Tarımda Kablosuz Ağlar

Arif Behiç Tekin[1], Çimen Demirel, Çınar Örün

[1] Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü, İzmir

behic.tekin@ege.edu.tr, cimen.demirel@hotmail.com, cinarorun1905@hotmail.com

Özet: Kablosuz bağlantı, kullanılacak olan alanda kablolu iletişimin zorluklarından kaynaklanan problemleri en aza indirmek için, elektromanyetik dalgalarla verileri havadan ileten esnek bir iletişim sistemidir. Son yıllarda sıkça duyulduğu gibi kablosuz ağ teknolojilerindeki gelişmeler hızla devam etmektedir. Kablolu sistemlerin kullanılmasındaki fiziksel bağlılık, enerjiye ihtiyacın fazlaca olması ve donanım yapılarının fiziksel boyutlarının büyüklüğü gibi kısıtlamalara karşın kablosuz sensör ağ teknolojisi ile pratik, maliyeti düşük, verimli bir şekilde çalışan sistemler gerçeklenebilmektedir.

Bu gün, wireless radyo frekans teknolojilerindeki gelişmeler ve bu teknolojilerin internet ile bütünleşmesi kablosuz sensor sistemlerinin ve network ağlarının geliştirilmesi ve uygulamaya aktarılması ile ilgili muazzam fırsatlar sunmaktadır.

Bu çalışmada, tarımda kullanılan kablosuz iletişim sistemleri anlatılarak, gelecekteki gelişmeler ve beklentiler ile ilgili öngörüler özetlenecektir.

Anahtar Sözcükler: Tarımsal Bilişim, Kablosuz İletişim, Sensör

Wireless Networks in Agriculture

Abstract: Wireless communication is a flexible system, transmitting data via electromagnetic waves on the air by avoiding challenges caused from wire communication in particular environment. Nowadays, as one is aware of latest development, there are fast developments on wireless communication technologies. Despite of challenges on wire communication in rural area such as physical ties, energy consumption, dimension of hardware, wireless communication (network) systems which is more practical, low cost and more effective is adaptable to field condition.

Today, with the development of radio frequency's technology and integration with internet offer huge opportunity for developing wireless communication system and networks and its application.

In this study, wireless communication system will be explained and future development and expectations will be summarized.

Keywords: ICT, Electronic Guidance, GPS

1. Giriş

Tarım, temel gereksinimlerin karşılanmasında, stratejik gıda ve lif üretim sürecidir. Bu stratejik değer tarih içinde ulusların aralarındaki çekişmelerle ve çevresel kısıtlarla defalarca sınanmıştır. Küresel ısınmanın etkilerinin iklim koşullarındaki değişimler/dengesizlikler olarak ortaya çıktığı günümüzde tarımsal üretimin sürdürülebilmesi ve artırılması daha fazla verinin toplanarak analizi ve kullanımı ile olanaklıdır. Gerek duyulan verilerin algılanması ve iletilmesi bilişim teknolojilerinin etkin kullanımı ile mümkündür.

Verimin çevre koşullarına doğrudan bağlı olması nedeniyle, çevre ile ilgili veriler tarım için hayati öneme sahiptir. Değişen çevre koşullarına bitki gelişiminin göstereceği tepki son derece karışıktır. Aslında, bu ilişki şu ana kadar anlaşılan yollardan daha karışıktır. Çünkü bu karmaşa kaosdan kaynaklanmaktadır ve bu kaotik sistemin tahminlenebilmesi ve kontrol edilebilmesi için muazzam bir zaman serili veriye gereksinim duyulmaktadır (Lee ve ark., 2010).

Geleneksel tarımsal üretim sürecinde tarlaların farklı noktalarında farklı miktarlarda verim alınmasına veya tarlaların farklı toprak bünyelerine sahip olabilmesine rağmen büyüklüğü ne olursa olsun bir bütün olarak ele alınan tarlada yetiştirilen bitkinin ihtiyaç duyduğu gübre ve ilaç gibi girdilerin de tüm tarlaya homojen (tekdüze) bir şekilde dağıtılması amaçlanmaktadır. Ancak, son 15-20 yıldır çevrenin ve doğal kaynakların korunumuna yönelik olarak ortaya atılan "sürdürülebilir tarımsal üretim" kavramı, bu girdilerin mümkün olduğunca az ve çok daha dikkatli bir şekilde kullanılması gereği üzerinde durmaktadır. Bu kapsamda tarımsal üretimdeki değişkenliğin ölçülüp sonuçlarını dikkate alarak tarımsal girdilerin uygulanması

gerekmektedir. Hassas tarım olarak tanımlanan bu süreç de başarılı olabilmek için güvenilir ve sürekli veriye gereksinim duymaktadır.

Günümüzde, çevresel veriler (sıcaklık, yağış, nem vb.), toprak ve bitkiye ait üretim verileri (toprak besin elementleri, hastalık ve zararlıların izlenmesi, sulama vb.), hayvansal üretimde gerek birey sağlığı gerekse üretim süreci verileri (bireysel kimlik, süt verimi, aşılama vb), sera, soğuk zincir ve izlenebilirlik sahaları umut veren uygulama alanlarıdır.

Veri toplama, bu verilerin gerekli noktaya/noktalara iletilmesi ve analiz edilmesi tarımsal üretimin işgücü ve zaman gereksinimi yüksek olan bölümlerinden birisidir. Veri, fiziksel ya da kimyasal büyüklükleri elektriksel büyüklüklere çevirerek kullanılabilir formata dönüştüren cihazlar (sensörler) ile toplanmaktadır. Sensörler, algılama, işleme ve iletişim bileşenlerinden oluşmaktadır. İletişim bileşeni, toplanan verileri istenen noktaya kurgulanan sisteme bağlı olarak kablolu/kablosuz bağlantı ile transfer etmektedir. Kapalı alanlarda kullanımı uygun olan kablolu iletişim geniş ve açık alanlarda maliyet, montaj, işletim vb problemler nedeniyle yerini kablosuz veri iletimine bırakmaktadır.

Kablosuz iletişim "radyo dalgası" olarak adlandırılan iletişim sisteminin kullanılması ile uygulanmaktadır. Kablosuz altyapı geleneksel kablolu sistemle kıyaslandığında çok düşük maliyetlerde kurulabilir. Son yıllarda yaşanan teknoloijk gelişmeler, edinme maliyetinin düşmesi, sensörlerin yapısal olarak minyatürize olması ve radyo frekans teknolojisinde elde edilen başarı, sensörlerin ve kablosuz ağların tarımda kullanımının yolunu açmaktadır.

Bu makale de, tarımda kullanılan/kullanılabilecek sensör ve kablosuz ağlar ile ilgili gelişmeler elde edilebilen literatürlerin ışığında aktarılmaktadır.

Kablosuz Sensör Ağları

Kablosuz ağlar kablolu ağlarla kıyaslandığında birçok avantaja sahiptir;

- Kablolamanın önemli ölçüde azaltılarak sistem sadeleştirilmektedir.
- Ağ içinde düğüm noktaları doğrudan ana istasyonla bağlantı kuramadıklarında veri diğer düğüm noktası/noktaları üzerinden bu istasyona yönlendirilmektedir. Otomatik ayarlama ile düğüm noktaları hareket etse bile ağ varlığını korumaktadır. Sensör ağ yapısı geçen 50 yıl içinde önemli değişimler geçirerek günümüzdeki ağ topoğrafyasına ulaşmıştır.
- Fieldbus mimarisinde tüm sensörleri bağlayan yolların kesilme riski devam ederken, kablosuz ağ sistemi kablodan kaynaklanan tüm problemleri ortadan kaldırmaktadır.
- Kablosuz ağ teknolojisi mikro-elektro-mekanik-sistem sensörlerinin sinyal işleme ve radyo üniteleri ile düşük maliyetlerde, düşük enerji tüketimlerinde ve küçük boyutlarda entegre edilmesine izin vermektedir.
- Kablolamanın olası olmadığı uygulamalarda kurulumu mümkündür. Kablolu ağlar alet ve kontrol sistemleri için çok güvenilir ve kararlı olmasına rağmen, kablosuz ağlar oldukça düşük maliyetleri sunmaktadır.
- Taşınabilir olmaları, nakliye araçlarına monte edilerek çevresel verilerin anlık ölçülmesinin yanısıra dönen elemaların üzerine monte edilerek kritik parametrelerin ölçülmesine de olanak sağlamaktadır.

Kablosuz sensör ağı radyo frekans modülleri (RF), sensörler, mikro kontrol üniteleri ve güç kaynaklarından oluşmaktadır (Akyıldız ve ark., 2002). Günümüzde kablosuz ağ teknolojisindeki gelişmeler düşük maliyetli, enerji tüketimi az olan çok fonksiyonlu sensör düğüm noktalarının (node) geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Sensör düğüm noktaları çevrenin algılanmasının yanında veri işlemeye de olanak sağlamaktadır.

Kablosuz ağlarda günümüzde Bluetooth ve ZigBee kullanılan iki standart teknolojidir. Wi-Fi (IEEE 802.11) teknolojisi de her ne kadar kablosuz ağların yapımında kullanılabilse de genellikle PC tabanlı sistemlerde LAN ağının geliştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Söz konusu teknolojiler ile ilgili ayrıntılı bilgi http://wndw.net/ adresinden edinilebilir.

Tarımda Kablosuz Sensör Ağ Uygulamaları

1- İklimsel izleme

Rong-Hua Ma ve ark. (2011) mikro-elektro-mekanik sisteme ve kablosuz ağ teknolojisine dayalı uzaktan hava koşullarını ölçmede kullanılabilecek bir sistem tasarlamışlardır. Tek bir mikroçipte topladıkları farklı algılama birimleri ile sıcaklık, nem, basınç, rüzgâr hızı ve yönünü ölçerek kablosuz ağ üzerinden WSN platformuna iletmişlerdir.

Ayala ve ark. (2011) iklim koşullarını uzaktan izleyebilmek amacıyla uzun menzilli kablosuz örgü ağı (mesh network) geliştirmiştir. Sistem üç ana elemandan oluşmaktadır. Uzaktan bağlantı ünitesi, Ana bağlantı ünitesi ve Ana sunucu. Uzaktan bağlantı ünitesi ISM bandı üzerinden kablosuz olarak 64 km mesafeye kadar nokta-nokta haberleşmesini gerçekleştirmektedir. Ana bağlantı ünitesi ağ içindeki trafiği kontrol ederek uydu ile bağlantıyı sağlamaktadır. Ölçülen ve toplanan veriler Ana sunucu da depolanmakta ve web portalı üzerinden nümerik ve grafiksel olarak son kullanıcıya sunulmaktadır.

Ayday ve Şafak (2009) kablosuz ağların GIS (Coğrafi Bilgi Sistemi) ile entegrasyonu yoluyla nem dağılım haritası üretmişlerdir. Nem sensörleri ile donatılmış düğüm noktaları daha önceden belirlenen noktalara yerleştirmişler ve bu noktaların konumlarını GPS ile belirlemişlerdir. Düğüm noktaları kablosuz ağ ile birbirine bağlanmıştır. Elde edilen veriler GIS kullanılarak değerlendirilmiştir.

Pierce ve Elliot (2008) bölgesel ve çiftlik düzeyinde kurdukları kablosuz sensör ağı ile eş zamanlı olarak hava koşullarını ve don olayının uzaktan izlemişlerdir. Bu altyapı ile hedeflenen yönetimsel uygulamalar kapsamında önemli tarımsal işlemlerin etkinliği artırılabilmektedir.

Vivoni ve Camilli (2003) anlık olarak koordinatlı çevresel verileri elde etmek, depolamak, görüntülemek ve arazide çalışan takımlar arasında ve uzak noktalara iletmek üzere prototip sistem geliştirmişlerdir. Sahada, avuç içi veri toplama üniteleri olan takımlar kendi aralarında veya server ile WLAN üzerinden haberleşmektedir. Tüm takımlardan alınan veriler periyodik olarak GSM üzerinden web/veri serverına raporlanmaktadır. Avusturalya ve USA de yapılan saha testleri veri toplamanın hassasiyetinin ve etkinliğinin artırılabileceğini göstermiştir.

Perkins ve arkadaşları (2002) Motorola laboratuvarlarında geliştirilen düşük maliyetli ve enerji tüketimi az kendi kendine organize olabilen sensör ağını neuRFon® takdim etmişlerdir. Sistem, tarımsal, çevresel ve işlem parametrelerinin algılanmasında kullanılabilmektedir.

Küresel ısınmaya bağlı olarak yaşanan iklimsel değişimler ve dengesizlikler, bölge ve çiftlik düzeyinde bu değişimlerin izlenmesini gerekli kılmaktadır. Bu amaçla, Rusko ve arkadaşları (1999) yüzey akustik dalga rezinatörü kullanarak sensör ve pasif uzaktan tanımlama sistemi geliştirmişlerdir. Sistem çevresel izleme uygulamaları için uzun ömürlü ve çevresel uyumluluk özelliklidir.

2- Hassas Tarım

Değişkenliğin yönetilerek karar verme doğruluğunun artırılması hedeflenen bu yeni yaklaşımın gerek duyduğu veri bulutu kablosuz ağlarla birlikte çalışan sensörlerin kullanımı ile olanaklıdır. Bu çerçevede, kablosuz sensörler;

a- Mekansal veri toplamada,
b- Hassas sulama uygulamasında,
c- Değişken düzeyli uygulama teknolojisinde,
d- Üreticilere veri tedarikinde kullanılmaktadır.

Mekansal veri toplama

Gomide ve ark. (2001) bitkisel üretimde veri yönetimi ve mekânsal değişkenlik çalışmalarında kullanılmak üzere mobil veri toplama ve laboratuar sistemini tasarlamışlardır. Birimler arası iletişim radyo frekansı üzerinden yapılmaktadır. Sistem, ekim, dikim ve hasat sırasında elektronik donanımlar kullanarak ilgili konumsal veriler toplanmakta, tarla koşullarında tarımsal üretimin performansının iyileştirilmesi ve girdi kullanım rasyonelliğini sorgulayarak toprak-su-bitki-atmosferin fiziksel ve biyolojik özellikleri izlemektedir. Otomatik olarak ölçüp radyo frekansı ile toplamaktadır.

Lee ve ark. (2002) GPS, yük hücresi, nem sensörü ve Bluetooth haberleşme modülüne sahip bir silaj verim haritalama sistemi geliştirdiler. Kıyıcı ünite üzerine yerleştirilen Bluetooth haberleşme modülü, nem verilerini ana bilgisayara iletmektedir.

Mahan ve Wanjura (2004) infrared termometreyi kullanarak tarla içinde veri toplayabilecek bir sistem geliştirmişlerdir. Sistem, araziden verileri toplayarak uzak mesafelere iletmek üzere infrared sensörler, PLC ve radyo alıcı-vericisinden oluşmaktadır.

Hassas sulama uygulaması

Shinghal ve ark. (2010) patates tarımında kurdukları sistem ile sulama performansını artırmışlardır. Geliştirdikleri sulama yönetim modeli matematiksel hesaplamalar ile tarımsal parametreleri hesaplayabilmektedir. Kablosuz ağlar kullanılarak tarımsal parametreler (su derinliği, toprak su tansiyonu ve sistem kapasitesi gibi) en iyi verim ve sistem etkinliğini artırma amacıyla optimum toprak su tansiyonunu korumak için ve sulama etkinliği artırmak için tahminlenmiştir.

O'Shaughnessy ve Evett (2010) dairesel hareketli sulama makinaları üzerine monte ettikleri kızılötesi termometreler ile bitki kanopisinin sıcaklığını ölçerek uygulayıcıların otomatik kontrol edilmesini ve sulama takviminin optimizasyonu sağlamışlardır. Termometreler ve diğer devre elemanları kablosuz ağ ile biribirine bağlanmıştır.

Damas ve ark. (2001) 1500 ha sulanabilir arazide uzaktan kontrol edilen otomatik sulama sistemini geliştirerek test etmiştir. Saha yedi alt bölgeye bölünerek 1850 hidrant kurulmuştur. Her bir alt bölge kontrol birimi tarafından izlenmekte ve kontrol edilmektedir. Yedi kontrol birimi WLAN üzerinden haberleşmektedir. Testler su kullanımında %30-60 tasarruf yapılabileceğini ortaya koymuştur.

Evans ve Bergman (2003) doğrusal hareketli ve dairesel hareketli sulama sistemleri üzerinde yaptıkları çalışmalarda üretici tercihleri, uzaktan algılama ve hava koşulu verilerini kullanarak sulama sıklığını belirlemede kablosuz sensörler ve sensör ağlarını kullanmışlardır.

Hassas uygulama teknolojisi

Cugati ve ark. (2003) meyve tarımında kullanılması amacıyla otomatik gübre dağıtma makinası geliştirmiştir. Sistem, GPS modülü, sensörler, optimum kalite ve dağılımı hesaplamak üzere karar

destek modülü ve uygulama normunu regüle etmek üzere output modülünden oluşmaktadır. Modüller arası haberleşme Bluetooth üzerinden gerçekleşmektedir.
McKinion ve ark. (2003) satın aldıkları kontrol ünitesinin LAN portuna bağladıkları radyo modülü ile çiftlik ofisinde bulunan bilgisayarının bağlı olduğu radyo modülü arasında iletişimi kurarak, uygulama haritasını kolayca yüklemişlerdir. Uygulama haritası internet üzerinden daha uzak mesafelerden de yüklenebilmiştir. Bu yolla "Zaman Kısıtı" olan tarımsal işlemlerde uygulama haritalarının SD kartlar ile taşınarak kontrol ünitesine yüklenmesi sırasında yaşanacak gecikmelerin önüne geçilerek "zamanlılık maliyeti" minimize edilebilmektedir.

Üreticilere veri tedariki

Valente ve ark. (2011) bağlarda anlık don olayını izlemek amacıyla tasarladıkları sistemde birimler arası haberleşmeyi kablosuz ağ ile sağlamışlardır. Yapılan çalışmada algılama sistemi (bitki ile ilgili verileri anlık olarak izeleyen kablosuz sensör ağı), portatif bağlantı noktası (mini hava aracı tarafından taşınan, sabit düğüm noktaları ile bağlantı kuran dinamik veri toplayıcı) ve uzak mesafe haberleşme birimi (GPRS) kullanılmıştır.
McKinion ve ark. (2003) çiftlikte danışmanlık yapan personelin kullanımına sunmak üzere tasarladıkları kablosuz ağ ile keşif ve gözlem sırasında iki yönlü dosya gönderim işini gerçekleştirebilmiştir. Sistem, araç üzerinde bulunan laptop, radyo anteni ve çiftlik binasında bulunan ilgili donanımlardan oluşmaktadır. Uzman araçtan ayrılması durumunda avuç içi bilgisayar yardımıyla iletişim korunmuştur. Bu bilgisayar GPS modülü ile de donatılmış olup GIS yazılımına sahiptir.
Jensen ve ark. (2000) hava tahmini ve hastalık ve zararlılarla ilgili bilgileri sunmak üzere bir web sunucusu tasarlamışlardır. Çiftçiler internet üzerinden bilgileri indirerek bireysel işlem takvimlerini planlamakta kullanmaktadır.
Flores (2003) yürüttüğü çalışmada kişisel bilgisayarlarına, dizüstü bilgisayarlarına ya da avuç içi bilgisayarlarına yüksek hızda hava fotoğraflarını indirmede kullanabilecekleri bir kablosuz ağ geliştirmişlerdir. Sayısal fotoğraflar hassas tarım uygulamaları için kullanılmıştır.

3- Makine ve Proses Kontrolünde (M2M)

Bu teknoloji, kablolu ya da kablosuz olarak makine-makine, makine-mobil ya da mobil-makine arasındaki haberleşmeyi desteklemektedir. Söz konusu teknolojisi sistem otomasyonunu oldukça geliştirmekte, IT sistemleri ile soyut değerlerin sistem içinde entegrasyonunu sağlamaktadır. Bu teknoloji; araç dümenleme, makine yönetimi, robotik kontrol ve işlem kontrolünü kapsamaktadır (Wang et ark., 2006).

Kablosuz ağ ile taşıtlar arasında anlık bilgi paylaşımını sağlayan bir sistem Guo ve Zhang (2002) tarafından tasarlanmıştır. Sistem laboratuar ve tarla koşullarında test edilerek master-slave taşıt dümenlemesinin ve kablosuz veri transferinin olurluğu ortaya konmuştur.

Charles ve Stenz (2003) ilaçlama işlemleri için otonomus bir traktör üretmişlerdir. İlaçlama sırasında traktör kullanıldığı sürenin % 90'ında otonomus olarak hareket etmiştir. Bu traktör, radyo linki üzerinden hassas olarak kontrol de edilebilmektedir.

Ribeiro ve ark. (2003) narenciye ve zeytin bahçelerinde ilaçlama işinde kullanmak üzere otonomus traktör geliştirmişlerdir. İnsansız traktörlerin kablosuz olarak uzaktan kontrol edilebilmesi için kullanıcı dostu bir görsel araç geliştirmilerdir.
Stentz ve ark. (2002) yarı otomatik traktör filolarını kontrol etmek için operatör ve traktörler arasında haberleşen kablosuz hat geliştirmişlerdir.
Mc Kinion ve ark. (2003,2004) Çiftlik binası ile makinalar (pamuk toplama makinası, ilaçlama makinası, avuç içi bilgisayar vb.) arasında haberleşmede kullanılacak bir kablosuz veri iletim sistemi kurmuşlardır. Sistem çift yönlü hızlı veri iletimine olanak sağlamaktadır.
Krallmann ve Foelster (2002) tarım makinalarının boşta geçen zamanlarını azaltmayı ve tarla etkinliğini artırmayı sağlayan bir sistem geliştirmişlerdir.

4- Tesis Otomasyonu

Seracılıkta ve hayvansal üretimde aydınlatma kontrolü, enerji yönetimi, sulama planlaması, erişim kontrolü, yapısal izleme gibi işlemlerde kablolu sistemlerin yıllardır kullanımda olmasının yanı sıra kablosuz sistemler de son yıllarda hızla geliştirilerek pazara sunulmaktadır.

Serˆodio ve ark. (2001) sera kontrolü birçok seranın aynı anda kontrol edilebildiği bir veri toplama ve kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Veri iletimi için birçok iletim tekniğini kullanılmıştır. Sera içinde 433.92 Mhz radyo frekansında kablosuz iletişim ile sensörleri yerel kontrol ünitesine bağlanmıştır. CAN (Controller Area Network) ile yerel kontrol ünitesi ve uygulayıcı araçlar birbirine bağlanmıştır. Diğer bir RF linki ile (458 MHz) yerel kontrol üniteleri merkezi bilgisayara bağlanmıştır. Ethernet üzerinden uzak noktalara yüksek hızda veri transferi sağlanmıştır.

Morais ve ark. (1996) Potekiz de kurulu olan seralar için iç ve dış ortam iklim verilerini kaydetmek için kablosuz veri iletim ağı kurmuşlardır. Birçok güneş enerjisi ile çalışan veri toplama istasyonu iç ve dış ortam iklim verilerini ölçmek ve izlemek için yerleştirilmiştir. Bu veri toplama istasyonları ve ofis

bilgisayarı arasında kablosuz ağ ile bağlantı kurularak hem istasyonlar gözlenmiş hem de veriler kayıt edilmiştir.

Liu ve Ying (2003) bluetooth teknolojisini kullanarak sera izleme ve kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Sistem sera içindeki sensör ağıından çevre verilerini toplayarak merkezi kontrol ünitesine iletmektedir.

Mizunuma ve ark. (2003) çiftlik arazilerinde ve serada bitki gelişimini izlemek üzere kablosuz ağ kurmuşlardır. Sistem ile üretim sistemi uzaktan kontrol edilebilmektedir. Bu tip bir kontrol stratejisinin verimliliği ve işçi gereksiniminin düşürüleceğini raporlamışlardır.

Lea-Cox ve ark. (2007) sıcaklık, nem, elektriksel geçirgenlik, günlük fotosentetik radyasyon ve yaprak ıslaklığını anlık ölçmek üzere bir kablosuz sensör ağı tasarlamışlardır. Sistem, aşırı sulama kaynaklı hastalık problemlerindeki azalma, daha etkin su ve gübre kullanımı ve iyileştirilmiş bitki gelişimi şeklinde yarar sağlamaktadır.

Sonuç

Bu makalede, kablosuz ağların tarımda kullanım alanları üzerine yapılmış çalışmalardan örnekler sunulmuştur. Kablosuz ağlar, kurulum kolaylığı, maliyet düşüklüğü vb. avantajları nedeni ile kablolu ağlar yerine tercih edilmektedir. Özellikle geniş alanlarda, ölçümler yaparak elde edilen verilerin iletimi ve kayıt edilmesi kablolu ağların kullanımını sınırlayarak radyo frekansı ile haberleşmeyi zorunlu kılmaktadır.

Kablosuz ağlar sahip olduğu sayısız avantajı ile tarımsal üretimin geniş bir yelpazesinde yerini almaktadır. Bu yelpazenin genişleyeceği ve kablosuz ağların kullanımının giderek artacağı düşünülmektedir. Bu konu da yapılacak çalışmaların tarımsal üretime doğrudan katkı yapacağı açıktır.

Yararlanılan Kaynaklar

1. Akyildiz, I.F.; Su, W.; Sankarasubramaniam, Y.; Cayirci, E. Wireless sensor networks: a survey. Comput. Netw. 2002, 38, 393-422.
2. Anonim, 1998. *An Introduction to Soil Search Labs*. (http://www.soilsearch.com) s:3, 1998.
3. Anonim, 2007. Wireless Networking in the Developing World. *http://wndw.net/*
4. Ayala, M. Toledano., Ruiz, G. Herrera., Soto-Zarazúa, M.Genaro., Rivas-Araiza, A.Edgar., Trujillo, B.Rey., Porrás-Trejo, E. Rafael., Long-Range Wireless Mesh Network for Weather Monitoring in Unfriendly Geographic Conditions. Sensors 2011, 11, 7141-7161; doi:10.3390/s110707141
5. Ayday, C.; Safak, S. Application of wireless sensor networks with GIS on the soil moisture distribution mapping. In Symposium GIS Ostrava 2009 - Seamless Geoinformation Technologies, Ostrava, Czech Republic, 2009.
6. Charles, K., Stenz, A., 2003. Automatic Spraying for Nurseries. USDA Annual Report. Project Number: 3607-21620-006-03. September 22, 2000–August 31, 2003. USDA, USA.
7. Cugati, S., Miller, W., Schueller, J., 2003. Automation concepts for the variable rate fertilizer applicator for tree farming. In: The Proceedings of the 4th European Conference in Precision Agriculture, Berlin, Germany, June 14–19.
8. Evans, R., Bergman, J., 2003. Relationships Between Cropping Sequences and Irrigation Frequency under Self-Propelled Irrigation Systems in the Northern Great Plains (Ngp). USDA Annual Report. Project Number: 5436-13210-003-02. June 11, 2003–December 31, 2007.
9. Flores, A., 2003. Speeding up data delivery for precision agriculture. Agric. Res. Mag.: The United State Department of Agriculture (USDA) 51 (6), 17.
10. Guo, L.S., Zhang, Q., 2002. A wireless LAN for collaborative off-road vehicle automation. In: Proceedings of Automation Technology for Off-Road Equipment Conference, Chicago, Illinois, USA, July 26–27, pp. 51–58.
11. Jensen, A.L., Boll, P.S., Thysen, I., Pathak, B.K., 2000. Pl@nteInfo: a web-based system for personalized decision support in crop management. Comput. Elect. Agric. 25, 271–293.
12. Krallmann, J., Foelster, N., 2002. Remote service systems for agricultural machinery. In: Proceedings of the 2002 ASAE Automation Technology for Off-Road Equipment, Chicago, Illinois, USA, July 26–27, pp. 59–68.
13. Lea-Cox, J.D.; Kantor, G.; Anhalt, J.; Ristvey, A.; Ross, D.S. A wireless sensor network for the nursery and greenhouse industry. In Southern Nursery Association Research Conference, Vol. 52,2007.
14. Lee, W.S., Burks, T.F., Schueller, J.K., 2002. Silage yield monitoring system. ASAE Paper No.: 02-1165. The American Society of Agriculture Engineers, St. Joseph, Michigan, USA.
15. Liu, G., Ying, Y., 2003. Application of Bluetooth technology in greenhouse environment, monitor and control. J. Zhejiang Univ., Agric. Life Sci. 29, 329–334.
16. Ma, Rong-Hua., Wang, Yu-Hsiang., Lee, Chia-Yen., 2001. Wireless Remote Weather Monitoring System Based on MEMS Technologies. Sensors 2011, 11, 2715-2727; doi:10.3390/s110302715

17. Mahan, J.,Wanjura, D., 2004. Upchurch, Design and Construction of aWireless Infrared Thermometry System. The USDA Annual Report. Project Number: 6208-21000-012-03. May 01, 2001–September 30, 2004.
18. McKinion, J.M., Jenkins, J.N.,Willers, J.L., Read, J.J., 2003. Developing a wirelessLANfor high-speed transfer of precision agriculture information. In: Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture, Berlin, Germany, June 15–19, pp. 399–404.
19. McKinion, J.M., Turner, S.B., Willers, J.L., Read, J.J., Jenkins, J.N., McDade, J., 2004a. Wireless technology and satellite Internet access for high-speed whole farm connectivity in precision agriculture. Agric. Syst. 81, 201–212.
20. McKinion, J.M., Turner, S.B., Willers, J.L., Read, J.J., Jenkins, J.N., McDade, J., 2003. Wireless technology and satellite internet access for high-speed whole farm connectivity in precision agriculture. Agricultural Systems Volume 81, Issue 3, September 2004, Pages 201-212
21. Mizunuma, M., Katoh, T., Hata, S., 2003. Applying IT to farm fields—A Wireless LAN. NTT Tech. Rev. 1, 56–60.
22. Morais, R., Cunha, J.B., Cordeiro, M., Serodio, C., Salgado, P., Couto, C., 1996. Solar data acquisition wireless network for agricultural applications. In: Proceedings of the 19th IEEE Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, Jerusalem, Israeli, November 5–6, pp. 527– 530.
23. Perkins, M., Correal, N., O'Dea, B., 2002. Emergent wireless sensor network limitations: a plea for advancement in core technologies. In: Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Sensors, Orlando, Florida, USA, June 12–14, pp. 1505–1509.
24. Pierce, F.J.; Elliott, T.V. Regional and on-farm wireless sensor networks for agricultural systems in Eastern Washington. Comput. Electron. Agric. 2008, 61, 32-43.
25. Ribeiro, A., Garcia–Perez, L., Garcia-Alegre, Guinea, M.C., 2003. A friendly man-machine visualization agent for remote control of an autonomous tractor GPS guided. In: The Proceedings of the 4th European Conference in Precision Agriculture, Berlin, Germany, June 14–19.
26. Rusko, M., Buff, W., Binhack, M., Goroll, M., Ehrenpfordt, J., Klett, S., 1999. Passive resonator identification TAG for narrow-band wireless telemetry. In: Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium, vol. 1, Caesars Tahoe, NV, USA, October 17–20, pp. 377–380.
27. S. A. O'Shaughnessy, S. R. Evett., 2010. Developing Wireless Sensor Networks For Monitoring Crop Canopy Temperature Using A Moving Sprinkler System As A Platform. Applied Engineering in Agriculture. Vol. 26(2): 331-341
28. Serˆodio, C., Cunha, J.B., Morais, R., Couto, C.A., Monteiro, J.L., 2001. A networked platform for agricultural management systems. In: Computers and Electronics in Agriculture, vol. 31. Elsevier, pp. 75–90.
29. Shinghal, K.; Noor, D.; Srivastava, D.; Singh, D. Wireless Sensor Networks in Agriculture: For Potato Farming. Int. J. Eng. Sci. 2010, 2, 3955-3963.
30. Stentz, A., Dima, C., Wellington, C., Herman, H., Stager, D., 2002. A system for semi-autonomous tractor operations. Autonomous Robots 13, 87–104.
31. Valente, J, Sanz, D., Barrientos A. , Cerro, J., Ribeiro, Á., Rossi, C. 2011. An Air-Ground Wireless Sensor Network for Crop Monitoring. Sensors 2011, 11, 6088-6108; doi:10.3390/s110606088
32. Vivoni, E.R., Camilli, R., 2003. Real-time streaming of environmental field data. Comput. Geosci. 29, 457–468.