

## Hareketli kablosuz yeraltı algılayıcı ağlar kullanılarak enerji etkin maden güvenlik sistemi geliştirilmesi

Arafat Şentürk<sup>1\*</sup>, Zehra Karapınar Şentürk<sup>2</sup>

*20.03.2015 Geliş/Received, 04.05.2015 Kabul/Accepted*

### ÖZ

Bu çalışmada, Kablosuz Yeraltı Algılayıcı Ağ'ların (KYAA) uzaktan çevre verilerini alma ve iletme, birbirleri arasında iletişim kurabilme ve organize olabilme yetenekleri kullanılmıştır. KYAA'ların bu yetenekleri sayesinde, maden ocaklarında açığa çıkan ve burada çalışan madenciler için tehlike oluşturan metan gazının yoğunluğu ölçülmüştür. Bu gaz yoğunluğunun madencileri zehirlenme veya patlama seviyesine gelmeden önce erken uyarı vererek madencilere önlem almaları için zaman kazandırması amacı ile Maden Güvenlik Bilgi Sistemi benzetimi yapılmıştır. Daha önceden yapılmış çalışmalardan farklı olarak, maden ocağına kurulan özel bir raylı sistem sayesinde, sabit veya gereğinden fazla kullanılan düğümler yerine, az sayıda ve hareketli düğümler kullanılmıştır. Bu durumda, düğüm ve enerji maliyetinin en iyi seviyeye çekildiği gerçekleştirilen benzetim sonuçları aracılığı ile ispatlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kablosuz yeraltı algılayıcı ağlar, maden güvenlik sistemi, enerji verimliliği

## Development of an energy-efficient mine security system by using mobile wireless underground sensor networks

### ABSTRACT

In this study, some abilities of Wireless Underground Sensor Network (WUSN) such as retrieving/transmitting remote environmental data, communication between each other and self organization were used. With the help of these abilities of WUSNs the density of methane gas, which exposes in pits and poses danger for miners, has been measured. There is a system simulation for Mine Security Information System which warns miners before the gas density reaches to poisonous or explosive levels to gain time for taking precautions. Different from the previous studies, instead of using too many stationary sensors, less number of mobile nodes are used. This is provided by a special rail for each node. The nodes move along its own rail path between starting point to the end. Thus, node and energy costs have been decreased and this is proved with simulation results.

**Keywords:** Wireless Underground Sensor Network, mine security system, energy efficiency

---

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1 Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Düzce - arafatsenturk@duzce.edu.tr

2 Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Düzce - zehrakarapinar@duzce.edu.tr

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kablosuz Yeraltı Algılayıcı Ağ'lar (KYAA), yeraltı şartlarının izlenmesinde var olan yöntemlerin aksine, tamamen toprak altına dağıtılırlar. KYAA'lar, mevcut yeraltı algılama çözümlerinden daha basit haldedirler. KYAA'ların kurulumu mevcut kablolu çözümlere göre daha kolay olduğundan, algılayıcılar yeraltına daha yoğun şekilde dağıtılarak verinin sıklığı artırılabilir. Bir KYAA tarafından sunulan hizmet, mevcut karasal tarım KAA'larına göre daha cazip ve geniş bir çözüm sunar. KYAA'larda veriyi gönderen ve alan algılayıcı cihazlar, tamamen toprak altına dağıtılır. Kablosuz iletişim, toprak ya da kaya gibi yoğun maddeler arasında da hızlıdır. Her algılayıcı, bellek, işlemci, anten ve güç kaynağı içermektedir. Mevcut ve potansiyel yeraltı uygulamaları dört kategoride sınıflandırılabilir: çevresel izleme, altyapı izleme, konum belirleme ve güvenlik izlemedir [1].

Yapılan literatür taramasına göre KYAA'lar kullanılarak daha önceden yapılan maden güvenlik sistemlerinde yeraltına yerleştirilen algılayıcılarla melez bir ağ topolojisi oluşturulduğu ve çok sayıda algılayıcı düğüm kullanıldığı sonucuna varılmıştır. Bu şekilde yerleştirilen algılayıcı düğümlerin hem düğüm maliyeti hem de düğümlerin harcadığı enerji maliyetinden dolayı çok kullanışlı olmadığı elde edilen verilerden anlaşılmıştır. Bu eksiklikleri gidermek adına bu çalışmada, maden ocaklarına kurulan özel bir raylı sistem sayesinde, düğümler hareket edebilecektir. Böylece, düğüm sayısının azalmasıyla düğüm maliyetinden tasarruf sağlanması, az düğüm kullanıldığı için enerji verimliliği artırılması ve dolayısıyla ağ ömrünün uzatılması planlanmaktadır. Diğer taraftan, çok fazla düğüm kullanılması uygulamanın verimliliği ve yönetimi açısından da sorun oluşturabilir. Fazla sayıda düğümün ağ trafiğinde sıklıkla ve hata tespitinin zorlaşmasına sebep olacağı da ön görülmektedir. Dolayısıyla, az düğüm kullanmak sadece enerji ve maliyet açısından verimlilik sağlamayacak aynı zamanda, ağ trafiğini de kolaylaştıracaktır.

Problemleri çözmek amacıyla önerilen metotta, düğümler dinamik olarak kullanılarak fazla sayıda sabit düğüm yerine, 10 adet hareketli düğüm kullanılacak ve 24 saat boyunca maden ocağındaki metan gazı hareketliliği izlenecektir. Bu durumda enerji ve maliyetten tasarruf edilerek ağ ömrünün uzatılması planlanmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde KYAA'ların maden ocaklarında kullanım alanlarından bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde ise, geliştirilen sistemden detaylı bir şekilde bahsedilerek, sistemin benzetimi ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Dördüncü bölümde de çalışma sonuçlandırılmıştır.

## 2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR (RELATED STUDIES)

KYAA'lar birçok alanda kullanıma açıktır. Yeraltı algılamadaki güncel teknoloji gömülü bir algılayıcı dağılımından oluşur. Algılayıcı ağ teknolojisindeki uygulamaların faydaları açık iken, yeni ve daha çeşitli kullanım eksikliklerini ortadan kaldırırlar. Güvenlik, navigasyon, ticari tarım ve jeoloji gibi potansiyel uygulamaların zenginliği ve çeşitli yeraltı durumlarının izlenmesi için KYAA'ların kabiliyetlerinin önemi giderek artmıştır. Özellikle, tarım, su ve mineral içeriği gibi toprak koşullarını izlemek için yeraltı algılayıcılarının kullanımı giderek artmıştır [1].

Endüstriyel güvenlik sektörü, özel madencilik sektörünün ana unsurlarından biridir. Madencilik sektöründe güvenlik çok önemli bir faktördür. İstenmeyen olayları önlemek için sektörde bazı temel önlemler alınmaktadır [2]. Maden ocağında farklı parametreleri izlemek ve tehlikelere karşı her türlü önlem almak sanayi kuruluşu için ana faktördür. Malzeme kaybı ve daha da önemlisi madencilerin can güvenliğini korumak için kablosuz bir sistem geliştirilmesi gerekmektedir. Madenlerde güvenliği ve verimliliği arttırmak için maden içerisinde güvenilir bir iletişim kurmak gerekir. Bunun için de işçiler arasında kurulan sabit bir baz istasyonu olmalıdır. Maden içerisinde, kablolu iletişim yeteri kadar etkili değildir. Zorlu maden koşullarında iletişim sistemlerinin uzun ömürlü ve güvenilir olmaması her zaman bir sorun oluşturmuştur. Madenlerin iç kısımlarında kurulum ve bakım maliyeti kablolu iletişim ağları için her zaman yüksek olmuştur. Heyelan veya hasar gibi herhangi bir nedenle madenlerin çökmesi sonrasında kablolu haberleşme sistemini yeniden kurmak çok zordur olacaktır. Herhangi bir çökme durumunda işçiler ile iletişim sürekliliğini sağlamak için ve maden içinde sıkışmış işler gerçek konum ve durumlarını belirlemek hayati önem taşımaktadır. Buna göre, maden izleme sistemleri geliştirerek sıcaklık, basınç, yanıcı ve zehirli gaz tespiti ve gerçek zamanlı yeraltını izleme, felaketlerden korunmak açısından oldukça önemlidir [3].

Kablosuz Algılayıcı Ağ'a (KAA) dayalı kömür madeni güvenliği izleme sistemi yeraltı bölgelerdeki personelin dinamik durumunu yansıtabilir [4]. Boş alanda yayılan ve değişim gösteren melez bir tünel için radyo yayılma modeli önerilmiştir [5]. Ancak, madenlerde içeride bu popüler radyo iletişimi kullanmanın bazı dezavantajları vardır. Radyo sinyalleri iletildiğinde, kırılma, zayıflama, çoklu-yol ve saçılma meydana gelir ki bunlar sistem için çok ciddi sonuçlara sebep olabilir [6]. Madenciler ile kontrol merkezinden kablosuz konuşma yoluyla bilgi alışverişi yapılabilir. Bu çevre parametreleri üzerinde gerçek zamanlı veri almak ve aktarmak uygundur,

böylece olası güvenlik sorunları erken uyarı sistemi tarafından önlenabilir. Bu avantajları sahip olmak için kablosuz iletişimin yeraltı madenlerinde hızlı, doğru, esnek ve güvenilir olması gerekir.

Mevcut kömür madeni izleme sistemlerinin aksine, KYAA'lar ile oluşturulan düğümler büyük ölçekli dağıtım için küçük, hafif ve kolay kurulumuna sahiptir. Ayrıca KYAA'lar veriyi toplama ve iletimini kablosuz radyolarda olduğu gibi, düğümlerle bağlantılı algılayıcılar ile kablo kısıtlaması olmaksızın daha esnek hale getirirler. Ayrıca, düğümlerin büyük ölçekli ve esnek dağıtım olması madencilerin lokalizasyonunu daha iyi hale getirir. Bu nedenle, Kömür Madeni Güvenlik Bilgi Sistemi tasarımı bu yeni teknoloji ile yeni bir yöntem uygulamak için önemli ve çok kullanışlı çözümdür [7].

Maden ocaklarında güvenlik sistemleri ile ilgili çalışma gerçekleştiren C.Qiang ve ark. ZigBee tabanlı akıllı sistemi düşünmüşlerdir. Madencilerin kasklarına yerleştirmeyi düşündükleri ZigBee tabanlı KAA'lar sayesinde maden ocağındaki sıcaklık, nem ve metan gazının değerini gerçek zamanlı olarak izleyeceklerini ve kömür üretimindeki potansiyel güvenlik sorunlarının azaltacaklarından bahsetmişlerdir. Çalışmalarının devamında düşük maliyet ve düşük güç ile ZigBee tabanlı KAA sisteminin özgün tasarımı sunulmuştur. Bunu hızlı ve kolay kurulum ile güvenilir bir sistem olarak tanımlamışlardır [8]. Ancak, madenlerde çok fazla işçi olması sebebi ile fazla sayıda algılayıcı kullanımı maliyet açısından verimsiz sonuçlar doğurabilmektedir. [9]'da KAA'lar kullanılarak füzyon ile kömür ve gaz patlaması tahmini için yeni bir karar verme yaklaşımı önerilmiştir. Bu yaklaşımda sinir ağları kullanılarak algılayıcılar arasında kümeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Maden içerisinde algılayıcıları oluşturdukları teoriye göre kümeleme işlemi yapılmıştır. Daha sonra madende gaz patlaması durumunu benzetim ile sistemin verimliliğini ve etkinliğini kanıtlamışlardır.

Başka bir madencilik uygulamasında ise olası bir göçük veya heyelan durumunda madencinin yerini tespit ederek kurtarılmasına yardımcı olmak için dağıtılan yeraltı algılayıcı düğümlerine bağlı KYAA'lardır. Bu tür uygulamada algılayıcılar yüksek hassasiyetli, yeraltı ortamlara uygun, düşük enerji tüketen bir mikrofon içerir. ZigBee kablosuz konumlandırma cihazları ile bu sistemin ölçeklenebilirliği artırılacak ve gelecekte yeraltı madencilerinin buldukları konum doğru bir şekilde hesaplanabilecektir [1]. Mikrofonlarla KYAA cihazları aynı zamanda, sesleri duyabilecekleri için yeraltı hayvanlarının kendi doğal ortamlarında incelenilebileceği farklı uygulamalar içinde de kullanılabilirler.

### 3. GELİŞTİRİLEN SİSTEM ( THE DEVELOPED SYSTEM)

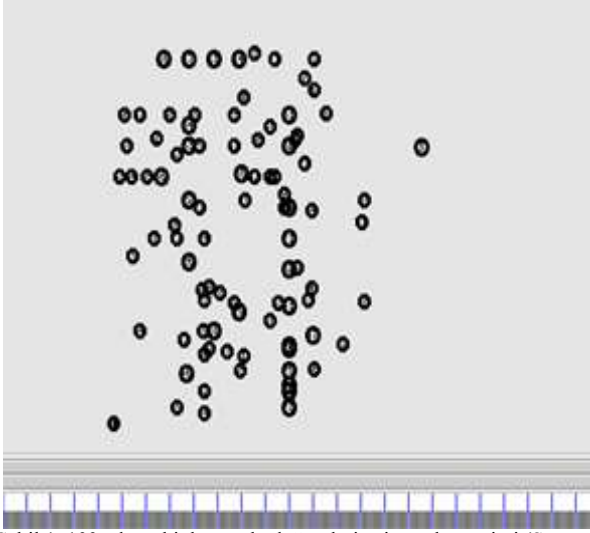
Q. Cheng ve ark. [8]'nin çalışmalarında, kablosuz algılayıcılar her bir madencinin kaskına yerleştirilmiştir. Bu durumda, orta seviyede bir maden ocağı düşünüldüğünde ortalama 100 adet madenci çalışırsa, algılayıcı sayısı madencilerin sayısına eşit olduğundan 100 adet de düğüm kullanılması gerekmektedir. Bu düğümler, madencilerin çok fazla hareket şansı olmadıklarından ve devamlı aynı bölgede çalışmak zorunda olduklarından dolayı kısmen sabit olarak düşünülebilir. Geliştirdiğimiz sistemde, 100 adet kısmen sabit düğüm yerine 10 adet hareketli düğüm kullanılarak hem toplam düğüm maliyetinden hem de toplamda harcanan enerjiden büyük oranda kazanç sağlanacaktır. Ayrıca, [8]'de gerçekleştirilen akıllı kask sisteminde madencilerin hepsinin bir arada oldukları durumlarda sistemin yeterince kullanışlı olmayacağı ve düğümlerin kapsama alanından dolayı hata verme ihtimalinin yüksek olacağı düşünülmektedir. Bu sebepten [8]'deki çalışmada maden ocağına kurulan kablosuz ağ çok verimli olmayacaktır. Ancak, geliştirdiğimiz metotta, düğümler kapsama alanı dışına çıkmamaktadır ve çok fazla düğüm olmadığından baz istasyonunda meydana gelen karışıklıklar yaşanmayacaktır. Ayrıca, paket gönderimi esnasında ortaya çıkacak paket çakışmalarının azalacağı düşünülmektedir.

#### 3.1. Sistemin Benzetimi ve Değerlendirilmesi (System Simulation and Evaluation)

Bu çalışmada, benzetim aracı olarak Network Simulation-2 (NS-2) kullanılmıştır. Tablo 1'de benzetimde kullanılan parametreler ve değerler verilmiştir. Ortalama bir maden ocağında 100 işçi çalıştığı varsayımıyla, maden ocağına 100 adet kısmen sabit konumlu düğümler yerleştirilmiştir. Yani işçilerin çalışır durumda çoğu zaman sabit oldukları düşünülmüştür. Yerleştirilen düğümler birbirleri ve baz istasyonu ile iletişim kurmaktadırlar. Simülasyonda, algılayıcıların konumu maksimum alana yayılma ve minimum düğüm sayısı olacak şekilde ayarlanmıştır. Daha sonra bu algılayıcıların harcadıkları toplam enerji hesaplanmıştır. Şekil 1'de 100 adet sabit konumlu düğümün sistem benzetim çıktısı yer almaktadır.

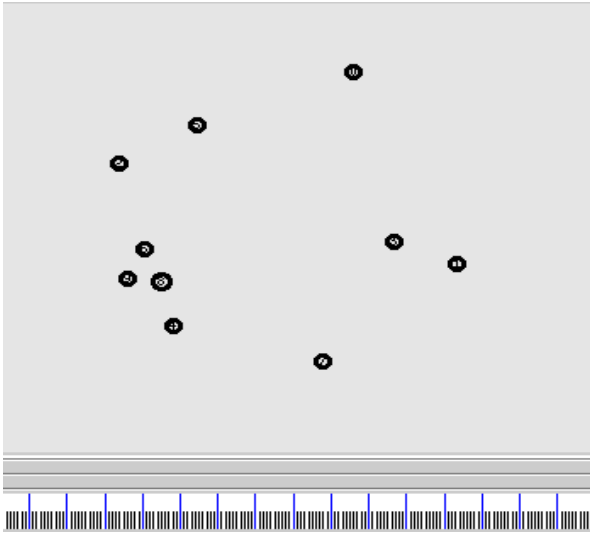
Tablo 1. Benzetimde kullanılan parametreler ve değerler (Parameters and values used in simulation)

Parametre	Değer
Başlangıç Enerjisi	100 Joule
İletim Gücü	0,5 Watt
Alım Gücü	0,3 Watt
Boş Güç	0,05 Watt
Algılayıcı Hızı	1 m/s



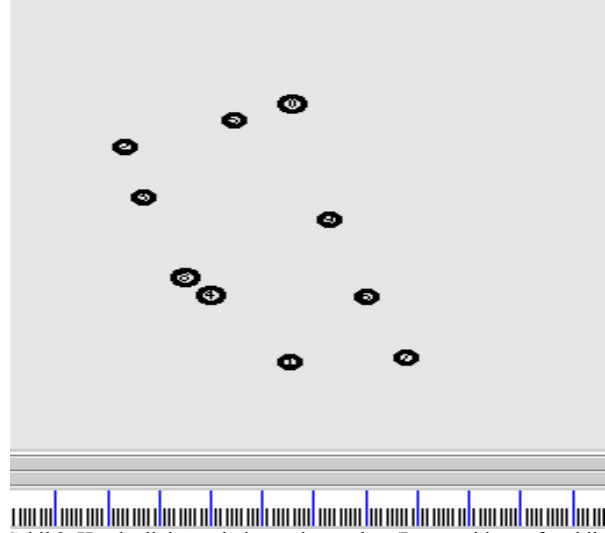
Şekil 1. 100 adet sabit konumlu düğümlerin sistem benzetimi (System simulation of 100 fixed-position nodes)

Önerilen metotta, 100 adet düğüm kullanılan alana sahip bölgeye, 10 adet hareketli düğüm yerleştirilmiştir. Benzetim aracı kullanılarak gerçekleştirilen benzetimin çıktıları olarak Şekil 2’de hareketli düğümlerin ilk konumları, Şekil 3’te ise son konumları verilmiştir.



Şekil 2. Hareketli düğümlerin ilk konumları (First positions of mobile nodes)

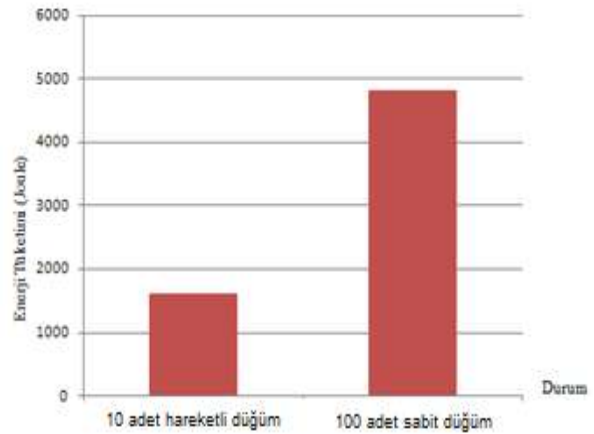
Düğümler belirlenen ilk ve son konumlar arasında hareket halindedirler ve bu hareketli düğümler daha önceden benzetimi yapılan 100 adet sabit konumlu düğümün kapsama alanının tamamını kapsamaktadır. Ayrıca bu düğümler, tehlikenin çok fazla olduğu tahmin edilen bölgelerde sıklaştırılmıştır. Bu sayede, iletişimin tehlikeli bölgelerle de sürekliliği sağlanacaktır.



Şekil 3. Hareketli düğümlerin son konumları (Last positions of mobile nodes)

### 3.2. Geliştirilen Sistemin Benzetim Sonuçları (Simulation Results of Developed System)

Bu benzetim işlemi 2000 saniye sürmektedir. Bu süre boyunca 10’ar adet düğümün hareket durumlarına göre harcanan toplam enerjinin karşılaştırılma grafiği ise Şekil 4’te yer almaktadır. Hareketli düğümlerin harcadıkları toplam enerji, hareket etmek için harcadıkları enerjiyi de içermektedir.



Şekil 4. Toplamda harcanan enerji grafiği (Total energy consumption graph)

Görüldüğü üzere 10 adet hareketli düğüm kullanan sistemin harcadığı enerji, 100 adet sabit düğüm kullanan sistemin harcadığı enerjiden oldukça azdır. 100 adet düğüm kullanmak yerine 10 adet düğüm kullanılarak aynı işlev gerçekleştirilmiştir. İşlevsel olarak herhangi bir sorun söz konusu değildir. Ayrıca, çok düğümlü sistemde harcanan enerji çok olduğundan ağın ömrü de bir o kadar kısa olacaktır. Geliştirilen sistemdeki ağın ömrü diğer sisteme göre bir hayli fazladır. Sonuç olarak,

hem 90 adet düğüm maliyetinden hem de bu düğümlerin harcadığı enerjiden tasarruf sağlanmıştır. Her iki sistemde enerji tüketimi bakımından incelenmiş, fakat paket trafiği analizi yapılmamıştır. Sistemde az düğüm kullanılmasının gereksiz işlem kalabalığını önleyerek paket trafiğini azaltacağı ve sistemi daha güvenilir hale getireceği öngörülmektedir.

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, maden ocaklarında kullanılan güvenlik sistemlerindeki tüm maden ocağını kapsamı için fazla sayıda kullanılan sabit düğümlerin yerine, yine aynı maden ocağını kapsayan daha az sayıda ve hareketli düğümler kullanılarak düğüm ve enerji maliyetinin optimum seviyeye çekilmesi sağlanmıştır. Karşılaştırılan maden güvenlik sistemine göre, hem enerji verimliliği hem de maliyet açısından çok daha iyi olduğu çeşitli topolojiler kullanılarak, benzetimler sayesinde ispatlanmıştır.

Geliştirilen bu maden güvenlik sisteminin, düğüm sayısının azlığı sayesinde kullanılan toplam enerjiyi önemli ölçüde azalttığı ispatlanmıştır. Enerjinin daha az kullanması ile birlikte ağ ömrü de uzatılmıştır. Uzayan ağ ömrü ile birlikte, madende daha uzun süre hava kalitesi izlenmiş ve olası kötü durumlara karşı maksimum süre farkındalık sağlanmıştır.

Bu çalışmanın devamında algılayıcılarda farklı bir protokol kullanılarak enerji verimliliğini daha da iyi duruma getirilmesi düşünülmektedir. Ayrıca, sistemin paket trafiği bakımından da analiz edilmesi planlanmaktadır.

#### KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] L. F. Akyıldız ve E. P. Stuntebeck, "Wireless underground sensor networks: Research challenges", *Ad Hoc Networks*, 4(6), 669–686, 2006.
- [2] "Kömür Maden Güvenliği Yönetmeliği", Devlet Üretim Güvenliği Denetleme Kurumu ve Ulusal Kömür Maden Güvenliği Denetleme Birimi, Pekin, 18-38, 2005.
- [3] T. Maity, P. S. Das ve M. Mukherjee, "A Wireless Surveillance and Safety System for Mine Workers based on Zigbee", *Recent Advances in Information Technology (RAIT)*, 2012 1st International Conference, Dhanbad, sy. 148 – 151, 2012.
- [4] S. Wei ve L. Li-li, "Multi-parameter Monitoring System for Coal Mine based on Wireless Sensor Network Technology", *Proc. International IEEE Conference on Industrial Mechatronics and Automation*, Chengdu, sy. 225-27, 2009.
- [5] Y.P. Zhang, G. X. Zheng ve J. H. Sheng, "Radio Propagation at 900 MHz in Underground Coal Mines", *IEEE transactions on antennas and propagation*, 49(5), 752-62, 2001.
- [6] S. Jin-Ling, G. Heng-Wei, S. Yu-Jun, "Research on Transceiver System of WSN Based on V-MIMO Underground Coal Mines, *Proc. International Conference on Communications and Mobile Computing*", Shenzhen, 374-378, 2010.
- [7] C. Jin, "Application of ZigBee on coal mine safety system", *Coal Mine Safety*, 2, 39-41, 2006.
- [8] C. Qiang, S. Ji-Ping, Z. Zhe ve Z. Fan, "ZigBee Based Intelligent Helmet for Coal Miners", *World Congress on Computer Science and Information Engineering*, Los Angeles, CA, 3, 433-435, 2009.
- [9] X. Ma, Y. Miao, Z. Zhao, H. Zhang ve J. Zhang, "A Novel Approach to Coal and Gas Outburst Prediction Based on Multi-sensor Information Fusion", *Proc. IEEE international conference on automation and logistics*, Qingdao, China, 1613-1618, 2008.