

## Orman Yangını Tespiti Amaçlı Kablosuz Algılayıcı Ağların Gerçekçi Başarım Değerlendirmesi İçin Benzetim Altyapısı

Sinan Işık, M. Yunus Dönmez, Can Tunca, Cem Ersoy

Boğaziçi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilgisayar Ağları Araştırma Laboratuvarı (NETLAB), İstanbul  
isiks.yunus.donmez,can.tunca,ersoy@boun.edu.tr

Özet: Orman yangınları dünyanın birçok yerinde büyük ölçüde çevresel ve ekonomik zararlara yol açmaktadır. Yangınları önleme ve erken tespit etme çabaları bu zararları engellemeyi veya azaltmayı amaçlamaktadır. Var olan orman yangını izleme sistemleri, yüksek çözünürlüklü ve gerçek zamanlı yangın takibi sağlayamamakta ve bu sebeple yangınlar erken ve hassas bir şekilde tespit edilememektedir. Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) bir ormanın çok sayıda noktasından sıcaklık ve nem gibi bilgileri gerçek zamanlı olarak ölçebilmekte ve bunları yangınla mücadele merkezlerine hızlıca aktarabilmektedir. Yangınların tahribat özelliğini göz önünde bulundurduğumuzda böyle bir sistemi gerçek bir yangın senaryosunda test etmek ve çalışır bir KAA'yı yok olma riskiyle karşı karşıya bırakmak maddi açıdan mümkün değildir. Bu yüzden benzetim deneyleri bu sistemin başarımını ölçmenin en uygun yoludur. Bu bildiriye, KAA'ları gerçekçi yangın durumları için test etmek amacıyla gerçekçi yangın yayılım ve ağ benzetimini birleştiren, hem çevresel (orman yakıt modeli, rüzgar yönü ve şiddeti) hem de KAA'ya bağlı faktörlerin etkisini beraberce değerlendirebileceğimiz bir benzetim altyapısı sunuyoruz.

**Anahtar Sözcükler:** Kablosuz Algılayıcı Ağlar, Orman Yangını, Benzetimle Başarım Değerlendirmesi

## A Simulation Platform for Realistic Performance Evaluation of Wireless Sensor Networks to Detect Forest Fires

**Abstract:** Forest fires lead to high amount of environmental and economic loss all over the world. Prevention and early detection efforts aim to eliminate or minimize the damage that will be caused by a fire incident. Current surveillance systems for forest fires do not provide dense real-time monitoring and hence they lack prevention or early detection of a fire threat. Wireless sensor networks (WSNs), on the other hand, can collect real-time information such as temperature and humidity from almost all points of a forest and can provide fresh and accurate data for the fire-fighting management center quickly. Since fires are destructive and burning a deployed WSN is not feasible, simulation is the appropriate way to assess the reporting capability of a WSN during a forest fire. In this paper, we propose a simulation platform which integrates WSN simulator with a realistic fire propagation simulator that is capable of evaluating the effect of environmental (forest fuel model, wind speed and direction) and WSN related factors.

**Keywords:** Wireless Sensor Networks, Forest Fires, Performance Evaluation by Simulation

### 1. Giriş

Orman yangınları, son yıllarda, özellikle Akdeniz bölgesinde arkeolojik ve kültürel miras alanlarının harabelere dönüşmesinin en önemli nedenlerinden birisidir. Sezonluk sıcaklık artışları ormanlık alanlarda kendi kendine meydana gelen yangınlarda büyük artışlara neden olmuştur. Kuru bitki örtüsü ile beslenip, rüzgarın da etkisiyle körüklenen bu yangınlar kolaylıkla felakete dönüşebilmektedir. Tüm bunların yanında yangınlar, teknolojik gelişmeleri kullanarak önenebilecek doğal afetlerin başında gelir. Yangınların erken tespiti felaket boyutlarına ulaşmadan söndürülmesinde çok büyük yardım arz etmektedir.

Yangın önleme tedbirleri ile birlikte, yangın erken uyarı ve yangın yayılımı izleme sistemleri, yangınla

mücadele etkinliklerinin verimini arttırmada önemli rol sahibidirler. Uydu ile uzaktan algılama [1] ve kamera tabanlı erken uyarı sistemleri [2], [3] mevcut olmasına rağmen, bu sistemler her türlü hava şartında verimli bir şekilde işlevlerini yerine getiremezler. Bu sistemlerin başarıları gün içindeki zaman aralığına, açık görüş hattının mevcudiyetine ve diğer görüş kalitesini belirleyen koşullara bağlıdır. Dolayısıyla, eğer bu tip sistemler; sıcaklık, nem ve duman algılayıcılarının oluşturacağı kablosuz ağlar ile desteklenirse, meydana gelen çok kipli yangın gözetim sistemi çok daha başarılı olabilir.

Hızlı, güvenilir tespit ve hassas konum belirleme, yangın gözetimindeki en önemli amaçlardır. Henüz yangının boyutu küçük ve konumu bilinirken, yayılması için fazla zaman tanımadan yangını söndürmek çok daha kolay olacaktır. Bu bakımdan, yangının uygun zamanda tespitinin yanında, Kablosuz

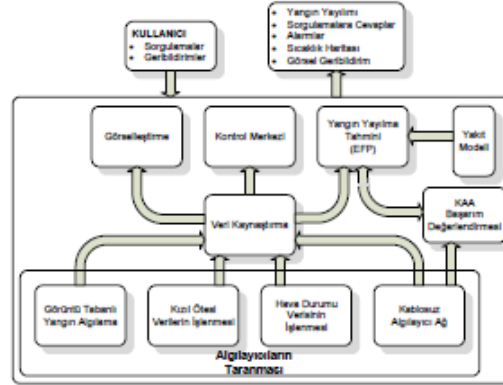
Algılayıcı Ağlar [4], yangınla mücadele yönetimi için oldukça değerli olan, yangının konumu, yayılma hızı ve derecesi ve muhtelif konumlardaki sıcaklık veya duman koşulları hakkında bilgi sağlama konusunda yardımcı olabilir. Bu bilgiler ışığında, yangınla mücadele ekipleri, gerekli aletleri ve araçları kullanarak yangının yayılımını durdurma ve yangını söndürme hedefleri doğrultusunda yönlendirilebilirler.

Son bir kaç yıldır, bütünleşik donanım ve yazılım teknolojilerinde yaşanan kayda değer gelişmeler, kablosuz algılayıcıların maliyetini aşağılara çekmektedir. Hali hazırda piyasada satılır hale gelen çok çeşitli kablosuz algılayıcı düğümler bulunmaktadır [5], [6], [7]. Fiyatları hala çok büyük alanlara binlercesini konuşlandırabilecek uygunlukta olmasalar bile, birkaç yüz tane algılayıcı kritik veya önemli alanların etrafına konuşlandırılabilir ve yangın gözetim sistemlerinin verimliliğini arttırmak amacıyla kullanılabilirler.

Bu çalışma halen devam etmekte olan FIRESENSE [8] isimli 7. Çerçeve Avrupa Birliği projesinin bir parçasıdır. FIRESENSE arkeolojik ve kültürel miras alanlarını yangın riskine ve olumsuz hava şartlarına karşı uzaktan izleyecek otomatik erken uyarı sistemi geliştirmeyi amaçlamaktadır. FIRESENSE sisteminin genel mimarisi Şekil 1 de gösterilmiştir. Sistem yenilikçi erken uyarı sistemlerini kullanan bütünsel bir yaklaşımı temel alır. Çoklu-algılayıcı gözetleme sistemlerindeki en son teknolojik gelişmelerden faydalanan sistemin ana fikri farklı tip değişimleri izleyebilen (sıcaklık, nem vb.) kablosuz algılayıcı ağları, meteoroloji istasyonlarını, optik ve kızılötesi kameraları korunacak alana yerleştirmektir. Algılayıcılardan toplanan sinyaller, bu sinyalleri akıllı bilgisayar tabanlı görüntü analizi algoritmaları, örüntü tanıma algoritmaları ve veri kaynaştırma teknikleri kullanarak otomatik olarak analiz edecek izleme merkezine aktarılır. Herhangi bir tehlike durumu oluştuğunda, sistem yetkili kişiler için otomatik uyarı sinyalleri üretir. FIRESENSE projesi ayrıca, kablosuz algılayıcılardan elde edilen veriler sayesinde yangın gelişimi hakkında gerçek zamanlı bilgilerin elde edilmesine olanak sağlar. Ayrıca, yangının yayılmasını, bölgenin yakıt modellemesine ve rüzgar hızı, yönü, arazi eğimi gibi diğer önemli parametrelere bağlı olarak tahmin eder. Tahmin edilen yangın yayılımının görselleştirilmesini üç boyutlu coğrafi bilgi sistemleri kullanarak gerçekleştirir.

Yangınların tahribat özelliği göz önünde bulundurulduğunda konuşlandırılmış bir KAA sistemini gerçek bir yangın senaryosunda test etmek ve yanarak yok olma riskiyle karşı karşıya bırakmak maddi açıdan mümkün değildir. Gerçek bir yangın ortamı yaratmak yerine, ticari bir bilgisayar ağı tasarımı, analiz ve benzetim aracı olan OPNET Modelleyici [9] gibi bir benzetim yazılımını kullanmak, bir orman yangını sırasında KAA'nın

yangın algılama ve raporlama başarımını değerlendirmek için uygun bir yoldur. Fakat, OPNET benzetim ortamı, veri üretimi ve düğüm ölümlerinin benzetimi için gerekli olan yangın yayılım bilgisi ve yerel sıcaklık bilgilerini sağlayamamaktadır. Bu nedenle, FIRESENSE projesinin bir parçası olan ve Yunanistan'ın ITI-CERTH enstitüsü tarafından geliştirilen Yangın Yayılma Tahmini (EFP) [10] benzetim yazılımını, yangın arazide yakıt tipine ve hava koşullarına bağlı olarak yayılırken, önceden belirlenmiş olan algılayıcı konumlarındaki sıcaklık haritalarını oluşturmaya olanak veren farklı sıcaklık modelleri ekleyerek geliştirdik. Bu haritalar sıcaklık tabanlı KAA benzetimleri yapabilmek için Boğaziçi Üniversitesi tarafından geliştirilen OPNET ağ benzetim modellerine girdi beslemesi olarak kullanılmaktadır. Bu makalede, EFP ve OPNET benzetimlerini birleştirmek için önerilen bu bütünleştirme çerçevesi anlatılmaktadır.



Şekil 1. FIRESENSE Sistemi Genel Mimarisi

## 2. EFP ve OPNET Benzetimlerinin Sıcaklık Tabanlı Bütünleştirilmesi

OPNET ile beraber kullanıldığında, gerçekçi yangın yayılımı tahmini için kullanılan sıcaklık alanı modelleme algoritması, farklı çevresel parametreler kullanılarak EFP ile benzetimleri yapılmış yangın senaryolarında KAA ile ilgili başarım ölçütlerinin hesaplanabilmesini sağlamakta ve böylece algılayıcı dağıtımının değerlendirilmesi ve eniyilendirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu sebeple, EFP içindeki fireLib kütüphanesi [11] tabanlı fireSim yazılımına farklı ışımsal sıcaklık alanı modelleri gömülmüştür.

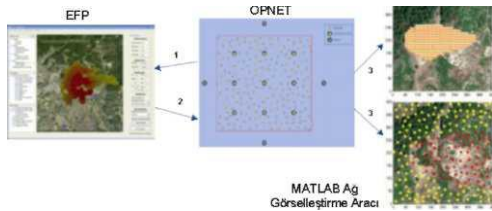
**Manolakos Modeli [12]:** Bu modelde EFP'nin ateş yoğunluğu parametresi ve algılayıcının arazi hücrelerine olan uzaklığı kullanılarak tutuşan her hücre için elde edilen ışıma yoğunluğu bilgisi yardımıyla bir Gauss sıcaklık eğrisi oluşturulur. Bu eğrinin parametreleri ve EFP'den alınan yayılma elipsinin eksenlerinin birbirine olan oranı birleştirilerek 2 boyutlu bir sıcaklık modeli tahmin edilir. Bu model, en yakın K yangın cephesi bilgisini kullanarak verilen bir algılayıcı konumundaki sıcaklığı tahmin etmek için kullanılır.

**EUFIRELAB Modeli [13]:** Bu modelde, bir algılayıcı konumundaki sıcaklık, tutuşan bütün hücrelerin EUFIRELAB projesinde önerilen ateş sıcaklık kestiricisi yardımıyla üretilen ışımaya yoğunluğu ile yerel çevresel sıcaklık kullanılarak hesaplanan ısı akı yoğunluğu toplamı kullanılarak bulunur.

**Byram Ateş Hattı Yoğunluğu Tabanlı Modeli [14]:** Bu modelde, bir algılayıcı konumundaki sıcaklık, tutuşan bütün hücrelerin EFP tarafından hesaplanan ateş yoğunluğuna dayanan ışımaya yoğunluğu ile yerel çevresel sıcaklık kullanılarak hesaplanan ısı akı yoğunluğu toplamı kullanılarak bulunur. [14] de, herhangi bir noktadaki Byram ateş hattı yoğunluğu (I), verilen (i) rüzgar hızı, (ii) rüzgar yönü, (iii) noktanın yangına olan azimut (ufuk açısı) değeri için hesaplanmaktadır.

### 3. KAA Başarım Değerlendirmesi İçin Bütünleştirilmiş Benzetim Altyapısı

Bütünleştirilmiş KAA başarım değerlendirme sisteminin yapısı Şekil 2 de gösterilmektedir. Bu sistemde ilk olarak OPNET benzetimlerinde kullanılacak olan KAA topolojisi (alan boyutları, algılayıcı konumları, ızgara boyutu ve ilk tutuşma noktası/noktaları) OPNET ortamında üretilir ve EFP modülüne girdi beslemesi yapılır (1). Daha sonra çeşitli ek parametreler kullanıcı tarafından belirlenir veya eğim/görünüş (ilgi alanı için 100m.lik STRM dosyalarından hesaplanır), yakıt haritaları (İlgilenilen uygulama alanı ile örtüşen CORINE haritalarından dönüştürülür), sıcaklık, nem, yağış, rüzgar hızı ve rüzgar yönü (FIRESENSE hava istasyonlarından veya desteklenen dış internet hava durumu servislerinden elde edilen anlık veya tahmin edilmiş veri) gibi farklı bilgi kaynaklarına dayanarak otomatik olarak elde edilir. EFP verilen topoloji üzerindeki bütün algılayıcıların konumları için zamana göre sıcaklık değişimlerini hesaplar ve çıktı olarak verir. Izgara hücrelerinin her biri yangın yayıldıkça tutuşabilir ve her bir algılayıcının önceden belirlenmiş konumundaki sıcaklık, konum bilgisi ve algılayıcıya en yakın konumdaki tutuşmuş hücrelerde yangınla ilişkili alev boyu gibi parametrelere dayalı olarak hesaplanır. Her algılayıcı için sıcaklık değişimi bütün KAA benzetimi süresi için hesaplanır ve OPNET tarafından sıcaklık



raporlama oranı ve algılayıcı tahrip zamanlarının belir-

### Şekil 2. Bütünleşik KAA Başarım Değerlendirme Altyapısının Blok Şeması

lenmesi için kullanılır. Genel ağ ve yangın yayılım davranışı MATLAB ortamında yazılan Ağ Görselleştirme Aracı yardımıyla gözlemlenebilmektedir (3).

### 4. Örnek Bir KAA Modelinin Gerçekçi Başarım Değerlendirmesi

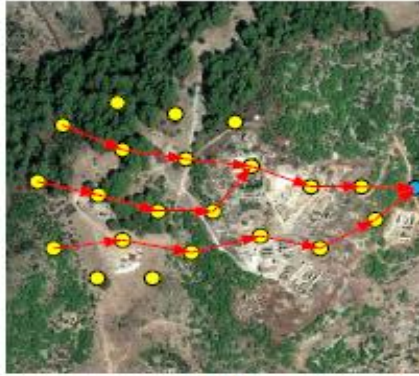
Benzetim modelimizde sıcaklık algılayıcıları orman içine rastgele konuşlandırılmıştır. İlk olarak bütün algılayıcılar çalışır durumdadır ve normal bir KAA gibi algılamaya ve haberleşmeye başlarlar. Algılayıcılar EFP yazılımı tarafından raporlanan sıcaklık değerlerini içeren dönemli veri paketleri üretirler ve bir yönlendirme protokolü kullanarak çok hoplamalı şekilde bu paketleri çıkış düğümlerine ulaştırırlar. Bu raporlama paketleri ortamın sıcaklık haritasının oluşturulmasında kullanılır. Algılayıcıların veri üretim modeli normal ve alarm kipi olmak üzere iki ayrı kipi desteklemektedir. Bu çalışma kiplerinde algılayıcılar sıcaklık okumalarını normal kipte daha uzun, alarm kipinde daha kısa olmak üzere farklı aralıklarla raporlamak-tadırlar. Bu çalışma kipleriyle ilişkili olarak modelde iki ayrı sıcaklık eşiği tanımlanmıştır. İlk sıcaklık eşik değeri algılayıcının normal kipten alarm kipine geçişini belirler. İkinci sıcaklık eşik değeri ise aşıldığı takdirde algılayıcıların tahribine yol açacak olan sıcaklık değerini tanımlamak için kullanılır. Tahrip olmuş olan algılayıcılar algılama ve aktarma işlevlerini durdururlar ve çıkış düğümlerine ulaşmak için alternatif yollar dikkate alınır (Şekil 3).

#### 4.1. Benzetim Planı ve Parametreleri

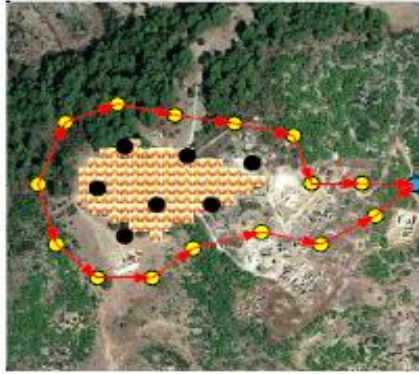
Varsayılan benzetim ayarlarında 400m x 400m lik bir araziye 200 algılayıcı konuşlandırılmıştır. Senaryolarımızda arazi olarak FIRESENSE pilot sitelerinden [15] biri olan Kumluca, Antalya'da yer alan antik Rhodiapolis kenti ve çevresi kullanılmıştır ve yakıt haritaları, eğim/görünüş gibi çevresel parametreler de bu bölgeye göre yapılandırılmıştır. Şekil 4'te benzetimi yapılan yangın senaryosu ve benzetimi yapılan KAA gösterilmektedir. Algılayıcıların alarm kipi sıcaklık eşiği, yüksek risk sezonu olan yaz günlerinde 40°C yi bulan ortam sıcaklığının 20°C üstü olan 60°C olarak belirlenmiştir. Algılayıcıların koruyucu kılıf içinde oldukları varsayılarak tahribat sıcaklık eşikleri 120°C olarak belirlenmiştir. Yönlendirme protokolü olarak algılayıcı tahribatları yaşandığında alternatif yollar bulması için yeniden yapılandırılmış olan MLBRF [16] protokolü kullanılmıştır. Ortam erişim katmanında ise %1 görev döngüsü ile çalışan SMAC [17] protokolü kullanılmıştır. Diğer benzetim parametreleri Tablo

l'de gösterilmektedir. Radyo enerji tüketim parametreleri [18]'te belirtildiği gibi Mica2 Mote algılayıcılarının tipik tüketim değerlerine uygun olarak

ayarlanmıştır. Mote algılayıcılarının tipik tüketim değerlerine uygun olarak ayarlanmıştır.



(a)



(b)

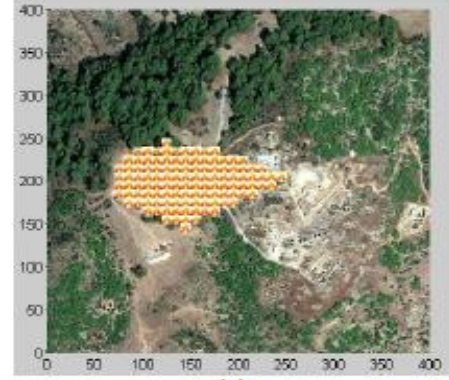
**Şekil 4.** Algılayıcı Tahripleri Sebebiyle KAA Topolojisinin Değişimi

**Tablo 1.** Benzetim Parametreleri

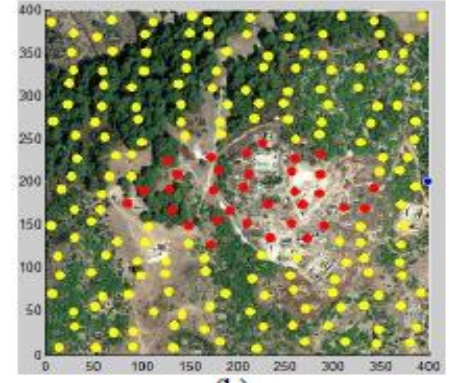
|                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| Normal Zaman Aralığı       | 10 dakika                 |
| Alarm Zaman Aralığı        | 0.25, 0.5, 1, 2, 4 dakika |
| Alarm & İmha Eşikleri      | 60 °C & 120 °C            |
| Bilgi Paketi & Tampon Boyu | 100 bit & 10 paket        |
| Kanal Hızı                 | 250 Kbps                  |
| MAC Katmanı                | SMAC                      |
| Görev Döngüsü              | 1%                        |
| İletim Menzili             | 60 m                      |
| Başlangıç Enerjisi         | 200 J                     |
| TX Güç                     | 81 mW                     |
| RX Güç                     | 30 mW                     |
| IDLE Güç                   | 30 mW                     |
| SLEEP Güç                  | 0.003 mW                  |

#### 4.2. Benzetim Sonuçları

Bu benzetimlerde çıkış düğümü alanın sağ kenarının merkezine yerleştirilmiştir ve EFP de rüzgar yönü ve hızı doğu yönünde 3 mil/saat olarak belirlenmiştir. Yangının yayılımı süresince Şekil 4.b de kırmızı (koyu renk) ile gösterildiği üzere toplam 33 algılayıcı tahrip



(a)



(b)

**Şekil 3.** Benzetimi Yapılan Örnek Yangın Senaryosu ve KAA

olmuştur. Bu deneylerde, algılayıcıların alarm raporlama aralığı değiştirilmiş ve KAA'nın başarımı, rapor iletim oranı (Şekil 5.a), ortalama rapor gecikmesi (Şekil 5.b), sıcaklık haritasının tazeliği (Şekil 6.a) ve başarılı iletilen rapor başına enerji harcaması açısından gözlemlenmiştir. Bir algılayıcıdan raporlanan sıcaklık raporlarının tazeliği saniye cinsinden ölçülmektedir ve çıkış düğümüne ulaşan raporlar arasındaki zaman farkına karşılık gelmektedir. Benzer şekilde, KAA tarafından sağlanan sıcaklık haritasının tazeliği ağ üzerinde bulunan bütün algılayıcıların tazeliklerinin ortalamasıdır.

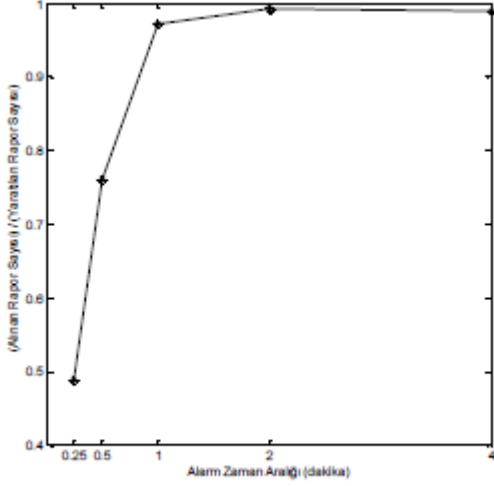
Alarm raporlama aralığı en düşük seviyesinde olduğunda, aşırı miktardaki rapor paketinin neden olduğu yüksek sıkışıklık seviyesinden dolayı rapor iletim oranının düşük, ortalama rapor gecikmesininse çok yüksek olduğunu gözlemliyoruz. Alarm raporlama aralığı 0,5 dakika olduğunda, sıkışıklık seviyesinin hala çok yüksek olduğunu, bunun sonucu olarak iletim oranının 0,8'in altına düştüğünü ve ortalama gecikmenin 50 saniyenin üstüne çıktığını gözlemliyoruz. Alarm raporlama aralığının 1 dakika ve üstü değerleri içinse sıkışıklığın rahatladığını ve KAA başarımının her iki ölçüt açısından da tatmin edici

seviyelerde (iletim oranı 0,9'un üzerinde ve ortalama gecikme 10 saniyenin altında) olduğunu görüyoruz.

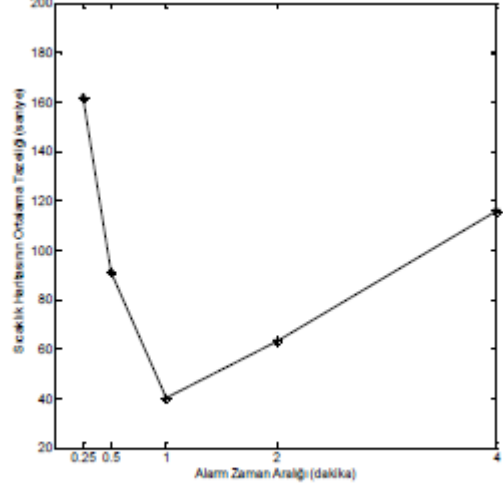
Diğer yandan, Şekil 6.a'daki sıcaklık haritasının ortalama tazelik sonuçları alarm raporlama aralığının, ölçümler arasında en iyi sonucu aldığımız seçenek olan 1 dakika olarak belirlenmesini önermektedir. Tazelik sonuçları, yüksek tıkanıklık seviyesi nedeniyle daha düşük alarm zaman aralıkları için, daha kötü çıkmaktadır. Alarm raporlama aralığını 1 dakikanın üzerine çıkardığımızda, sıkışlık seviyesi düşmesine rağmen, rapor paketleri arasındaki zaman aralığının artması sebebiyle ortalama tazelik süresi

yükselmektedir. Alarm raporlama aralığının 1 dakika olarak belirlendiği durumda, iletim oranı ve ortalama gecikme şekilleride oldukça tatmin edici sonuçlar sağlamaktadır.

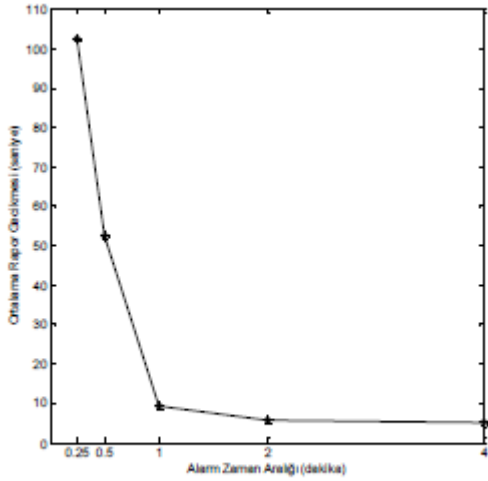
Şekil 6.b KAA'nın başarılı rapor iletimi başına enerji harcaması açısından verimliliğini göstermektedir. Alarm raporlama aralığı yük-seldikçe, ağ tarafından yaratılan rapor paket-lerinin sayısı azalmakta fakat KAA'nın rapor başına harcadığı enerji artmaktadır. Bu sonuç, sabit görev döngüsü ile çalışan MAC proto-kolünden kaynaklanmaktadır ve dinamik görev döngü yönetiminin gerekliliğini ortaya koymaktadır.



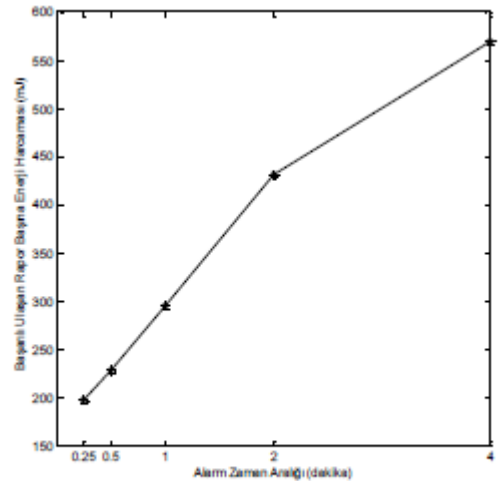
(a)



(a)



(b)



(b)

Şekil 6 Rapor İletim Oranı ve Rapor Gecikmesi

Şekil 5 Sıcaklık Haritası Tazeliği ve Rapor Başına Enerji Harcaması

## 5. Sonuç

Bu çalışmada, orman yangını senaryolarında KAA'nın veri üretim ve iletim başarımlarını ve algılayıcıların imhasının etkilerini değerlendirmek için OPNET benzetim ortamında sıcaklık tabanlı benzetimlerin yapılabilmesini sağlayan bütünleştirme çerçevesinin detayları sunulmaktadır. Bu amaçla, EFP yangın yayı-

lımı benzetim yazılımı verilen algılayıcı ko-numları için sıcaklık haritası çıktısı verebilmesi için çeşitli sıcaklık modelleri eklenerek geliştirilmiştir. Böyle bir bütünleştirme yapı-sı, ağ planlama, yangın tespit/konumlama ve yangın risk değerlendirme alanlarındaki uz-manlara fayda sağlayacaktır.

## Teşekkür

Bu proje Avrupa Birliği 7. Çerçeve (FP7-ENV-2009-1) Programı tarafından FP7-ENV-244088 FIRESENSE numaralı sözleşme ile desteklenmektedir.

## 6. Kaynaklar

[1] The Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) Web Page, <http://noaa.s.noaa.gov/NOAASIS/ml/avhrr.html/>, 2012.

[2] AeroVision Web Page, <http://www.aerovision-uav.com/>, 2012.

[3] B.C. Fire Lookout Towers Web Page, <http://www.firelookout.com/bc.html/>, 2012.

[4] Yick, J., Mukherjee, B., Ghosal, D., “Wireless sensor network survey”, *Computer Networks*, 52 (12) (2008) 2292-2330.

[5] Libelium, Wireless Sensor Networks - ZigBee - Mesh Networks, <http://www.Libelium.com/>, 2012.

[6] Shimmer, Wireless Sensor Platform for Wearable Applications, <http://www.shimmer-research.com/>, 2012.

[7] ARDUINO, <http://www.arduino.cc/>, 2012.

[8] FIRESENSE Project, <http://www.firesense.eu/>, 2012.

[9] OPNET Modeler, <http://www.opnet.com/products/modeler/home.html>, 2012.

[10] Fire Propagation Estimation Software, FIRESENSE, <http://www.firesense.eu/>.

[11] fireLib User Manual and Technical Reference, <http://www.fire.org/downloads/fireLib/1.0.4/firelib.pdf>, 2012.

[12] Manolagos, E. S., Manatakis, D., Xanthopoulos, G., “Temperature field modeling and simulation of wireless sensor network behavior during a spreading wildfire”, In Proceedings of the 2008 European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2008), Lausanne, Switzerland, 2008.

[13] Carbonell, G., Monet J. P., Dusserre, G., Sauvagnargues-Lesage, S., “Embrasement generalise eclaire en feu de foret”, EMA - SDIS 13, 2004.

[14] BEHAVE Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System, <http://www.fs.fed.us/rm/pubs/int/intgtr194.pdf>.

[15] FIRESENSE Pilot Sites, [http://www.firesense.eu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=55&Itemid=103&lang=en](http://www.firesense.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=103&lang=en), 2012.

[16] Isik, S., Donmez, M. Y., Ersoy, C., “Cross layer load balanced forwarding schemes for video sensor networks”, *Computer Networks*, 56 (2) (2012) 615–627.

[17] Ye, W., Heidemann, J., Estrin, D., “Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 12 (3) (2004) 493-506.

[18] Miller, M. J., Vaidya, N. H., “A MAC protocol to reduce sensor network energy consumption using a wakeup radio”, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 4 (3) (2005) 228-242.