

## Hassas Tarımda Kablosuz Algılayıcı Ağların Kullanımı ve Uygulama Alanlarının İncelenmesi

Yusuf DİLAY<sup>1</sup> Hakkı SOY<sup>1</sup> Mehmet BAYRAK<sup>2</sup>

**ÖZET:** Tarımsal faaliyetlerde insan iş gücünün azaltılması, çiftçi refahını sağlarken, üretimin daha verimli ve kaliteli yapılmasını da sağlamaktadır. Özellikle bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmelerin tarım kesiminde kullanımı kaçınılmaz olmuştur. Kablosuz haberleşme sistemlerinde son yıllarda yaşanan hızlı gelişmeler kablosuz ağlar da dâhil olmak üzere pek çok alanda yeni teknolojilerin kullanılabilirliğini mümkün kılmıştır. Geleneksel kablosuz ağlardan farklı olarak kablosuz algılayıcı ağlar (KAA) fiziksel olguları gözetlemek üzere algıladığı veriyi işleyebilen ve birbirleri ile kablosuz ortamda haberleşebilen algılayıcı düğümlerden oluşur. KAA pek çok sivil ve askeri alanda olduğu gibi sulama, gübreleme, ilaçlama vb. tarımsal proseslerin yönetimi için hassas tarım alanında da görev yapabilirler. Bu şekilde KAA yardımıyla üretim miktarı ve ürün kalitesinin artırılması sağlanabilir. Bu çalışmada hassas tarım alanında KAA kullanımı incelenerek literatürde yer alan çeşitli tarımsal uygulamalar gözden geçirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kablosuz algılayıcı ağlar, hassas tarım, sulama yönetimi



## Employment of the Wireless Sensor Networks in Precision Agriculture and Investigation of the Application Areas

**ABSTRACT:** Agricultural activities to reduce the human work force, well-being of farmers, while also making production more efficient and provides quality. Developments in information and communication technologies, especially the use of the agricultural sector was inevitable. In recent years, rapid developments in wireless communication systems have made it possible the availability of new technologies in many areas including wireless networks. Unlike traditional wireless networks, wireless sensor networks (WSNs) consist of sensor nodes to observe the physical phenomena that can process the data and communicating with each other in a wireless environment. WSNs can serve many civilian and military areas as well as in the precision agriculture for the management of agricultural processes such as irrigation, fertilizers, pesticides and similar applications. In this way, the amount of production and product quality can be increased with the help of WSNs. In this study, we examine the use of the WSNs in precision agriculture in the literature and it is reviewed that various agricultural applications.

**Keywords:** Wireless sensor networks, precision agriculture, irrigation management

<sup>1</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Karaman, Türkiye

<sup>2</sup> Mevlana Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: Yusuf DİLAY, ydilay@kmu.edu.tr

## GİRİŞ

Günümüzde dünya nüfusu 6 milyarı aşmış durumdadır. Gelecek 50 yıllık bir süre içerisinde yaklaşık olarak üç milyarlık bir artış daha beklenmektedir. İşlenebilir tarım arazileri hızla azalırken, tarımsal üretimde kullanılan verimli araziler üzerindeki baskılar giderek artış göstermektedir (Daily ve ark., 1998). Özellikle dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılayabilmek için daha geniş anlamda uluslararası işbirliği, sürdürülebilir tarımsal kalkınma, çevreci yaklaşımlar, tarımsal üretimde ileri teknoloji kullanımı gibi konular üzerinde yoğun bir şekilde durulması gerekmektedir (Cox, 2002). Mevcut suyun yetersizliği, toprak verimliliğini koruma zorunluluğu, hayvanları ve bitkileri etkileyen hastalık ve zararlılar, gıda güvenliği ve kalitesi açısından sürekli artış gösteren standartlarla birlikte değerlendirerek çözümler üretmek, insanoğlunun becerisine ve hayal gücüne bağlıdır (Tickel, 1999 ve Bouwer, 2002).

Optimum kazanç, sürdürülebilirlik ve çevre koruma açısından, arazide zamansal ve konumsal olarak değişkenlik gösteren faktörlerin belirlenmesi, analiz edilmesi ve yönetilmesi amacıyla yürütülen bilgi ve teknolojiye dayalı tarımsal üretim sistemi olan hassas uygulamalı tarım teknolojisi özellikle son 10 yılda tarım sektöründe uygulama alanı bulan bir konudur (Robert ve ark., 1995). Hassas uygulamalı tarım, bütün tarım sistemini düşük girdi, yüksek etkinlik, sürdürülebilir tarım açısından tekrar organize eden bir sistem yaklaşımı olarak nitelendirilebilir (Shibusawa, 1998). Bu yeni yöntem asıl olarak; küresel konum belirleme sistemi (GPS), coğrafi bilgi sistemi (GIS), daha küçük bilgisayar bileşenleri, uzaktan algılama (RS), otomatik kontrol, ileri düzeydeki veri işleme yöntemleri, telekomünikasyon gibi birçok teknolojinin ortaya çıkması ve birbirlerine yaklaşmasından fayda sağlamıştır (Gibbons, 2000).

20. yüzyıl içerisinde dünya çapında su tüketimi yedi kat artmıştır. Buna karşın yeraltı su seviyeleri ise düşmektedir. Dünyada yaklaşık 1.1 milyar kişi temiz su olmadan yaşamak zorunda kalabilecektir. Su kıtlığının sorun olacağı açıkça görülmektedir. Bugün, tarım dünya çapında kullanılan tatlı suyun %70'ini insan faaliyetlerinde tüketir. Tarımsal su yönetimi sorunu, yaygın bir görüş olarak kabul edilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde tarımsal faaliyetlerinde iyi bir su yönetimi ile yaklaşık %40 su tasarrufu yapılabilir (Depienne, 2007).

Hassas tarım, tarımda bilgi ve kontrol teknolojilerinin kullanımı anlamına gelir. Toprakta etkili veri toplama ve işleme, bitki verimini maksimum düzeye çıkarmak ve üretimde kullanılan kimyasalların çevre üzerindeki zararlı etkisini en aza indirmek için, kaynakların etkin kullanımı önemli bir gerekliliktir. Günümüzde hassas tarımda kablosuz algılayıcı ağların (KAA) kullanımı çok dikkat çeken önemli bir uygulama alanıdır. Hassas tarım, kalitesini artırmak, üretimi geliştirmek ve çevreyi korumak için, doğru zamanda ve doğru yerde doğru miktarda su, gübre, pestisit, vb. uygulama tekniğidir. KAA bu yaklaşımda önemli bir rol oynar (Shibusawa, 1998)

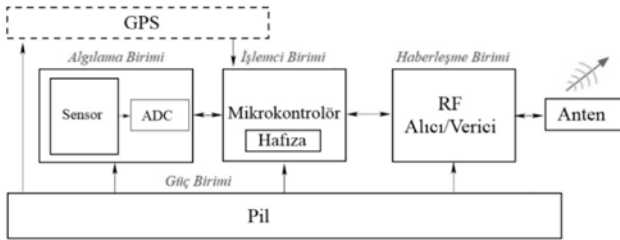
Günümüzde, hassas tarımda KAA çok dikkat çeken önemli bir alandır. Hassas tarım, ürün kalitesini artırmak, üretimi geliştirmek ve çevreyi korumak için, doğru zamanda ve doğru yerde doğru miktarda su, gübre, pestisit vb. uygulanması tekniğidir. KAA bu yaklaşımda önemli bir rol oynar. Genellikle KAA çok fonksiyonlu, düşük güç tüketimi ve düşük maliyetli algılayıcı düğümleri kısa mesafelerde iletişim oluşturur ve küçük boyutludur. Bu ağlar ile hava sıcaklığı, toprak nemi, meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi tarım parametreleri izlemek mümkündür. Sulama zamanının belirlenmesi için topraktaki gerilmelerin WSN ile belirlenmesi mümkün olmaktadır. KAA düğümleri, topraktaki suyun kullanılabilirliği, toprak verimliliği, biokütle verimi, toprak sıkıştırma, bitki verimi, bitki su durumu, yerel iklim verileri, böcek-hastalık-yabancı ot istilası ile ilgili verileri toplamak için kullanılabilir. Genellikle algılayıcı düğümler verileri algılayarak karar destek sistemine (DSS) gönderir. Algılanan veriler toplandıktan sonra belirlenecek tedaviye yardımcı olabilir (Gibbons, 2000).

## KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

KAA genellikle belirli bir coğrafi bölge üzerinde fiziksel olguları (sıcaklık, nem, basınç, hız, ışık, gürültü vb.) gerçek zamanlı olarak gözetlemek üzere bir araya getirilmiş çok sayıda düşük maliyetli algılayıcı düğümden (AD) oluşan mikro-elektromekanik sistemler (MEMS) olarak tanımlanabilir. Askeri, endüstriyel, güvenlik ve tıp alanında uygulamalarının yanında tarım ve hayvancılıkta ortam koşullarının görüntülenmesi için KAA yaygın olarak kullanılmaktadır. Başta ortam koşulları görüntüleme olmak üzere pek çok uygulamada algılama ve haberleşme işlemlerinin yerine getirilmesinde çalışma sahasına rastgele dağıtılan AD'lerin coğrafi konumlarının bilinmesine ihtiyaç duyulur. AD üzerinde bulunan GPS modülü yardımıyla konum bilgisi kolayca elde edilebilir (Akyıldız ve ark., 2002, Zhang ve ark., 2004)



Şekil 1. Genel amaçlı bir AD örneği.



Şekil 2. AD genel donanım mimarisi.

### 2.1. Algılayıcı Düğüm Mimarisi

KAA' da istenilen görevlerin yerine getirilebilmesi için AD'ler algılama, hesaplama, veri saklama ve haberleşme gibi rutin işlemler gerçekleştirir. Bu amaçla Şekil 2'de gösterildiği gibi AD'ler mikro kontrolör, radyo arabirimi ve çeşitli sensörler yanında enerji kaynağı olarak pil ile donatılmıştır. Pratikteki uygulamaların pek çoğunda AD üzerindeki pilin değiştirilmesi veya yeniden şarj edilmesi mümkün değildir. AD'ler sınırlı pil ömrüne sahip oluşmasına rağmen KAA'nın çoğu zaman aylarca durmaksızın hizmet vermesi beklenir. Bu sebepten enerji tüketiminin düşürülerek çalışma ömrünün uzatılması KAA için temel tasarım hedeflerinin başında gelir. Genel amaçlı bir AD için pil ömrünü uzatmak üzere genellikle düşük işlem gücüne ve sınırlı hafıza kapasitesine sahip basit bir mikrokontrolör, çok düşük enerji tüketen bir radyo alıcı/verici (transceiver) arabirimi ve düşük güç harcayan sensörler tercih edilir (Akyıldız ve ark., 2002)

Algılama biriminde sensörler aracılığı ile çalışma ortamından toplanan ham veriler işlemci biriminde lokal ön sinyal işleme (pre-processing) işlemine tabi tutulur. Analog çıkışa sahip sensörler kullanılması durumunda algılayıcı birim üzerinde görev yapan ADC (Analog Digital Converter) yardımı ile sinyaller dijitalleştirilerek işlemci birimine gönderilir. AD'ler sınırlı işlemci gücüne sahip olduklarından veriler üzerinde sayısal sinyal işleme (DSP) ile istatistiksel veri analizi gibi prosesler genellikle enerji ve işlem gücü sınırlaması olamayan merkezi düğüm (MD) üzerinde gerçekleştirilir. Bu sebepten alınan sinyal üzerinde basit koşullandırma (filtreleme, kuvvetlendirme vb.) işlemleri gerçekleştirildikten sonra radyo arabirimi yardımıyla sadece ihtiyaç duyulan veriler kablosuz olarak MD'ye gönderilir (Akyıldız ve Vuran, 2010).

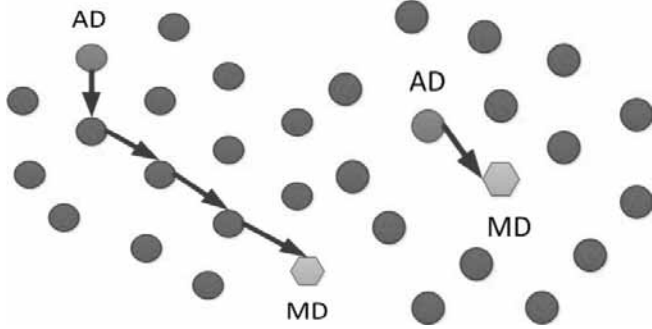
AD'ler radyo alıcı/verici birimi olarak genellikle Chipcon CC2420 benzeri çipler ile donatılırken bazı uygulamalarda haberleşme için radyo frekans (RF) sinyalleri yerine akustik, optik ve manyetik sinyaller kullanılmaktadır. Radyo bağlantısı için genellikle uygulama kolaylığı göz önünde tutularak pek çok ülkede lisanssız olarak kullanılabilen ve IEEE 802.15.4 standartları ile desteklenen 2,4 GHz bandında ISM frekansları tercih edilir. AD'ler için en fazla enerji tüketimi gerektiren görev haberleşme işlemidir. Bu sebepten KAA çalışma ömrünün uzatılması için öncelikle veri transferinde enerji tasarrufu sağlayacak haberleşme protokolleri geliştirilmesine bağlıdır (Akyıldız ve Vuran, 2010).

AD'ler radyo alıcı/verici birimi olarak genellikle Chipcon CC2420 benzeri çipler ile donatılırken bazı uygulamalarda haberleşme için radyo frekans (RF) sinyalleri yerine akustik, optik ve manyetik sinyaller kullanılmaktadır. Radyo bağlantısı için genellikle uygulama kolaylığı göz önünde tutularak pek çok ülkede lisanssız olarak kullanılabilen ve IEEE 802.15.4 standartları ile desteklenen 2,4 GHz bandında ISM frekansları tercih edilir. AD'ler için en fazla enerji tüketimi gerektiren görev haberleşme işlemidir. Bu sebepten KAA çalışma ömrünün uzatılması için öncelikle veri transferinde enerji tasarrufu sağlayacak haberleşme protokolleri geliştirilmesine bağlıdır (Akyıldız ve Vuran, 2010).

### 2.2. Haberleşme Protokolleri

KAA için veri aktarımını düzenlemek amacıyla literatürde çok sayıda farklı paket gönderim planları geliştirilmiştir. Bu planlar genellikle AD'den tek atlamalı (single-hop) olarak doğrudan MD'ye paket gönderimi veya çok atlamalı (multi-hop) olarak AD'lerin birbirleri üzerinden MD'ye paket gönderimi şeklinde gerçekleşir. Bu şekilde ağ üzerindeki herhangi bir AD ya bağımsız bir sinyal kaynağı veya diğer AD'ler tarafından üretilen sinyallerin MD'ye gönderilirken bir sonraki hedefe aktarılmasına aracılık eden bir röle görevinde çalışır.

Çok atlamalı haberleşmede kaynak AD ile MD arasında birbirine çok yakın konumlandırılmış röle AD'ler üzerinden kısa mesafelerde sinyal gönderimi yapıldığından daha az güç harcanarak veri transferi gerçekleştirilirken, aynı zamanda AD yoğunluğu yeterince yüksek olduğunda yol kaybı (pathloss) ve gölgeleme (shadowing) gibi bozucu etkiler de minimuma indirilir. Bu sebepten çok atlamalı haberleşme gerçekte enerji verimliliği yönünden tek atlamalı haberleşmeye göre daha üstündür. Gönderilen paketin AD'lerin enerji tüketimini minimuma indirecek şekilde en kısa yoldan etkin biçimde MD'ye ulaştırılması için literatürde bir takım yönlendirme (routing) algoritmaları geliştirilmiştir (Al-Karaki ve Kamal, 2004, Manjeshwar ve Agrowol, 2001). Enerji verimliliği avantajına karşılık çok atlamalı haberleşmede atlama sayısı arttıkça sistem karmaşıklığının ve paket gönderiminde hata olasılığı artması gibi



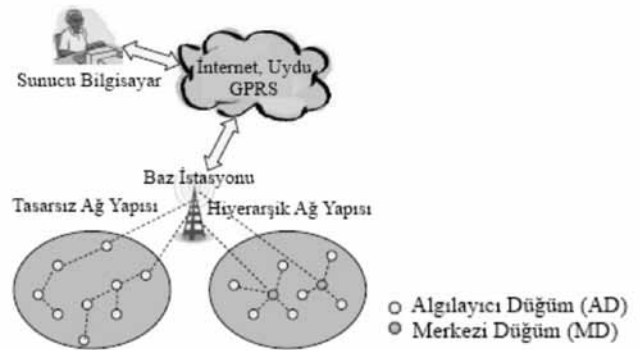
Şekil 3. (a) Çok atlamalı (b) tek atlamalı haberleşme modeli.

bazı dezavantajlar ortaya çıkar (Sharifkhani ve Beaulieu, 2009).

Haberleşme işlemlerinden sorumlu radyo arabirimi hem veri gönderimi (Tx) hem de veri alımı (Rx) gerçekleştirir. Kısa süreli veri transferi dışında radyo arabirimi çoğunlukla boşa bekleme (idle) durumunda kalır. Boşa bekleme durumu için enerji tüketimi veri gönderimi ve alımı için harcanan enerji ile yaklaşık olarak aynıdır. Bu sebepten AD'ler için veri transferine ihtiyaç duyulmadığı zamanlarda radyo arabirimi uyku durumuna alınarak önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanabilir (Akyıldız ve ark., 2002). Ortam koşullarını görüntüleme gibi sorgu tabanlı uygulamalarda periyodik bilgi aktarımı gerekli olduğundan radyo arabirimi çok fazla kullanılır. Buna karşın gözetleme (surveillance) gibi olay tabanlı uygulamalarda sadece belirli koşullar sağlandığında veri transferi gerçekleştirilirken radyo arabirimi çoğunlukla uyku konumundadır.

Çalışma sahası üzerinde dağılmış çok sayıda AD'nin veri transferi organizasyonu ortam erişim kontrolü (MAC) protokolleri ile sağlanır. Haberleşme birimi tarafından harcanan enerji radyo arabiriminin kullanımına göre değişeceğinden kullanılan MAC protokolü sistemin enerji verimliliği üzerinde doğrudan etkilidir. MAC protokolü tasarımında genellikle ağ kaynaklarının (zaman, frekans, enerji vb.) adil ve verimli olarak kullanılması hedeflenir. KAA için MAC protokolleri zaman planı tabanlı (koordineli) ve rekabet tabanlı (rastgele) olmak üzere iki sınıfta gruplandırılabilir (Ye ve ark., 2002).

Zaman planı tabanlı MAC protokollerinde AD'lerin paket gönderimi kanal üzerinde çoklu erişim planları (TDMA, FDMA, CDMA) yardımıyla oluşturulan farklı alt kanallara ayrılır. Böylece her bir AD kendine ayrılan alt kanalı kullanarak paket gönderimi gerçekleştirir. Rekabet tabanlı MAC protokollerinde ise AD'lerin



Şekil 4. İklim koşullarının görüntülenmesinde KAA kullanımı.

kanal erişiminde herhangi bir koordinasyon bulunmaz. AD uygun durumda rastgele paket gönderirler. Rastgele erişimli kanal durumunda en büyük problem farklı AD'ler tarafından eş zamanlı olarak gönderilen paketlerin birbiri üzerinde bozucu etkisinden kaynaklanan çarpışma (collision) olayıdır. Zaman planı tabanlı MAC protokollerinde çarpışma problemi olmadığından rekabet tabanlı MAC protokollerine göre enerji verimliliği çok daha yüksektir (Demirkol ve ark., 2006).

### Hassas Tarımda Kablosuz Algılayıcı Ağların Uygulanması

Hassas tarım elverişsiz iklim değişikliklerine karşı hızlı ve hassas cevap verme imkânı ile birlikte üretimde daha yüksek kalite ve daha düşük iş gücü maliyeti sunar. Bu imkânlardan faydalanmak için geniş bir yayılım alanı üzerinde KAA teknolojisi kullanımı düşünülebilir. Kurulacak KAA ile sıcaklık, nem, solar radyasyon, toprak nemi, nitrojen ve fosfor gibi çözünmemiş inorganikler vb. tarımsal parametrelerin algılanması, çalışma sahasında ölçüm yapılan bölgelerin tanımlanması, karar verme için sahadan merkeze veri transferi ve mevcut kaynakların optimizasyonu gerçekleştirilebilir (Baggio, 2009).

Saha üzerinde sabit konumlu olarak yerleştirilmiş çok sayıda AD ile sıcaklık, nem, solar radyasyon ve barometrik basınç gibi ortam parametrelerinin gelişmiş haberleşme özelliklerine sahip bir MD'e ve buradan da GPRS benzeri teknolojiler ile uzak bir sunucu bilgisayara aktarılması mümkündür. Bu şekilde saha üzerinde belirli bölgelerde ihtiyaç duyulan veriler sorgulanabilirken aynı zamanda ortam koşullarının değişimi kullanıcı dostu basit grafiklerle oluşturulmuş web sayfalarından kolaylıkla izlenebilir. Crossbow firması tarafından üretilen TelosB platformu sahip olduğu Sensirion SHT11 sıcaklık sensörü ile hassas tarım uygulama-

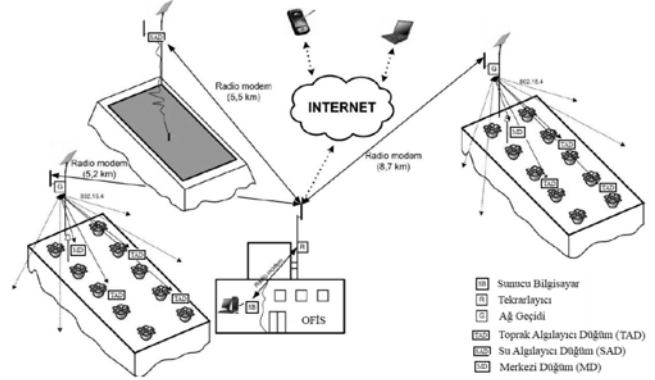


Şekil 5. Üzüm bahçelerinde ortam parametrelerinin izlenmesi amaçlı (a) AD ve (b) MD.

larında yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı firma tarafından üretilen gelişmiş platformlar ile gerçek tarım sahalarında yukarıda sayılan tüm ortam parametrelerinin görüntülenmesi mümkündür (San Jose, 2012).

Üzüm bahçelerinde ortam parametrelerinin algılanması ve uzak sunucu bilgisayara gönderilmesi amacıyla tasarlanan Vine Sense sisteminde kullanılan tarımsal amaçlı bir AD ve MD görevi yapan bir meteoroloji istasyonu Şekil 4 ile gösterilmiştir (Merretve ve Tan, 2010). Sistem içinde maksimum 255 adet AD ve 2500'den fazla sensör kullanılabilir. Üzerindeki yüksek kazançlı antenler yardımıyla yaklaşık olarak 350 metre radyo kapsama alanına sahip AD'lerin çalışması 2200 mAh piller ile sağlanmış olup el değmeden 2-3 yıl kesintisiz olarak hizmet verebilecek yeterliliktedir. İki AD arasında engelsiz doğrudan görüş hattı bulunması durumunda haberleşme mesafesi 600 metreye kadar çıkabilmektedir. MD genellikle elektrik bağlantısı ile pilden bağımsız çalışmakla beraber herhangi bir enerji kesintisi durumunda sahip olduğu küçük boyutlu güneş paneli yardımıyla üzerinde enerji depolama imkânı mevcuttur.

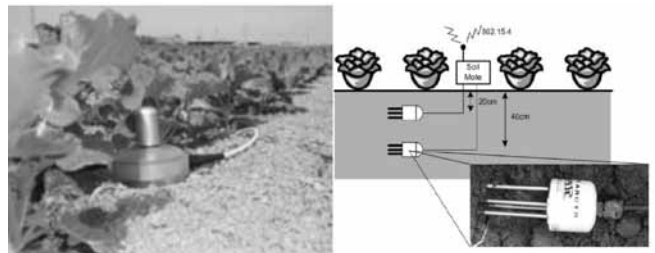
Ortam parametreleri izlenirken genellikle sahada ki tüm AD'lerin sahip oldukları tüm verileri göndermesi yerine sadece ihtiyaç duyulan verilerin gönderilmesi veya algılanan değerlerde belirli bir eşik değerden fazla değişiklik meydana geldiğinde veri aktarımı gerçekleştirilir. Sorgu tabanlı bu tip KAA yapıları özellikle tarımsal uygulamalarda veri trafiği azaltılırken aynı zamanda enerji tasarrufu bakımından önemli kazançlar sağlar. Sorgu tabanlı uygulamalarda sadece AD'lerin algıladıkları ortam parametrelerini MD'ye transferini sağlayacak tek yönlü haberleşme yerine MD'den AD'lere veri aktarımına izin verecek çift yönlü haberleşme tercih edilir. Böylece ortam parametrelerinin görüntülenmesi yanında sulama vanalarının açılıp kapanması gibi bazı kontrol görevleri de gerçekleştirilebilir.



Şekil 6. Sulama ve gübreleme yönetimde KAA kullanımı.

(Lopez ve ark.,2009) tarafından brokoli yetiştiriciliğinde kullanılmak üzere geliştirilmiş KAA örneği Şekil 6'da gösterilmiştir. Sistem tasarımında ürünün toprak parametrelerini (sıcaklık, nem, tuzluluk ve elektriksel iletkenlik) görüntüleyecek özellikte dört adet AD kullanılarak tarımsal sulama ve gübreleme yönetimi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistem ile saha koşulları gerçek zamanlı olarak izlenerek brokoli yetiştirmek için optimum koşullar (tuzluluk 2-4 mmhos/cm sınırında, sıcaklık 10-24°C ve bağıl nem %60-90 arasında) sağlanmıştır.

AD'ler birbirleri ile haberleşmek için IEEE 802.15.4 standardını destekleyecek CC2420 radyo modülleri ile donatılmış ve IP67 koruma sağlayacak şekilde özel kutu ile muhafaza edilmiştir. Ürün mahsul döneminde AD'lerin kesintisiz çalışması için on hafta enerji dayanabilecek 2000 mAh pil gücü sağlanmıştır. AD ölçüm verileri 30 dakika ile 10 gün arasında değişen periyotlarda okunabilirken, pil güçleri de her saat takip edilmektedir. AD üzerinde bulunan iki adet Stevens HydraProbe II (HP2) sensör yardımıyla 20 cm ve 40 cm gibi farklı derinliklerden toprak parametreleri görüntülenebilir. Ayrıca Sensirion SHT71 sensör kullanılarak ortam sıcaklık ve nem değerlerinin izlenmesine imkân sağlanmıştır.



Şekil 7. Brokoli yetiştiriciliğinde toprak parametrelerinin izlenmesi amaçlı AD.

## SONUÇ

Bu çalışmada kablosuz algılayıcı ağların çalışması hakkında temel bilgiler verilerek hassas tarımda son yıllarda gözlemlenen kablosuz algılayıcı ağ uygulamaları gözden geçirilmiştir. Kablosuz haberleşme ve mikro-elektronik sistemlerde yaşanan hızlı gelişmeler doğrultusunda algılayıcı düğüm maliyetlerinin her geçen gün düşmesi kablosuz algılayıcı ağların her geçen gün insan hayatına etkisini artırmaktadır. Özellikle hassas tarım gibi tarla ve sera gibi ürün yetiştirme alanlarında sürekli olarak ortam parametrelerinin gözlemlenmesini gerektiren uygulamalarda kablosuz algılayıcı ağların kullanılması ile ortam koşullarının hassas kontrolü sayesinde ürün kalitesi yükseltilirken aynı zamanda iş gücü kullanımı minimuma indirilir.

## KAYNAKLAR

- Akyildiz, I.F., Su, W., Sankasubramaniam, Y., Cayirci, E. 2002. "Wireless Sensor Networks: a Survey", *Computer Networks*, pp. 393-422, 2002.
- Akyildiz, I.F., Vuran, M.C., 2010. "Wireless Sensor Networks", John Wiley Publishing Company, 2010.
- Al-Karaki, J., Kamal, A., 2004. "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: a Survey", *IEEE Communication Magazine*, Vol. 11, pp. 6-28, 2004.
- Baggio, A., 2009. "Wireless Sensor Networks in Precision Agriculture", CA: Delft University of Technology – The Netherlands Holland, 2009.
- Bouwer, H., 2000. "Integrated Water Management: Energy Issue and Challenges". *J. Agr. Water Manag.* 45;217-228.
- Cox, S., 2002. "Information Technology: the Global Key to Precision Agriculture and Sustainability". *Computers and Electronics in Agriculture*, 36; 93-111.
- Daily, G. C., Dasgupta, P., Bolin, B., Crosson, P., Guernydu, J., Ehrlich, P. R., Folke, C., Jansson, A. M., Jansson, B.-O., Kautsky, N., Kinzig, A., Levin, S., Maller, K.G., Andersen, P., Sinscalco, D., Walker, B., 1998. "Food Production, Population Growth, and the Environment. *Science*", 281:1291- 1292.
- Demirkol, I., Ersoy, C., Alagoz, F., 2006. "MAC Protocols for Wireless Sensor Networks: a Survey," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 44, no. 4, pp. 115-121, 2006.
- Depienne, F., 2007. "Wireless Sensor Networks Application for Agricultural Environment Sensing in Developing Countries". *Ecole Poly Technique Federale De Lausanne, Semester Project Report*.
- Gibbons, G., 2000. *Turning a Farm Art Intoscience/an Overview of Precision Farming*. URL: <http://www.precisionfarming.com>.
- López, J.A., Soto, F., Sánchez, P., Iborra, A., Suardiaz, J., Vera, J.A., 2009. "Development of a Sensor Node for Precision Horticulture", *Sensors*, 9:3240-3255, 2009.
- Manjeshwar, A., Agrawal, D.P., 2001. "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks", In *Proceedings on 15th International Parallel and Distributed Processing Symposium.*, pp.2009-2015, 2001.
- Merretve, G.V., Tan, Y.K., 2010. "Wireless Sensor Networks: Application-Centric Design", *InTech Open*, 2010.
- Robert, P.C., Rust, R.H., Larson, W.E., 1995. "Preface. In: *Proceedings of Site-Specific Management for Agricultural Systems*". Minneapolis, Minnesota, Robert, P.C., Rust, R.H., Larson, W.E. (Eds.). American Society of Agronomy, Madison, WI.
- San Jose, CA, Crossbow Technology Company: USA; Available online: <http://www.xbow.com/>.
- Sharifkhani, A., Beaulieu, N.C., 2009. "A Mobile-Sink-Based Packet Transmission Scheduling Algorithm for Dense Wireless Sensor Networks", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 58, no. 5, pp. 2509-2518, 2009.
- Shibusawa, S., 1998. *Precision Farming and Terra Mechanics*. Fifth ISTVS Asia-Pacific Regional Conference in Korea, October 20-22.
- Tickell, C., 1999. *Water in the 21st Century*. *Landwards* 54(2), 2-5.
- Ye, W., Heidemann, J., Estrin, D., 2002. "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", *Proceedings of INFOCOM 2002, IEEE Computer and Communications Societies, New York (NY)*, pp.1567-1576, 2002.
- Zhang, W., Kantorve, G., Singh, S. 2004. "Integrated Wireless Sensor/Actuator Networks in Agricultural Applications", In *Second ACM International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys)*, pp. 317, 2004.