

YOLLARDAN GEÇİŞ GÜVENLİĞİNİ SAĞLAYACAK BİR SENSÖR AĞININ MODELLENMESİ VE UYGULANABİLİRLİĞİNİN BENZETİMLE DENENMESİ

Murat KARAKAYA ^(a)

^(a) Kara Harp Okulu, Dekanlık Sistem ve Yönetim Bilimleri Bölümü BAKANLIKLAR -
ANKARA, kmkarakaya@kho.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada yoldan geçecek araçlara karşı yapılabilecek saldırıların hazırlıklarının tespiti için bir sensör ağı modeli önerilmektedir. Önerilen model; algılayıcılar, bilgi saklayıcı birimler, kullanıcı arayüzü ve gerekli haberleşme protokolünden oluşmaktadır. Algılayıcı birimlerin ürettiği uyarıları kaydeden ve işleyen saklayıcı birimler yoldan geçmek üzere yaklaşan dost kuvvetlere tanımlanan arayüz üzerinden muhtemel tehdit raporunu vereceklerdir. Çalışmamız; benzetim yöntemlerini kullanarak önerilen modelin tasarımını ve başarımını test etmek ve ileride geliştirilecek ağlar için gerekecek uygulama gereklerini ortaya çıkartmayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Yol güvenliği, algılayıcı ağlar, hareket modelleri, hareket noktası kestirimi.

MODELING A SENSOR NETWORK PROVIDING ROAD SECURITY AND TESTING ITS FEASIBILITY VIA SIMULATIONS

ABSTRACT

In this work we propose a sensor network model to locate possible treats to the vehicles travelling on a road. The proposed model consists of sensors, storage units, interfacing units, and required communications protocol. Recording and processing the warnings of the sensors, the storage units will provide the activity report to the friendly forces approaching the road via the determined interface protocol. In the work, we aim to test the proposed model and its performance by simulation experiments and to determine prospective requirements for implementation.

Keywords: Road security, sensor networks, mobility models, mobility detection.

1. GİRİŞ

Sensör ağlar sahip oldukları bir çok özelliğten dolayı askeri uygulamalar için geniş imkânlar sunmaktadırlar. Algılayıcıların araziye kısa sürede ve çok sayıda farklı yöntemlerle yerleştirilebilmeleri, aralarındaki haberleşme ağının kendiliğinden kurulması ve yaşanabilecek sorunlara rağmen bu haberleşme ağının kendiliğinden yeniden yapılanması, düşman tarafından kolayca imha edilemeyecek matris yapıya sahip olması ve insan hayatını tehlikeye atmadan bilgi toplayabilmesi bu özelliklerden bazılarıdır. Bu çalışmada, yol kenarlarına düşman unsurlarca yerleştirilebilen patlayıcılara karşı sensör ağlarının nasıl kullanılabilceğine dair bir model önerilmiştir. Önerilen model ile araziye yerleştirilecek hareket algılayıcılardan oluşacak bir sensör ağının nasıl yapılandırılabilceği, patlayıcı yerleştirilen noktaları nasıl kestirilebileceği ve önerilen bu yöntemlerin benzetim yöntemiyle denenerek çalışabilirliği ve etkinliği değerlendirilmiştir.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Yol üzerine veya kenarlarına patlayıcı yerleştirilmesine karşı Sensör ağların kullanılması daha önceki sınırlı sayıda çalışmada önerilmiştir. Örneğin, [2]'de yazarlar görüntü işleme teknolojisini desteklemek üzere sensör ağların kullanılmasını önermişlerdir. Ancak modelleri hareket eden objeleri takip edecek şekilde geliştirilmediğinden gerçekçi olamamıştır. Ayrıca sensör ağının kurulumu, yönetimi ve idamesi hakkında bilgi sunulmamıştır. Başka bir çalışmada ise özellikle manyetik algılayıcı birimler kullanarak patlayıcıların yerleştirilmesini alışveriş merkezi veya sokak gibi şehir ortamında tespit etmeyi hedeflemiştir [3]. Ancak yapılan çalışma satılmakta olan Kızılötesi ve Madeni algılayıcı birimlerin testi ile sınırlı kalmış herhangi bir yer tespiti veya geniş ölçekli bir sensör ağı oluşturulmamıştır. Algılayıcı birimlerin yol kenarına optimum algılama alanını kapsayacak şekilde yerleştirilmesi içinde bazı çalışmalar yapılmıştır. Örneğin, [4]'te yazarlar algılayıcı birimlerin optimum yerleştirilme noktalarını bulurken algılama menzili ile yolun genişliğini dikkate alarak en az birimle yolun tüm yüzeyini kapsamayı hedeflemişlerdir. Ancak askeri uygulamalarda kullanılacak birim sayısının kısıtlanmasından daha çok sistemin güvenilirliği ve idamesi önemli olduğundan algılayıcı birimlerin yoğun bir şekilde araziye konuşlandırılacağı beklenmektedir. Dolayısıyla çalışmamızda en az sayıda algılayıcı birim kullanmak yerine gerçek askeri uygulamalarda beklenen şekilde çok sayıda birim kullanmayı öngördük.

Önerdiğimiz modele en yakın olan çalışmada [5] insansız hava aracı kullanılarak araziye yerleştirilen algılayıcı birimlerden bilgi toplanması hedeflenmiştir. Ancak

önerilen modelin çalışabilmesi için bu birimlerin veri depolama kapasitelerinin yeterli büyüklükte olması, uygun antene ve çıkış gücüne sahip olması ve ayrıca hava aracının konvoy geçişlerinden önce bölgede bulunması, bilgiyi toplayıp yorumlaması ve geçiş yapacak olan birliğe ulaştırması gerekmektedir. Dolayısıyla sistemin karmaşıklığı ve hataya açıklığı artmaktadır. Bizim önerdiğimiz sistemde hava aracı sisteme dahil olabilir ancak bu şart değildir. Ayrıca, algılayıcılar sadece algılama yapacak şekilde tasarlandıklarından ayrıca depolama birimine ihtiyaç duymayacaklardır. Söz konusu makalede herhangi bir uygulama yapılmadığı gibi önerilen modelin gerekli detayları veya benzetimi sağlanmamıştır.

3. ÖNERİLEN SENSÖR AĞI MODELİ

Model üç ana unsurdan oluşmaktadır (Şekil 1):

- **Algılayıcı Birimler:** Sıcaklık, hareket, ses, manyetizma vb. uyarılara karşı hassas olan algılayıcılar çevrelerinde meydana gelen değişiklikleri takip edecek ve bu değişiklikleri zaman bilgisiyle etiketleyerek Saklayıcı birime aktaracaklardır.



Şekil 1. Sensör ağı ile yolların gözetlenmesi: (Sol) Algılayıcı ve Saklayıcı birimler araziye gözlemler ve (Sağ) Saklayıcı birimler yaklaşan dost birliklere rapor verirler.

- **Saklayıcı Birimler:** Algılayıcıların gerek hafıza ve hesaplama kapasitelerinin az olması ve gerekse algılayıcıların bataryalarının uzun süre dayanması için Saklayıcı birimler sorumlu oldukları alanda bulunan tüm algılayıcıların aktardıkları bilgileri inceleyecek, birleştirecek ve saklayacaktır.

- **Arayüz Birimi:** Yol üzerinde intikal edecek olan dost kuvvette bulunacak Arayüz Birimi belli bir mesafeden Saklayıcı Birimlerle güvenli bir kanal üzerinden

haberleşerek Algılayıcıların sağladığı bilgilerden derlenen muhtemel tehdit noktalarını sayısal harita üzerinde gösterecektir.

Bu unsurların birlikte çalışabilmesi için gerekli olan haberleşme protokolü ise iki katmandan oluşmaktadır.

- **Ağ Kurulumu ve Yönetimi:** Algılayıcılar ve Saklayıcı birimler araziye ilk konuşlandıklarında otomatik olarak haberleşme protokolünün bu katmanını kullanarak etraflarındaki birimleri keşfedeceklerdir. Daha sonra Algılayıcılar ile Saklayıcı birim arasında bilgi değişiminin karışım olmadan yapılabilmesi için her bir algılayıcının raporlama zamanı belirlenecek ve Saklayıcı birim tarafından yayımlanacaktır.

- **Bilgi Aktarımı ve Sorgulama:** Ağ Kurulumu ve Yönetimi katmanında belirlenen zamanlamaya göre her bir algılayıcı birim kendisinde bulunan bilgileri Saklayıcı birime aktaracaktır. Saklayıcı birim de kendisine Arayüz tarafından gönderilen sorguları ve hazırlanan cevapları aynı katmanı kullanarak cevaplayacaktır.

3.1. Sistemin çalışması:

Ağ kurulup işlemeye başladıktan sonra ikinci katman olan Bilgi Aktarımı ve Sorgulama kuralları işletilecektir. Algılayıcı Birimler; Algılama Süresine (AS) göre algılamalarını yapacaklardır (Şekil 2). Eğer algılayıcı, algılama çapını yürüyüş hızıyla geçmek için gereken süreden (En Kısa Tehdit Süresi) daha fazla süren bir hareketlilik hissederse bu uyarıcıyı bir tehdit olarak değerlendirecektir. Algılamalarında bir uyarıcı hissetmezlerse kendilerini Uyuma Süresi (US) kadar uyutacaklardır. Eğer bir uyarıcıyı tehdit olarak değerlendirirse bu uyarıcı ortadan kalkana kadar uyanık kalacak ve uyarının başlangıç ve bitiş zamanını kaydederek Uyarıcı Tespit Raporunu (UTR) oluşturarak Saklayıcı Birime gönderecektir. Uyarıcının ortadan kalkmasından sonra hemen uykuya geçmeyecek İhtiyat Süresi (İS) kadar uyanık kalacak daha sonra yaşam döngüsüne devam edecektir.



Şekil 2. Enerji tasarrufu sağlayacak şekilde tasarlanan Algılayıcı birim yaşam döngüsü.

Saklayıcı Birimler, UTR mesajı aldıklarında bunu Muhtemel Tehdit Ceridesine (MTC) kaydedecektir. Arayüz Birimi bölgeye geldiğinde kendini Saklayıcı Birimlere tanıtmak maksadıyla Arayüz Tanıtım Mesajını (ATM) yayımlayacaktır. Bu mesajda bulunan rapor başlangıç zamanına göre, Saklayıcı Birimler kendi MTC'lerini kontrol edip uygun nitelikteki kayıtları MTC Raporu (MTCR) olarak aktaracaklardır. Arayüz birimi gelen MTCR'yi yorumlayacak ve Muhtemel Tehlikeli Bölgeleri koordinatlarıyla sayısal harita üzerinde gösterecektir.

4. ALGILAMANIN YORUMU VE YER KESTİRİMİ

Algılayıcılar ses, ışık, manyetizma, ısı, hareket vb. uyarıcılara hassas donanıma sahip olabilirler. Bu çalışmada, Algılayıcıları en basit yapıda tutabilmek için algılayıcı birimlerin *yalnızca hareketliliği hissedebildiklerini, uyarıcıların konumunu veya istikametini tespit edemediklerini* kabulleniyoruz. Dolayısıyla, Arayüz birimi kendisine ulaşan MTCR'leri uygun algoritmalarla yorumlayarak tehdidin yerini bulmak durumundadır.

Bu çalışmada önerdiğimiz algorithmada (Tablo 1), öncelikle Saklama Birimi tarafından Arayüz Birime aktarılan MTCR'deki tüm raporları Uyarıcı Başlangıç Zamanına göre – en eskiden en yeniye doğru- sıralayarak Gelen Tüm Raporlar (GTR) listesi oluşturulur. Daha sonra GTR listesinin başında bulunan ilk rapor alınarak bu raporu yayımlayan algılayıcının kapsama alanı ile kapsama alanları kesişen diğer algılayıcılar tespit edilir. Tespit edilen bu algılayıcılar öncelikle söz konusu uyarıcıyı algılamamış oldukları kabul edilerek Uyarıcıyı Hissetmemiş Komşular (UHK) listesine kaydedilirler. Bu algılayıcılardan hangilerinin aynı uyarıcıyı hissetmiş olabileceğini tahmin edebilmek için söz konusu uyarıcının bitiş zamanını dikkate alabiliriz. Eğer UHK'da bulunan bir algılayıcı MTCR'de bir rapor yayımlamışsa ve bu raporun başlangıç zamanı ilk raporun bitiş zamanından önce ise bu algılayıcının da bildirilen uyarıcıyı hissettiği kabul edebiliriz. Aynı uyarıcıyı hissettiği tahmin edilen algılayıcı UHK'dan çıkartılıp Uyarıcıyı Kaydetmiş Komşular (UKK) listesine eklenir, ilgili mesajını da GTR'den silinir.

UHK'da bulunan diğer tüm algılayıcılar için aynı işlem tamamlandığında elde edilecek UHK ve UKK listelerindeki algılayıcıların kapsama alanları üzerinde çalışarak uyarıcının yerini tahmin edebiliriz. Bunun için iki adımda algılayıcıların alanlarını kullanabiliriz. İlk adımda, UKK' da bulunan algılayıcıların kapsama alanlarının kesişimini alarak uyarıcının bulunduğu bölgeyi kestirebiliriz. İkinci adımda, bu bölgeyi daha da daraltabilmek için UHK'da bulunan algılayıcıların kapsama alanlarının bileşimini bu bölgeden çıkartırız. Böylece aynı uyarıcıyı hissettiğini tahmin ettiğimiz

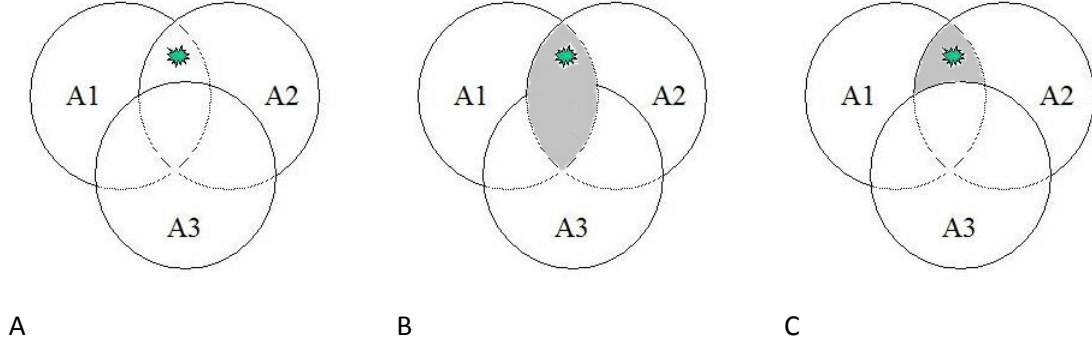
algılayıcıların kapsama alanlarının kesişim kümesinden, söz konusu uyarıcıyı hissetmediğini tahmin ettiğimiz algılayıcıların kapsama alanlarının bileşim kümesini çıkartarak uyarıcının yerini kapsayan bir bölgeyi bulabiliriz. Önerdiğimiz algoritma Tablo 1’de verilmiştir. Algoritmanın sonlanmasıyla MTCR’de bildirilen tüm raporların işlenmesi sonucu yerleri tahmin edilen tehditlerin her biri bir bölge olarak listelenecek ve sayısal harita üzerinde görüntelenecektir.

- (1) MTCR’deki tüm raporları Uyarıcı Başlangıç Zamanına göre –en eskiden en yeniye doğru- sıralayarak Gelen Tüm Raporlar (GTR) listesini oluştur.
- (2) Uyarıcıyı Kaydetmiş Komşular (UKK) ve Uyarıcıyı Hissetmemiş Komşular (UHK) adlı iki boş liste oluştur.
- (3) GTR’deki ilk raporu çıkart ve bu raporu gönderen algılayıcıyı Uyarıcıyı Kaydetmiş Komşular (UKK) listesine koy.
- (4) İlk raporu gönderen algılayıcının algılama yarıçapı ile yarıçapları kesişen tüm komşularını Uyarıcıyı Hissetmemiş Komşular (UHK) listesine koy.
- (5) İlk raporun bildirdiği Uyarıcı Bitiş Zamanından önce UHK’da bulunan herhangi bir algılayıcı tarafından gönderilen bir rapor varsa; bu algılayıcıyı UHK’dan, mesajını da GTR’den çıkartıp kendisini Uyarıcıyı Kaydetmiş Komşular (UKK) listesine koy.
- (6) Uyarıcının yerini; UKK listesindeki algılayıcıların kapsama alanlarının *kesişiminden* UHK listesindeki algılayıcıların kapsama alanlarının *bileşimini* çıkartarak bul ve uyarıcının tahmin edilen yerini kaydet.
- (7) GTR listesinde başka rapor kalmışsa 2. adımdan devam et; liste boş ise dur.

Tablo 1. Yer kestirme algoritması.

Algoritmanın nasıl çalıştığı Şekil 3’te basit bir örnek üzerinde açıklanmıştır. Şekil 3A’da üç adet algılayıcı ve bir tehdit faaliyeti görülmektedir. A1 algılayıcısı tarafından bildirilen raporun başlangıç zamanının 10:40, bitiş zamanının 10:44; A2 tarafından bildirilen raporun ise başlangıç ve bitiş zamanlarının sırasıyla 10:42 ve 10:44 olduğu; A3 tarafından ise bir rapor verilmediği kabul edilmiştir. Algoritma gereği, önce A1 ve A2 tarafından gönderilen raporlar sıralanarak GTR oluşturulur. GTR’den alınan ilk rapor A1 algılayıcısının raporu olacaktır. A1 algılayıcısının kapsama alanı ile kesişen A2 ve A3 algılayıcıları öncelikle UHK’ya eklenecektir. A2 algılayıcısının raporunun başlangıç zamanı dikkate alındığında, A2 UHK’dan çıkartılıp UKK’ya aktarılacak ve GTR’den raporu silinecektir. A3 herhangi bir raporu olmadığından UHK’da kalacaktır. A1 ve A2 algılayıcılarının kesişim kümesi hesaplanacaktır (Şekil 3B). Bu alandan

uyarıcıyı hissetmeyen A3 algılayıcının kapsama alanı çıkartıldığında Şekil 3C’de taranan bölge bulunmuş olacaktır. GTR’de başka rapor kalmadığından algoritma sonlanacaktır.



Şekil 3. Önerilen Yer Kestirim algoritması için bir örnek

5. BENZETİM TASARIMI

Benzetim Java dilinde geliştirilmiş ve kesikli benzetim altyapısı olarak MASON Kütüphanesi kullanılmıştır [1]. Benzetim modelimizi oluşturan ana elemanlar ve özellikleri Tablo 1’de özetlenmiştir. İki boyutlu olarak modellenen arazide düz bir yolun her iki tarafında Algılayıcı birimlerin birbirlerinden eşit uzaklıkla yerleştirildikleri, her bir algılayıcı birimin dairesel bir alanı algılayabildiği ve bir adet Saklama Biriminin tüm Algılayıcı birimleri kendi kümesine dahil ettiği kabul edilmiştir. Algılayıcı Birimlerin ve Saklayıcı Birimin arazi modeline yerleştirilmesi ve haberleşme protokolünün **Ağ Kurulumu ve Yönetimi** katmanının çalışması sonucu algılayıcı birimler ile saklayıcı birim arasında gerekli olan irtibatlar ve eşgüdüm kurulmasından sonra sistem çalışmaya başlar. Tehdidi temsil eden hareketli nesne; yaya veya araçlı olarak yolun belli bir noktasına gelir, belli süre patlayıcıyı yerleştirmek üzere faaliyet gösterir ve daha sonra yaya veya araçlı olarak bölgeden uzaklaşır. Hareketli nesne, iki patlayıcı yerleştirme faaliyeti arasında yol üzerinde durup yön değiştirip hareket etmeye devam ederek sistemi yanıltmaya çalışır. Yol kenarına patlayıcı yerleştirilmesinin, genellikle trafik yoğunluğunun düşük veya hiç olmadığı saatlerde yapılacağını değerlendirdiğimizden saldırganın başka bir hareketlilik senaryoya dahil edilmemiştir. Hareketliliği hisseden birimler belirlenen raporlama zamanına uygun olarak hazırlayacakları raporları Kaydedici birime haberleşme protokolünün **Bilgi Aktarımı ve Sorgulama** katmanını kullanarak ulaştırırlar. Saldırganın 100 adet patlayıcıyı yerleştirmesi sonunda Saklayıcı

birimin ürettiği **MTCR**'lerdeki bilgiler yer kestirme algoritmasına göre değerlendirilerek muhtemel tehdit koordinatları tahmin edilir. Bu koordinatlarla, saldırganın gerçekte patlayıcıyı yerleştirdiği koordinatlar karşılaştırılarak benzetim sonuç raporları oluşturulur.

6. BENZETİM SONUÇLARI

Tüm testlerde özellikle belirtilmediği sürece Tablo 2'de verilen değerlerle model çalıştırılmıştır. Her bir testin sonuçlanması için benzetimde saldırganın 100 adet patlayıcı yerleştirmesi beklenilmiş ve 10 kez testler çalıştırılıp ortalaması sonuç olarak verilmiştir. Başarımı yorumlamak için belirlenen ana ölçütler şunlardır:

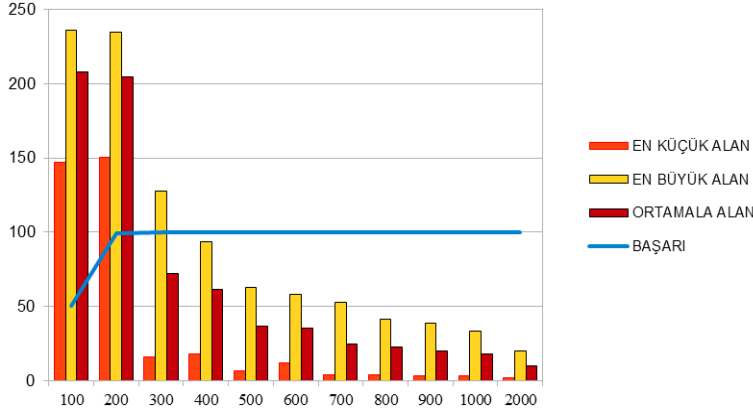
Tehdit Değerlendirme Doğruluğu: Raporların analizinden elde edilen Muhtemel Tehdit Alanının, gerçekte patlayıcı yerleştirilen konumu kapsayıp kapsamadığı ölçülmüştür.

Muhtemel Tehdit Alanının Büyüklüğü: Raporların analizinden elde edilen Muhtemel Tehdit Alanının büyüklüğü metrekare olarak incelenmiştir. Saldırganın hareket modeli 1 metrekare içersine patlayıcı yerleştirecek şekilde tasarlanmıştır.

NESNE	ÖZELLİKLER	AÇIKLAMA
Arazi	MxN boyutlarda	M= 2000 m., N=1000 m.
Yol	GxU boyutlarda.	G= 5 m., U= 2000 m.
Algılayıcı Birimler	Toplam algılayıcı sayısı AKap: Algılama çapı AHkap: Haberleşme çapı US: Uyuma Süresi AS: Algılama Süresi İS: İhtiyat Süresi EKTS: En Kısa Tehdit Süresi	400 20 m. 2000 m. 120 sn 1.2 sn (US * 1/100) 0.4 sn (AS * 1/3) 18 sn (AKap/Yürüyüş Hızı)
Saklayıcı Birimler	SHKap: Saklayıcı birimlerin kapsama yarıçapı	2000 mt.
Tehdit	Hareket Hızı: Patlayıcı Yerleştirme Süresi Patlayıcı Yerleştirme Yeri	Yürüyüş (4km/saat) En az 3 – en fazla 5 dk. Yolun üzerinde veya 5 m. civarındaki herhangi bir nokta

Tablo 2. Benzetim tasarımının ana parametreleri

İlk testimizde tüm algılayıcı birimleri algılama durumunda tutarak uyumalarına imkân verilmemiştir. Şekil 4’de görüldüğü üzere, tahmin başarısı 200 ve daha fazla algılayıcı kullanıldığında %100 olmaktadır. 100 algılayıcı modellenen yolun ancak yarısını kapsadığından %50 başarılı olmaktadır. Ayrıca, kullanılan algılayıcı sayısı artırıldığında tahmin edilen alan giderek küçülmektedir. Yerleştirilen patlayıcıların yeri 400 algılayıcı birim kullanıldığında ortalama 60m^2 bir alan içinde olacak şekilde raporlanabilmektedir.

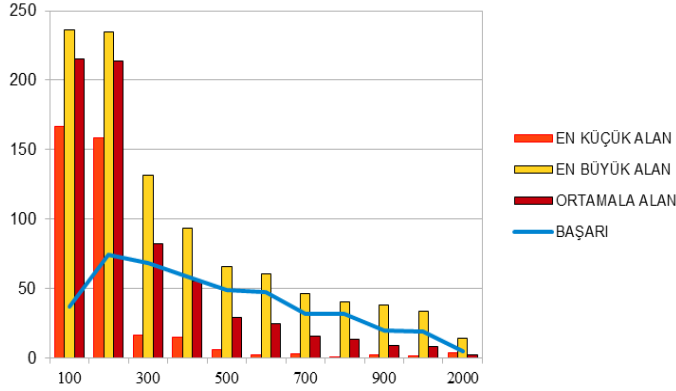


Şekil 4. Tüm algılayıcılar sürekli çalışırken başarımların sonuçları. (Yatay eksen algılayıcı sayısı, dikey eksen metrekare cinsinden alan ve yüzde olarak başarımları göstermektedir.)

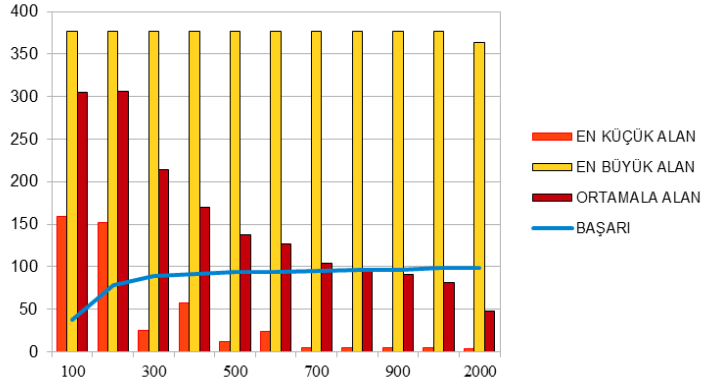
Şekil 5’de, algılayıcıların belirlenen yaşam döngüsüne uygun olarak uyumasına izin verdiğimizde elde ettiğimiz sonuçlar sunulmuştur. İlk sonuçların aksine burada algılayıcı sayısının artmasının tahmin başarısını azalttığı görülmüştür. Bunun sebebi üçüncü kısımda verilen yer kestirimi algoritmasında rapor göndermeyen tüm komşuların tehdidi hissetmediğine dayanan varsayımdır. Aslında uyuyan komşuların rapor göndermemesi onların duymadığı anlamına gelmemektedir. Bu nedenle algoritmanın 6. adımının aşağıdaki gibi değiştirilmesi gerekmektedir:

- (6) Uyarıcının yerini; UKK listesindeki algılayıcıların kapsama alanlarının kesişimi olarak bul ve kaydet

Algoritmanın yeniden düzenlenmesi ile Şekil 6’daki sonuçlar elde edilmiştir. Tahmin doğruluğu tüm algılayıcıların çalıştığı testinde olduğu başarıyı en az 400 algılayıcı kullanılması durumunda yakalamışlardır. Ancak tahmin edilen alanlar algoritmada yapılan değişiklik nedeniyle göreceli olarak artmıştır. Örneğin, 400 algılayıcı birim kullanıldığında ortalama alan 60m^2 ’den 160m^2 ’ye çıkmıştır. Bu gözlem, sistemin hassasiyet ile enerji tasarrufu arasında bir açmazı olduğuna işaret etmektedir.



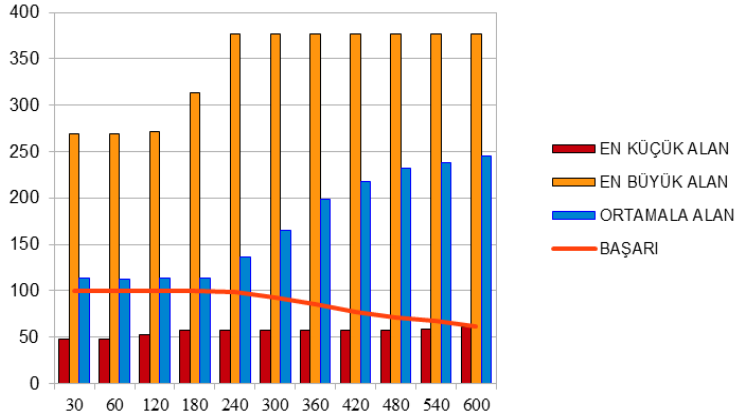
Şekil 5. Orjinal algoritma kullanıldığında ve Algılayıcıların uyumasına izin verildiğinde elde edilen başarımların karşılaştırılması. (Yatay eksen algılayıcı sayısı, dikey eksen metrekare cinsinden alan ve yüzde olarak başarımları göstermektedir.)



Şekil 6. Orjinal algoritma yeniden düzenlendiğinde ve Algılayıcıların uyumasına izin verildiğinde elde edilen başarımların karşılaştırılması. (Yatay eksen algılayıcı sayısı, dikey eksen metrekare cinsinden alan ve yüzde olarak başarımları göstermektedir.)

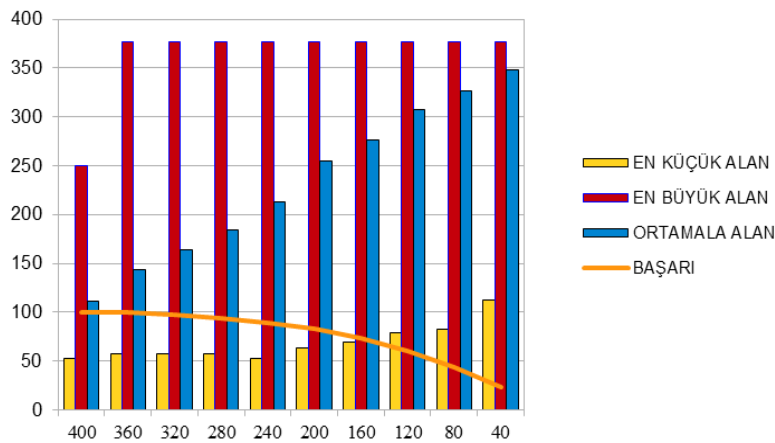
Üçüncü testimizde, uyuma süresinin başarıma olan etkisini gözlemledik. Şekil 7’de verilen sonuçlarda öne çıkan gözlem 180 sn.’ye kadar olan uyuma sürelerinde başarımın %100 olduğudur. Bunun en önemli nedeni saldırganın bombayı yerleştirmek için en az 3 dk. ihtiyaç duymasındır. Algılama süresinin uyuma süresinin %1 olarak ayarlandığı düşünülürse, Tablo 1’de verilen değerler için algılayıcıların bir saatte sadece 36 sn., yani günde yaklaşık 15 dk. çalışmaları yeterli olacaktır.

USMOS 2011 ODTÜ, ANKARA



Şekil 7. Algılayıcıların uyuma süresinin başarımlar üzerindeki etkisi. (Yatay eksen uyuma süresi (sn.), dikey eksen metrekare cinsinden alan ve yüzde olarak başarımları göstermektedir.)

Son testimizde daha önceki testlerimizde kullandığımız algılayıcı birimlerin bazı nedenlerle çalışmaz duruma gelmeleri nedeniyle ağıımızın ne kadar tehdi hala algılayabildiğini test ettik. Bu amaçla her bir deneyin başında, toplam Algılayıcı birim sayısının %10 azaltacak şekilde rastgele seçtiğimiz algılayıcı birimleri gayri faal yaparak başarımları gözlemledik. Şekil 8’de görüldüğü üzere, 400 algılayıcının oluşturduğu ağda her seferinde rastgele seçilen 40 algılayıcının azaltılması sonucu başarımlar giderek düşmüştür. Ancak burada dikkat edilmesi gereken bir gözlem algılayıcıların dörtte birinden fazlası (120) kaybedilmesine rağmen başarımların %95 seviyesinde korunabilmesidir. Hatta yarısının kaybedildiği durumda dahi başarımlar %80 üzerindedir.



Şekil 8. Arızalanmış algılayıcıların ağ üzerindeki etkisi. (Yatay eksen faal algılayıcı sayısı, dikey eksen metrekare cinsinden alan ve yüzde olarak başarımları göstermektedir.)

7. SONUÇ

Önerilen modelin benzetiminin gerçekleştirilmesiyle yapılan deneylerde modelin uygulanabilirliği incelenmiştir. Sonuçlar, sadece hareketi hissedebilen en basit yetenekli algılayıcılardan oluşan bir ağın bile söz konusu tehditleri başarı ile tespit edebildiği, önemli miktardaki algılayıcı birimlerinin arzılanması durumunda dahi yeterli seviyede bilgi üretmeye devam ettiği ve pil ömürlerinin uzatılması için alınabilecek tedbirlerin başarımı olumsuz etkilememesi için saldırınganın ihtiyaç duyabileceği en az faaliyet süresinin dikkate alınması gerektiği gözlemlenmiştir.

Bundan sonraki aşamada, modelin ve benzetim yazılımının daha detaylandırılması ve görsel arayüze kavuşturulması hedeflenmektedir. Ayrıca sistemin çalışması için çok önemli olan enerji harcaması ve maliyet-etkinlik hesabı da sistemde modellenecektir.

8. KAYNAKÇA

- [1] Luke, S., Cioffi-Revilla, C., Panait, L., Sullivan, K. ve Balan, G. (2005), MASON: A Multi-Agent Simulation Environment, *In Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*, 82(7):517-527.
- [2] Rowe, N.C., O'Hara, M., Singh, G. ve CA, G. (2009), Wireless sensor networks for detection of IED emplacement, *Proceedings of the 14th International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS)*.
- [3] Sundram, J. , Sim, P.P. , Rowe, N.C., Singh, G. ve CA, G. (2008), Assessment of Electromagnetic and Passive Diffuse Infrared Sensors in Detection of IED-Related Behavior," *Proceedings of the 13 th International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS)*.
- [4] Cheng, X.F. (2010), The Optimal Sensing Coverage for Road Surveillance, *Wireless Sensor Network*, vol. 02, pp. 318-327.
- [5] Saarelainen, T. ve Jormakka, J. (2010), C4I2-Tools for the Future Battlefield Warriors, *Proceedings of the Fifth International Conference on Digital Telecommunications*, 38-43.