zaman (toplayıcı istasyon kararı yakın) olur

3. Performans Analizi

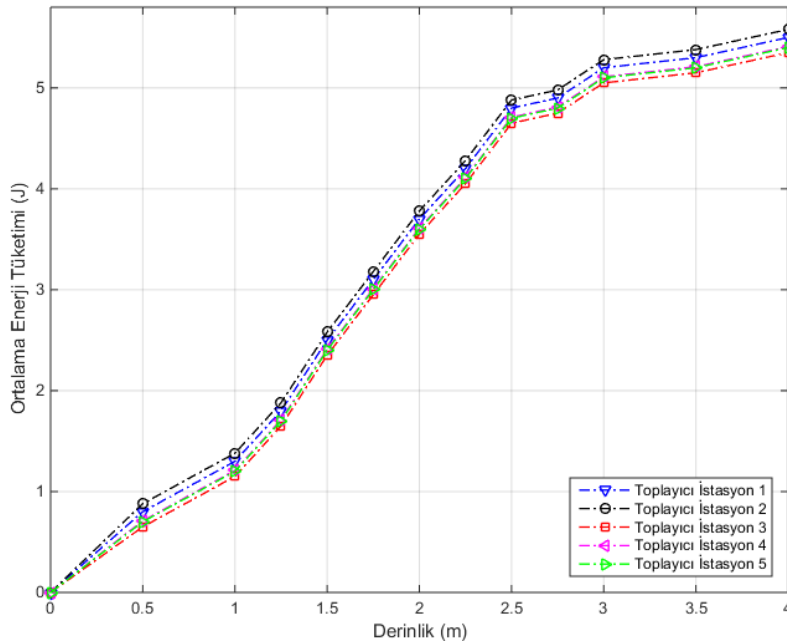
Şekil 7’de, toplayıcı istasyonların her biri için ortalama iş çıkarma başarımları sonuçları görülmektedir. Ortalama iş çıkarma başarımları %80 ile %98 arasında değişiklik göstermektedir. Ortalama iş çıkarma başarımları, 2000 saniye sonunda tüm toplayıcı istasyonlar için %10 oranında düşüş göstermektedir. Bunun nedeni, derinlikten dolayı enerjisi tükenen düğümlerin iletişimde kayıplara sebep olmasıdır. İletişimde yaşanan aksaklıklar veri paketlerinin teslim

edilememesine ve ortalama iş çıkarma başarımlarının düşmesine yol açmaktadır.

Şekil 8’de, toplayıcı istasyonların her biri için derinliğe göre ortalama enerji tüketimi sonuçları görülmektedir. Enerji tüketimi 0 ile 6 J arasında değişmektedir. Ortalama enerji tüketimi, tüm toplayıcı istasyonlar için derinlikle yaklaşık olarak doğru orantılı bir şekilde artmaktadır. Bunun sebebi, derinlik arttıkça iletişimin zorlaşması ve daha çok enerji tüketimi gerektirmesidir.



Şekil 7. Ortalama iş çıkarma başarımları



Şekil 8. Derinliğe göre ortalama enerji tüketimi

4. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, yeraltı kablosuz algılayıcı ağlarında kayıpsız veri iletimi yapılabilmesi için bulanık mantık tabanlı toplayıcı istasyon karar yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yeraltı kablosuz algılayıcı ağ yapısının benzetim modeli Riverbed yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Matlab yazılımı kullanılarak anlık olarak bulanık mantık tabanlı karar işlemi yapılmıştır. Yeraltı kablosuz algılayıcı ağ performansını değerlendirmek için iş çıkarma başarımı ve enerji tüketimi parametreleri incelenmiştir. Performans değerlendirme sonuçları incelendiğinde; ortalama enerji tüketimi ile maksimum iş çıkarma başarım oranının yeraltı kablosuz algılayıcı ağlarda elde edilebileceği gösterilmiştir. Bu koşullar altında; en uygun toplayıcı istasyon seçimi yapılarak enerji tüketiminin mümkün olan en az seviyede tutulması sağlanmıştır.

Önerilen bulanık mantık tabanlı toplayıcı istasyon karar yaklaşımı sayesinde, en uygun toplayıcı istasyon seçimi yapılmıştır. Bulanık mantık kullanılmadan tasarlanan algılayıcı ağlarda, toplayıcı istasyon seçimi gelişigüzel bir şekilde yapılmaktadır. Rastgele yapılan toplayıcı istasyon seçimleri de enerji tüketimini artırmakta ve veri kayıplarından dolayı iş çıkarma başarımını önemli ölçüde düşürmektedir. Bu sebeple, rastgele toplayıcı istasyon seçim işlemi tercih edilmemektedir. Önerilen bulanık mantık tabanlı sistemin %90 üzerinde ortalama iş çıkarma başarımı göstermesi, paket kayıplarının çok düşük oranda yaşandığını göstermektedir. Çok düşük paket kayıpları, önerilen algılayıcı ağ toplayıcı istasyon seçim yaklaşımının istikrarlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Yeraltı kablosuz algılayıcı ağlar, gün geçtikçe kullanım alanı artan bir konu haline gelmiştir. Bu kapsamda; yeraltı maden ocaklarından, tarımsal uygulamalara kadar çok geniş bir yelpazede kolaylıklar sağlayabilecek algılayıcı düğümler bulunmaktadır. Örneğin; tarımsal alanda toprak altındaki nem, sıcaklık durumu, mineral tespiti vb. değerlerin sürekli olarak takip edilmesi elzemdir. Buna benzer alanlarda çalışmalar yaparak, enerji tüketimini verimli hale getirmek oldukça önemlidir.

Teşekkür

Değerli desteklerinden dolayı kıymetli Eşim Sümeyye ve kızım Asel'e çok teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Ahmad A H, Jaafar J, Mahmood A K, Agent-based personal monitoring system simulation using type-2 fuzzy, National Postgraduate Conference, 2011, Kuala Lumpur, pp. 1-5.
- Alzoubi M A, Zueter A, Nie-Rouquette A, Sasmito A P, Freezing on demand: A new concept for mine safety and energy savings in wet underground mines. *Int J Min Sci Technol* 2019; 29(4): 621-627.
- Fischer D, Szabados B, Poehlman S, Combining neural networks, fuzzy logic, and Kalman filtering in an oil leak detector for underground electric power cables, *Proceedings of the 21st IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IEEE Cat. No.04CH37510)*, 2004, Como, pp. 2099-2104.
- Gauss V A, Bay J S, A fuzzy logic solution for navigation of an autonomous subsurface planetary exploration robot, *Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on Intelligent Control (ISIC) held jointly with IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA) Intell*, 1998, Gaithersburg, MD, USA, pp. 559-564.
- Gupta S, Kumar P, Karmakar N C, Palei S K, Quantification of human error rate in underground coal mines - A fuzzy mapping and rough set based approach, *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 2013, Bangkok, pp. 140-144.
- Huang Y R, Chen Z P, Han T, Liu X T, One energy-efficient random-walk topology evolution method for underground wireless sensor networks. *Int J Distrib Sens N* 2018; 19(9): 1-9.
- Ichihashi H, Katada T, Fujiyoshi M, Notsu A, Honda K, Improvement in the performance of camera based vehicle detector for parking lot, *International Conference on Fuzzy Systems*, 2010, Barcelona, pp. 1-7.
- Ichihashi H, Notsu A, Honda K, Katada T, Fujiyoshi M, Vacant parking space detector for outdoor parking lot by using surveillance camera and FCM classifier, *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 2009, Jeju Island, pp. 127-134.
- Jaryani S, Broumandnia A, Oghani M A, Improving routing in wireless sensor networks having mobile sinks through fuzzy algorithm, *2nd International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation (KBEI)*, 2015, Tehran, pp. 497-503.

- Lokshina I V, Insinga R C, Decision support system of ventilation operator based on fuzzy methods applied to interpretation and processing of gas-dynamic images, SympoTIC'03, Joint 1st Workshop on Mobile Future and Symposium on Trends in Communications, 2003, Bratislava, Slovakia, pp. 84-89.
- Ma F, Sensor networks-based monitoring and fuzzy information fusion System for underground Gas disaster, 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2012, Sichuan, pp. 596-600.
- Muduli L, Jana P K, Mishra D P, Wireless sensor network based fire monitoring in underground coal mines: A fuzzy logic approach. *Process Saf Environ* 2018; 113: 435-447.
- Shahooei S, Mattingly S P, Shahandashti M, Ardekani S, Propulsion system design and energy optimization for autonomous underground freight transportation systems. *Tunn Undergr Sp Tech* 2019; 89: 125-132.
- Sinha S K, Karray F, Classification of underground pipe scanned images using feature extraction and neuro-fuzzy algorithm. *IEEE Trans Neural Netw* 2002; 13(2): 393-401.
- Sinha S K, Karray F, Fieguth P W, Underground pipe cracks classification using image analysis and neuro-fuzzy algorithm, *Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Control Intelligent Systems and Semiotics (Cat. No.99CH37014)*, 1999, Cambridge, MA, USA, pp. 399-404.
- Xianmin M, Lan L, Monitoring System of Coal Electrical Haulage Shearer Based on Data Fusion Theory, *International Symposium on Computer, Consumer and Control*, 2014, Taichung, pp. 231-234.
- Zyada Z, Kawai Y, Matsuno T, Fukuda T, Sensor Fusion Based Fuzzy Rules Learning for Humanitarian Mine Detection, *SICE-ICASE International Joint Conference*, 2006, Busan, pp. 1860-1865.