



Sera Çevre Koşullarının Nesnelerin İnterneti Tabanlı İzleme ve Analiz Sistemi ile Denetlenmesi

Ali Çaylı^{1*}, Adil Akyüz², Abdullah Nafi Baytorun³, Sedat Boyacı⁴, Sait Üstün², Fatma Begüm Kozak⁵

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Türkoğlu Meslek Yüksekokulu, 46880 Kahramanmaraş, Türkiye

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 46050 Kahramanmaraş, Türkiye

³Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 01125 Adana, Türkiye

⁴Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 40220 Nevşehir, Türkiye

⁵Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 46050 Kahramanmaraş, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

Geliş 20 Nisan 2017

Kabul 30 Mayıs 2017

Anahtar Kelimeler:

Kablosuz sensör ağları

Nesnelerin interneti

IOT

Seralar

Sera çevre koşulları

*Sorumlu Yazar:

E-mail: alicayli@ksu.edu.tr

ÖZET

Kablosuz sensör ağı uygulamaları ile Nesnelerin İnterneti (Internet of Things) olarak adlandırılan makineler arası iletişim (M2M), düşük veri aktarım hızı ve uygun maliyetle nesnelere veri toplanmasına, analiz edilmesine ve karar destek sistemleri sayesinde de karmaşık sistemlerin kontrolünde karar vericilere yardımcı olmaktadır. Özellikle düşük gelirli kırsal alanlarda çevre yönetimi ve tarım politikalarının izlenmesini ve tarımsal üretimi geliştirmek için bu teknolojiler yeni olanaklar sunmaktadır. Bu çalışmada, düşük maliyetli, esnek ve ölçeklenebilir bir veri toplama ve analiz sistemi ile nesnelerin interneti uygulaması önerilmektedir. Bu amaçla açık kaynak donanım mikro işlemci kartları ile sensörlerden IEEE 802.15.4 Zigbee kablosuz iletişim protokolü ile alınan veriler sera bilgisayarı veri tabanında depolanmıştır. Sera bilgisayarı üzerinde PHP programlama diliyle geliştirilen yazılım ile veriler analiz edilebilmektedir. Sera bilgisayarından verilerin anlık olarak izlenmesi aynı zamanda uyarı kuralları ve işlem tanımları yapılabilmektedir. Sistem, sera koşullarında test edilmiştir. Veri aktarımı ve işlenmesi ile sensör ölçümleri gibi işlemleri istikrarlı olarak yaptığı gözlenmiştir. Önerilen sistem, modüler yapısı sayesinde ve özellikle küçük işletmeler için, iç ortam iklim verilerinin izlenmesi, havalandırma, sulama ve ısıtma sistemlerinin kontrol edilmesi amacıyla faydalı olabilir.

Turkish Journal Of Agriculture - Food Science And Technology, 5(11): 1279-1289, 2017

Control of Greenhouse Environmental Conditions with IOT Based Monitoring and Analysis System

ARTICLE INFO

Research Article

Received 20 April 2017

Accepted 30 May 2017

Keywords:

Wireless sensor networks

Internet of things

IOT

Greenhouses

Greenhouse environmental conditions

*Corresponding Author:

E-mail: alicayli@ksu.edu.tr

ABSTRACT

Wireless sensor networks applications and inter-machine communication (M2M), called the Internet of Things, help decision-makers to control complex systems thanks to the low data-rate and cost-effective data collection and analysis. These technologies offer new possibilities to monitor environmental management and agricultural policies, and to improve agricultural production, especially in low-income rural areas. In this study, IoT is proposed with a low cost, flexible and scalable data collection and analysis system. For this purpose, open source hardware microprocessor cards and sensors are stored in the greenhouse computer database using the IEEE 802.15.4 Zigbee wireless communication protocol. The data can be analyzed by greenhouse computer analysis software, which is developed with the PHP programming language. It is possible to monitor the real time data from the greenhouse computer. Also alert rules definitions can be made and the system was tested in greenhouse conditions. It has been observed that it performs operations steadily such as data transfer, sensor measurements and data processing. The proposed system may be useful for monitoring indoor climate and controlling ventilation, irrigation and heating systems, especially for small enterprises due to the modular structure.

DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i11.1279-1289.1282>

Giriş

Nesnelerin interneti tanımı ilk olarak, Kevin Ashton tarafından, fiziksel dünyadaki nesnelerin algılayıcılarla internete bağlanabileceği bir sistemi tanımlamak için 1999'da kullanılmıştır (Ashton, 2009). Bu teknoloji, elektronik minyatürleştirme ve ağ bağlantılarındaki gelişmeler sayesinde bir kablosuz ağ üzerinden birbirleri ile iletişim kurabilen, Internet ağı üzerinden web teknolojisi ile erişilebilen ağ cihazları ve sensörlerden oluşmaktadır. Nesnelerin İnterneti, veri toplama, iletim, işleme, işletme yönetimi vb. için geçerli, yeni nesil bilgi teknolojilerinin önemli bir parçasıdır ve insanlara bilgi toplamak ve işlemek için yeni bir yol açmıştır (Shi, 2015). Aynı zamanda bilgi işlem ve iletişimin geleceğini temsil eden bir gelişmedir ve kablosuz sensörlerden nano teknolojiye kadar bir dizi önemli alanda dinamik ve teknik yenilik getirmektedir (Zhao ve ark., 2010).

Genel olarak, algılama, iletim ve uygulama katmanlarından oluşan bu teknoloji, nesnelerin ilgili bilgilerini, uzaktan algılama ve izlemeyi mümkün hale getirmiştir. Algılama katmanında veri toplama ve bilgi sağlama amacıyla kullanılan temel öge sensörlerdir. Bu cihazlar sabit veya hareketli kullanım amacıyla tasarlanabilmektedir. Hâlihazırda tarımsal alanda kullanılan, elektriksel iletkenlik (EC), toprak nemi, sıcaklık, oransal nem ve ışık sensörleri bunlardan bazılarıdır. Son yıllarda pasif, batarya içermeyen, temassız, elektriksel direnç ölçüm sensörleri ve bitkilerin fizyolojik durumunu tespit eden sensörler üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır (Steinberg ve ark., 2016; Zarco-Tejada ve ark., 2014). İletim katmanında, kablosuz sensör ağı (KSA) ve RFID teknolojilerine sahip cihazlar ile WiFi, bluetooth, GPRS gibi geleneksel kablosuz iletişim protokollerinin yanında, bu amaç için tasarlanmış IEEE 802.15.4 standardı ve Zigbee gibi yeni nesil protokoller kullanılmaktadır. Yazılım katmanı ise web tabanlı mobil uygulamalar başta olmak üzere, mikroişlemci (MCU) yazılımlarını, sunucu ve bulut bilişim yönetim yazılımları ile makineler arası iletişim protokolü (M2M) yazılımlarını kapsamaktadır.

İletişim için MQTT, XMPP, CoAP ve HTTP gibi farklı protokoller kullanılmaktadır. MQTT (Message Queue Telemetry Transport), 1999'da IBM ve Arcom'tan Arlen Nipper (şimdi Eurotech) tarafından oluşturulmuş bir MQTT broker için yayınlama ve abonelik mekanizmasına dayanan, kısıtlı cihazlar ve düşük bant genişliği, yüksek gecikme süresi veya güvenilirlik ağlar için tasarlanmış son derece basit ve hafif bir yayıncı/abone mesajlaşma protokolüdür. Ağ bant genişliğini ve cihaz kaynak gereksinimi en az düzeyde, aynı zamanda güvenilirliği ve teslimatın bir ölçüde doğruluğunu sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Özellikle düşük bant genişliği ile istemci cihazların daha düşük enerji harcamasını sağlar (MQTT, 2017). İletişim TCP 1883 portundan, ya da rasgele bir ağ soketi üzerinden yapılmaktadır. Aynı zamanda güvensiz, kullanıcı adı-parola ve TLS/SSL olmak üzere üç güvenlik seviyesi sağlar. MQTT'nin bir diğer avantajı, en çok bilinen (Mosquitto, 2017) ve (Paho, 2017) gibi farklı programlama dillerinde ve açık kaynak uygulamalarının bulunmasıdır. ZigBee gibi KSA protokolleri üzerinde kullanılmak üzere tasarlanan, MQTT'nin bir varyasyonu olan MQTT-SN (Stanford-Clark ve Truong, 2013)

sürümü de bulunmaktadır (Cendón, 2015).

(XMMP, 2017) (Genişletilebilir Mesajlaşma ve Durum Protokolü), başlangıçta açık mesajlaşma uygulamaları için tasarlanan, XML temelli, yayınlama ve abone olma mekanizmasına sahip bir uygulama protokolüdür. İlk başlarda mesajlaşma protokolü olarak düşünülse de sonraki yıllarda oyun, dosya transferi, akıllı şebekeler ile M2M ve nesnelerin interneti uygulamalarında yaygın olarak kullanım alanı bulmuştur.

CoAP, (Sınırlandırılmış Uygulama Protokolü), UDP protokolü üzerinden çalışan, kayıplı ağlarda kaynak kısıtlı, düşük güçlü aygıtlar için kullanılan ve özellikle ağ içinde yüksek sayıda son aygıt olan dağıtımlar için optimize edilmiş RESTful bir uygulama protokolüdür. Zaten IETF RFC'leri yayınlanmış olan bu uygulama, HTTP'ye alternatif olarak M2M'yi optimize etmeyi ve daha da fazla avantaj sağlamayı amaçlamaktadır (Cendón, 2015).

IP ağlarında bilgi alışverişi için HTTP uygulama protokolü yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Web servisleri, bu hizmeti servis sağlayıcı sunucular üzerinden verirler. Bu servislerden hizmet talep eden kişi bir veri dosyasına (XML veya JSON) bilgi koyar ve HTTP bağlantısı üzerinden sunucuya gönderir. Servis sunucusundan yanıt, aynı dosya biçiminde alınır. Bu web hizmetleri, M2M iletişimlerinde, güvenli olmayan iletişimlerde, oturum açma veya oturum bilgisinin sunucu tarafında saklanması gerektiğinden ve sunucu tarafından daha az kaynak tüketeceğinden oldukça değerlidir. Bu sebeple performans açısından tercih edilmektedir.

Nesnelerin interneti, teknoloji alanında, bilgisayar ve İnternette sonra Dünyadaki üçüncü devrimdir (Kumar ve Rajasekaran, 2016; Zhang ve Zhang, 2016). Birçok firma ve araştırma organizasyonları gelecek on yıl içinde nesnelerin interneti ve ekonomi üzerindeki potansiyel etkisi hakkında çeşitli öngörülerde bulunmuşlardır. Örneğin 2020'de internete bağlı nesne sayısının 26,3 milyar (Cisco, 2016), internete bağlı cihaz sayısının 75 milyar (Danova, 2013), 2025'de ise 100 milyar nesnelerin interneti bağlantısı yapılacağı (Huawei, 2016) bildirilmektedirler. Bunun yanında bu teknolojinin ekonomik açıdan 2025 yılında 3,9-11,1 trilyon dolarlık bir büyüklüğe ulaşılacağı bildirilmektedir (Manyika ve ark., 2015).

Bu teknolojinin büyümesi ve yaygınlaşması, geleneksel tarımdan modern tarıma geçişi hızlandıracak ve yeni ortaya çıkan teknolojiler ve endüstriler için büyük iş fırsatları sağlayacaktır. Son dönemlerde; veri toplama otomatik sera kontrol sistemi, tarımsal erken uyarı sistemi (Chu ve ark., 2013; Ding ve ark., 2013; Gong ve ark., 2013; Guo ve Zhong, 2015; Li ve ark., 2012; Wu ve ark., 2014) gibi birçok çalışma yürütülmüştür.

Wang ve ark. (2016) Sera içindeki sıcaklık ve nemi doğru bir şekilde ölçülebilen ve resim işleme yazılımı ile ürünlerin büyüme koşullarının tespit edilebilen bir tarımsal bilgi toplama robotu, Sarangi ve ark. (2016) heterojen sistemler arasındaki makinadan bilgisayara olan iletişimi destekleyen çerçeve yazılım, Liu ve ark. (2016) ZigBee teknolojisine dayalı tarımsal sera izleme sistemi, Ferrandez-Pastor ve ark. (2016) düşük maliyetli sera izleme ve kontrol sistemi geliştirmişlerdir.

Nesnelerin internetini oluşturan öğelerin yaygınlaşması birkaç yeni sorunu da ortaya çıkarmaktadır. Hem hesaplama hem de enerji kapasitesi bakımından düşük kaynaklarla sahip olan bu cihazlarla önerilen çözümlerin ölçeklenebilirlik sorunlarının yanı sıra kaynak verimliliğine özel dikkat gösterilmesi gerekmektedir (Atzori ve ark., 2010). Özellikle kablosuz sensör ağları ile yapılan uygulamalarda dengesiz enerji kullanımı, sensör düğümlerinin ömürlerinin kısalmasına ve tarıma dayalı uygulanmasını etkilemektedir (Yuan ve ark., 2015). Bunun yanında gelecekte milyarlarca nesnenin internete bağlanmasıyla toplanacak verileri analiz etmek ve anlamlandırmak yeni zorluklar getirmektedir (Assem ve ark., 2016).

İnternete bağlanan bu cihazlar sınırlı bilgi işlem gücü ve pil ömrüne sahiptirler. En fazla enerji tüketimi kablosuz iletişim esnasında oluşmaktadır. Bu sebeple veri aktarımı için optimizasyon ve sensör konumlarının iyi bir şekilde planlanması gerekmektedir. Bu tür zorluklar ve sorunlar için araştırmacılar bazı çözüm önerileri sunmuşlardır. Zhang ve ark. (2015) tarımsal veri hacminin büyümesiyle depolama ve analizde karşılaşılan sorunları ve bunlara karşı alınacak önlemleri tanımlamıştır. Wu ve ark. (2015) Nesnelerin İnternetinin tarımsal alanda uygulanmasına ilişkin sorunları analiz etmiştir. Sharma ve ark. (2015) Nesnelerin İnterneti uygulamalarında bulut teknoloji kullanımı ile ilgili zorlukları ve veri aktarımı ve depolanmasında güvenli bir mimari önermişlerdir. Jayaraman ve ark. (2015) tarım endüstrisinin karşılaştığı zorlukları ve nesnelerin interneti teknolojisini temel alan, AB-FP7 OpenIoT konsorsiyumu tarafından ortaklaşa geliştirilen OpenIoT adlı bir platform çözümü önermişlerdir.

Verinin artması, veri işleme araçlarının ve depolama sistemlerinin geliştirilmesine olan ihtiyacı artırmaktadır. Güvenli veri aktarımı ile verilerin anlamlı hale getirilmesi için analiz yazılımlarına da ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle Nesnelerin İnterneti uygulamalarında sensör ve donanım çözümlerinin yanında, bu cihazlarla uyum içerisinde çalışacak uygulamaların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması da gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilen SWE, gibi bazı standartlar ve protokollerle ilgili çalışmalar bulunmaktadır (OGC, 2007a, 2007b, 2011, 2012a, 2012b). Sawant ve ark. (2014) ise dağıtık algılama sistemleri arasında birlikte çalışabilirlik sağlamak için alta yatan kısıtlamaları belirtmiştir. (Gayatri ve ark., 2015) tarım modernizasyonu için akıllı bir çözüm üretme ve çiftçilerin sorunlarını etkili bir şekilde çözmeye yardımcı olan nesnelerin interneti ve bulut bilişimin birleşimini kullanan bir sistem önermişlerdir. Nesnelerin interneti ile bulut bilgi işlem, tarımsal bilgi teknolojisi ve tarımsal teknolojinin bütünleşmiş modeli öne çıkmaktadır (Wei ve ark., 2014). Araştırmacılar, izleme ve yönetim sistemi için esnek bir yazılım tasarımı (Cheng ve ark., 2015), web servisleri ile öğrenmeye dayalı akıllı bir algoritma (Liu ve ark., 2012), nesnelerin internetine dayanan sayısal tarım uygulaması çerçevesi (Chen ve Jin, 2012) gibi bazı yazılım önerileri sunmuşlardır.

Hızla gelişen ve yaygınlaşan bu teknolojinin tarımsal alana adapte edilmesi ile yeni iş modelleri de ortaya çıkmaktadır. Zhang (2011) tarımla ilgili işletmelerin endüstri zincirinde kurumsal gelişim için kilit risk

faktörlerini analiz ederek, bu endüstri zincirinde entegre risk yönetim sisteminin nasıl kurulacağına ilişkin belirli tedbirleri ve adımları önermiştir. Lu ve ark. (2010) Nesnelerin interneti tabanlı tarımsal iş stratejisi modeli önermişlerdir. Chaudhary ve ark. (2015) akıllı tarım nesnelerinin ve süreçlerinin gelecekteki bir projeksiyonu ile tarım alanındaki internet tabanlı uygulamaları içeren bir SWOT analizi çalışması yapmışlardır. Dlodlo ve Kalezhi (2015) kırsal alanda tarımsal faaliyetlerin geliştirilmesine yönelik nesnelerin interneti uygulaması önermişlerdir.

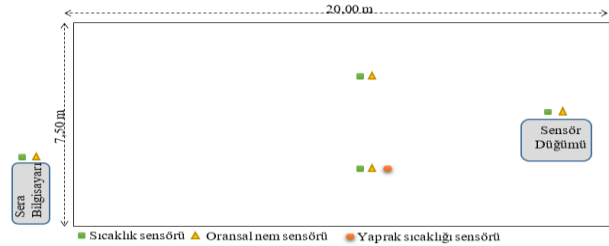
KSA, RFID ve mobil bilgi işlem gibi yeni ve yüksek teknoloji kullanımı ile tarımda verimliliği artırmak, enerji tüketimini azaltmak, tarımsal sürdürülebilir kalkınma sağlanması mümkün olacaktır (Chen ve Jin, 2012; Wang, 2014; Xie ve Wang, 2014; Xu ve ark., 2014). Bu teknolojinin tarımsal alanda kullanımı ek bir maliyet de getirecektir. Ancak, bu tür uygulamalarda açık kaynak yazılımlar kullanılarak maliyetlerin düşürülmesi mümkündür (Ye ve ark., 2013).

Bu teknoloji geleneksel çiftçilikten modern çiftçiliğe geçiş için bir araç olacaktır. Modern tarımın sürdürülebilir kalkınmasını teşvik etmek için hızla teknoloji kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, özellikle küçük sera işletmeleri için nesnelerin interneti temelli çevre koşulları izleme ve kontrol sistemi uygulaması önerilmektedir. Önerilen sistem düşük maliyetli esnek ve ölçeklenebilir bir sistemdir. Aynı zamanda önerilen sistem gerçek koşullarda test edilerek elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Materyal ve Metot

Araştırmanın yürütüldüğü seranın eni 7,5 m, boyu 20 m, taban alanı 150 m², yan duvar yüksekliği 3 m, mahya yüksekliği 5 m'dir. Örtü malzemesi, 0,3 mm kalınlığında ve 5 cm boşluklu çift kat PE'dir. Sera iç ortam sıcaklık ve oransal nem ölçümleri yerden 1 m yükseklikte konumlandırılan sensör düğümlerine bağlı olan sensörler ile, dış ortam sıcaklık ve oransal nem değerleri ise sera bilgisayarına bağlı sensörler ile ölçülmüştür. Sensörler, sensör düğümleri ve sera bilgisayarının konumu Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1 Sensör yerleşim planı

Çalışmada 802.15.4 Zigbee protokolü ile veri aktarımı yapan XBee S2 modülleri kullanılmıştır. Bu modüller, End Node modunda ayarlanmış ve Arduino MEGA 2560 geliştirme kartı ile kombine edilerek sayısal veri üreten SI7021 sensöründen sıcaklık ve oransal nem değerleri alınmıştır. Bu veriler, açık kaynak donanım bilgisayar kartı olan RPI (Raspberry Pi)'ye aktarılmıştır. RPI TTL girişine bağlantısı yapılan koordinatör modunda çalıştırılan XBee ile alınarak veri tabanına kaydedilmiştir. Veri tabanına aktarım için ihtiyaç duyulan yazılım Python

2,7 (python.org) programlama dilinde yazılmıştır. Veri tabanı olarak MariaDB 10.0.28 (mariadb.org) kullanılmıştır. Bu yazılımlar açık kaynak kodlu (Open Source) ve ücretsiz (Free) dağıtılan yazılımlardır. Verilerin izlenmesi ve analiz edilmesi için web ortamında php ve javascript programlama dillerinde yazılan ve Nginx HTTP sunucu üzerinden hizmet veren web yazılımı kullanılmıştır. Geliştirilen sistem modeli Şekil 2’de sistemin serada kullanımı Şekil 3’de verilmiştir.

Şekil 2’de gösterilen sensör düğümleri ihtiyaca bağlı olarak çoğaltılabilmektedir. Xbee kablosuz modülleri, ZigBee mesh ürün yazılımına dayalı karmaşık ağ oluşturulmasını desteklemektedir. Bu modüller ile mikro denetleyiciler, bilgisayar sistemleri ve seri portlu herhangi bir donanım arasında, noktadan noktaya veya çok noktalı ağlar oluşturarak güvenilir ve basit bir iletişim sağlanabilmektedir. Kullanılan modül türüne göre değişmekle birlikte 0,1 ila 10 km mesafeye kadar veri aktarımı yapılabilmektedir. Cihaz 3,3 V ve 40 mA akım ile çalışmaktadır. Veri aktarım hızı maksimum 250 Kbps, çıkış gücü ise 2mW’dır. Üzerinde 6 adet 10 bit ADC, 8 adet dijital IO bağlantı noktası bulunmaktadır (Şekil 4b).

Arduino MEGA 2560 kartı (Şekil 4a) 16 MHz saat hızına, 256 KB Flash, 8 KB SRAM ve 4 KB EEPROM belleğe sahiptir. Çalışma gerilimi 5 V ve her IO pin için 20 mA akım çekmektedir (Arduino, 2017). Dijital giriş noktası 54 adet, Analog giriş noktası ise 16 adettir. Ayrıca kart üzerinde I2C, SPI ve UART bağlantı noktaları bulunmaktadır.

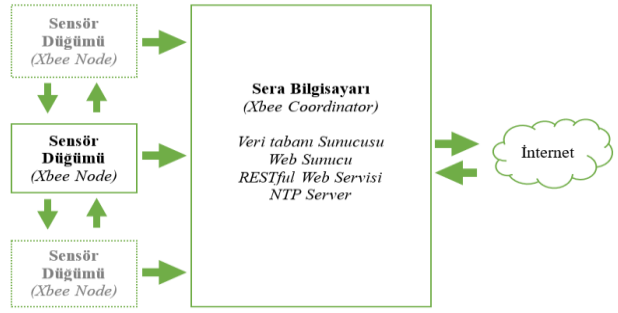
RPI geliştirme kartı (Şekil 4d) ARM1176JZF-S 700 MHz Broadcom BCM2835 mikroişlemci ve 512 MB RAM’e sahip Linux işletim sistemi çalıştırabilen mini bilgisayardır. Üzerinde 2 adet USB 2.0 port, HDMI video çıkışı, 10/100 RJ45 ağ çıkışı ile SD kart yuvası bulunmaktadır. Ayrıca 8 adet genel amaçlı giriş çıkış bağlantısı (GPIO) ile UART, I2C, SPI veri yolu bağlantıları yapılabilmektedir. Güç gereksinimi ise 5 V 700 mA’dır. İşletim sistemi olarak Debian GNU/Linux, Arch Linux, RISC OS başta olmak üzere birçok Linux tabanlı işletim sistemi kullanılabilir (RPI, 2017).

SI7021 (Silicon Laboratories Inc. Austin, USA) oransal nem ve sıcaklık sensörü (Şekil 4c) 0–%80 ortam oransal nem değerlerinde $\pm\%3$ (maksimum) doğruluk oranında 0–%100 arasında ölçüm yapabilmektedir. Sıcaklığı, -40°C ile $+125^{\circ}\text{C}$ arasında maksimum $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ doğrulukta ölçebilmektedir (SI7021, 2015).

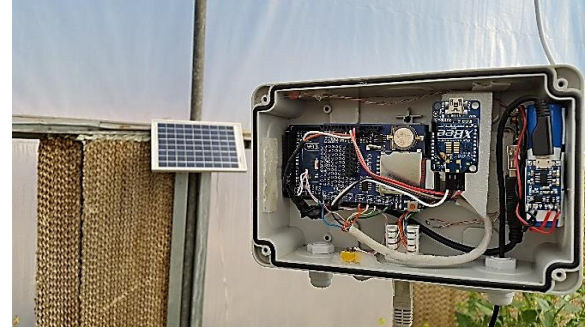
Tasarlanan sensör düğümlerine sıcaklık ve oransal nem sensörleri dışında, ihtiyaca göre analog veya dijital çıkış veren karbondioksit, solar radyasyon, rüzgâr hızı, toprak sıcaklık ve nem sensörleri gibi farklı sensörlerde eklenebilmektedir. Ancak bu çalışmada, tasarlanan sistemin veri aktarımı ve yazılımın performansının test edilmesi amaçlandığından sadece sıcaklık ve oransal nem sensörleri kullanılmıştır.

Mikro İşlemci Yazılımı

Arduino geliştirme kartı, C++ programla dili ile kodlanmıştır. Ana program sensör okuma ve veri aktarım alt programlarından oluşmaktadır (Şekil 5). Sensör veri okuma zaman aralığı 5 dakika olarak belirlenmiştir. Sensör veri okumalarından gelen değerler, tanımlanmış aralıklar içerisinde ise veri tutarlı olarak kabul edilmekte ve veri aktarım alt programı aracılığıyla sera bilgisayarına aktarılmaktadır.



Şekil 2 Nesnelerin interneti tabanlı sera çevre koşulları izleme sistem modeli



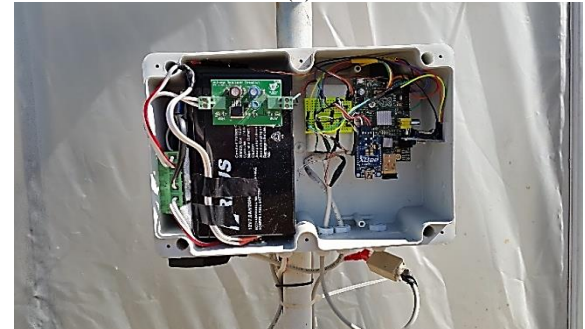
(a)



(b)

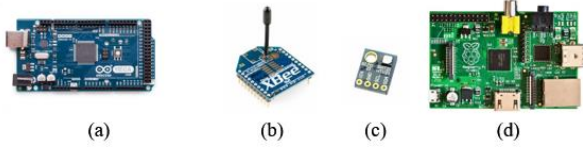


(c)

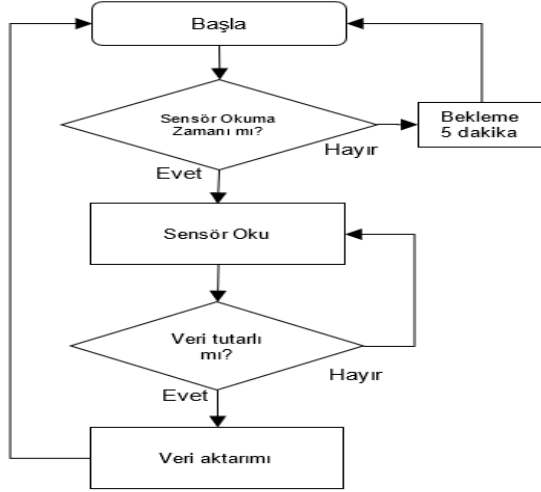


(d)

Şekil 3 Sera çevre koşulları izleme sistemi (a) sensör düğümü (b) infrared sensör ile yaprak sıcaklığı ölçümü (c) sera bilgisayarını (d) sera bilgisayarını iç görünümü



Şekil 4 Sistem tasarımında kullanılan donanımlar (a) Arduino MEGA, (b) Xbee kablosuz modül, (c) SI7021 sensör, (d) RPI



Şekil 5 Kablosuz düğüm mikroişlemci yazılımı akış şeması

Veri Aktarım Yazılımı

RPI sera bilgisayarı üzerinde web servisi olarak hizmet veren yazılım PHP programlama dilinde geliştirilmiştir. Yazılımın akış şeması Şekil 6a'da verilmiştir. Veriler JSON veri formatında HTTP protokolü ile POST isteği şeklinde gönderilmektedir. JSON veri yapısı Şekil 6b'de, örnek veri paketi ise Şekil 6c'de verilmiştir.

İzleme ve Analiz Yazılımı

RPI üzerinde çalışan veri tabanı yazılımında depolanan verilerin görüntülenmesi ve analiz edilmesi için geliştirilen yazılımda, (PHP, 2017) programlama dili, (jQuery, 2017) betik kütüphanesi ve (Bootstrap, 2017) stil kütüphanesi kullanılmıştır. Bu yazılımda iki farklı yetki seviyesinde oturum açılabilmektedir. Yönetici seviyesinde genel oturum ayarları, sensör tanımlamaları, dışa aktarma işlemleri ile sensörler arasındaki ilişkilere ait grafik analiz yapılabilmektedir. Kullanıcı seviyesinde ise sensör verilerini izleme, veriler arasındaki ilişkilerin analiz edilmesi, raporlama işlemleri yapılabilmektedir (Şekil 7). Toplanan veriler saatlik, günlük ve aylık ortalama ile maksimum ve minimum ortalama değerler olarak grafik ortamda raporlanabilmektedir. Ortalama değerler, seçilen dönemdeki ölçüm değerlerinin toplamının, ölçüm sayısına bölünmesi ile hesaplanmaktadır (Eşitlik 1). Maksimum ve minimum değerler ise seçilen dönemde ölçülen en düşük değerlerin toplamının, ölçüm sayısına bölünmesi ile hesaplanmaktadır.

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1+x_2+x_3+\dots+x_n}{n} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de;

X = ortalama değer,

X_i = ölçüm değeri,

n = ölçüm sayısını göstermektedir.

Sistemde kullanılan sıcaklık ve oransal nem sensörlerinin kalibrasyonları referans cihaza (HOB0 U-12) göre yapılmıştır. Buna göre sensör ölçüm değerlerin yüzde bağıl hataları Eşitlik 2'ye göre hesaplanmış ve %5'den küçük olduğu görülmüştür.

$$Er = \frac{|X_i - X_t|}{X_t} \times 100 \quad (2)$$

Eşitlik 2'de;

Er = Bağıl hata,

X_i = Ölçülen değer,

X_t = Referans ölçüm değerini göstermektedir.

Mutlak Nemin Hesaplanması

Nem havada gaz halinde bulunan ve gözle görülemeyen su buharıdır. Havadaki maksimum su buharı miktarı sıcaklığa bağlı olarak değişir. Belirli bir hacim havada bulunan su miktarı mutlak olarak tanımlanır ve gr/m³ olarak ifade edilir. Sera içerisinde ölçülen oransal nem ve sıcaklık değerlerinden mutlak nem hesaplanması Eşitlik 3'ya göre yapılmıştır (Sensirion, 2008).

$$AH(t, RH) = 216,7 \times \left[\frac{\frac{RH}{100\%} \times A \times \exp\left(\frac{m \times t}{T_n + t}\right)}{273,15 + t} \right] \quad (3)$$

Burada;

t = Sıcaklık (°C),

RH = Oransal nem (%),

m = 17,62,

T_n = 243,12 °C

A = 6,112 hPa'dır.

Çiğlenme Noktası Sıcaklığı

Çiğlenme noktası hesaplanmasında, ortam sıcaklığı ve oransal nem değerleri kullanılarak ±0,4°C hata ile hesaplanabilmektedir (Barenbrug, 1974). Hesaplama, Eşitlik 4'te verilen koşullarda geçerlidir.

$$\begin{aligned} 0^\circ\text{C} < T < 60^\circ\text{C} \\ 0,01 < RH < 1,00 \\ 0^\circ\text{C} < T_d < 50^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (4)$$

Burada;

T = Sıcaklık (°C),

RH = Oransal nem,

T_d = Çiğlenme noktası sıcaklığını göstermektedir.

$$T_d = \frac{b \times \alpha}{a - \alpha} \quad (5)$$

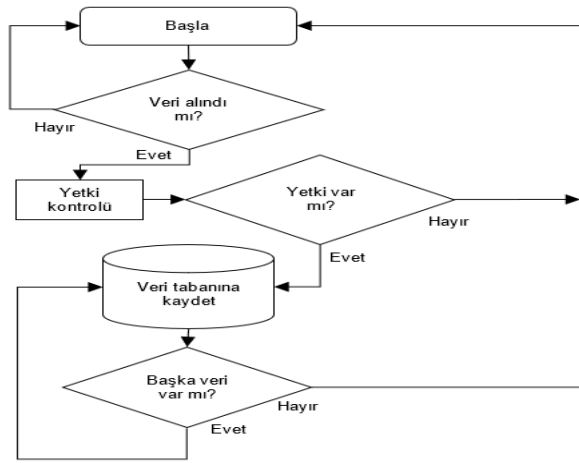
Buradan,

$$\alpha = \frac{a \times T}{b + T} + \ln\left(\frac{RH}{100}\right) \quad (6)$$

Eşitliklerde;

a = 17,27,

b = 237,7°C (a ve b sabit değerlerdir)



(a)

```
JSON Object
{
  [sensors] => stdClass Object
  (
    [sensor_id] => sensor_Value (float)
    .
    .
  )
  [sensor1_hsh] => Unique sensor hash (String)
  .
  [chip_id] => Sensor node chip id (Integer)
  [flash_id] => Sensor node flash id (Integer)
  [utime] => Unix timestamp (Integer)
  [timestamp] => Sensor reading time (DateTime)
  [hash] => Special hash (String)
  [uid] => User id (String)
  [secret] => User secret word (String)
}

```

(b)

```
{
  "sensors":{
    "28":22.18,
    "29":52.10,
    "30":-56,
    "31":3252
  },
  "sensor1_hsh":"3d7b18e8fd2e9b7eb0b583e4d7f9ef24",
  "sensor2_hsh":"be4a69a2608600ee7b50565d83ef5b10",
  "sensor3_hsh":"5a6d5e867ecd4b7f3a75e4d20833460b",
  "sensor4_hsh":"904e4d0e1465fafab115d434f6dbe546",
  "chip_id":13551291,
  "flash_id":1327328,
  "utime":1489923840,
  "timestamp":"2017-03-19 13:44:00",
  "hash":"a0047b749470216ddd79c5c24c4dfeb2ee466ed6",
  "uid":"120160001",
  "secret":"xxxxxx"
}

```

(c)

Şekil 6 (a) Kablosuz düğümlerden veri aktarım yazılımı akış şeması (b) JSON formatında veri yapısı (c) Örnek bir veri paketi

Sensör Düğümleri Sinyal Seviyesi Ölçümleri

Sensör düğümleri ile sera bilgisayarı arasındaki mesafe 20 m'dir. Sera 5 cm boşluklu ve kalınlığı 0,3 mm olan çift kat PE örtü malzemesine sahiptir. Sera bilgisayarı ise sera dışında konumlandırılmıştır. Sinyal ölçümleri sıcaklık ve oransal nem ölçümleri ile senkronize bir şekilde 5 dakika aralıklarla yapılmıştır.

Sistemin Maliyeti

Sera bilgisayarı devre elemanları ve maliyeti Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1'de verilen parçalar ile sera bilgisayarının toplam maliyeti 631 TL olmaktadır. Ancak sistemde kullanılacak farklı sensörler veya ek donanımlarla maliyetin bir miktar daha yükselecektir.

Sensör düğümü devre elemanları ve maliyeti ise

Çizelge 2'deki gibidir.

Sensör düğümü toplam sistem maliyeti 469 TL olarak hesaplanmıştır. Sisteme eklenecek olan sensör türü ve sayısına göre sistemin maliyetinde bir miktar farklılıklar olabilmektedir. Ayrıca mikro işlemci kartı olarak aynı işi görecektir, Arduino pro mini gibi daha düşük maliyetli kartlar kullanılması durumunda ise sistemin maliyetinin daha da azaltılması da mümkündür.

Bulgular ve Tartışma

01-10 Şubat arasında sera iç ortam sıcaklık ve oransal nem değerleri Şekil 8'de verilmiştir.

Şekil 8 incelendiğinde, 10 günlük deneme süresi içerisinde veri aktarımdan herhangi bir kesinti oluşmamıştır. 5 dakika olarak belirlenen veri okuma aralığında düzenli olarak okuma yapıldığı görülmektedir. Isıtma yapılmayan serada iç ortam sıcaklığının 176'ncı saatte 0°C'ye kadar düştüğü görülmektedir. En yüksek sıcaklık ise 1535'inci saatte 36.8°C'dir. Havanın yağışlı olduğu 860 ile 1305'inci saatler arasında ise iç ortam oransal nem değeri %70'in altına düşmemiştir.

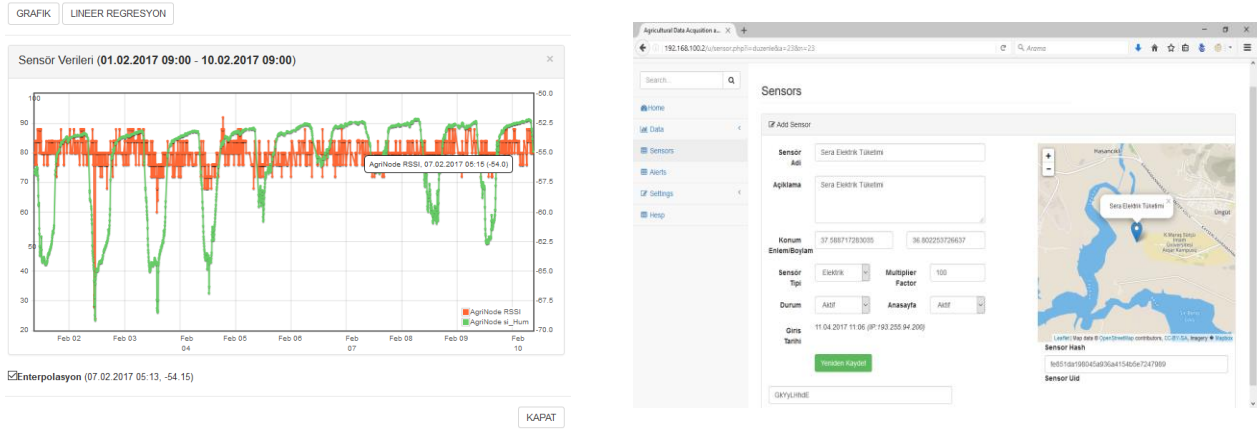
Sera bilgisayarı sunucu yazılımı içerisinde geliştirilen hesaplama modülü, ölçülen sıcaklık ve oransal nem değerleri ile mutlak nemi Eşitlik 3'e göre hesaplamaktadır. Hesaplanan bu değerler Şekil 9'de verilmiştir.

Şekil incelendiğinde sera içerisinde mutlak nemin günlük periyotlardaki değişimleri sıcaklık ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Sıcaklığın 2,4°C olduğu 1'nci saatte mutlak nem en düşük 4,2 gr/m³'dir. En yüksek sıcaklığın görüldüğü 1530'ncü saate ise mutlak nem en yüksek değer olan 22,3 gr/m³ olarak hesaplanmıştır. Ortalama mutlak nem değeri ise 9,9 gr/m³ olarak hesaplanmıştır.

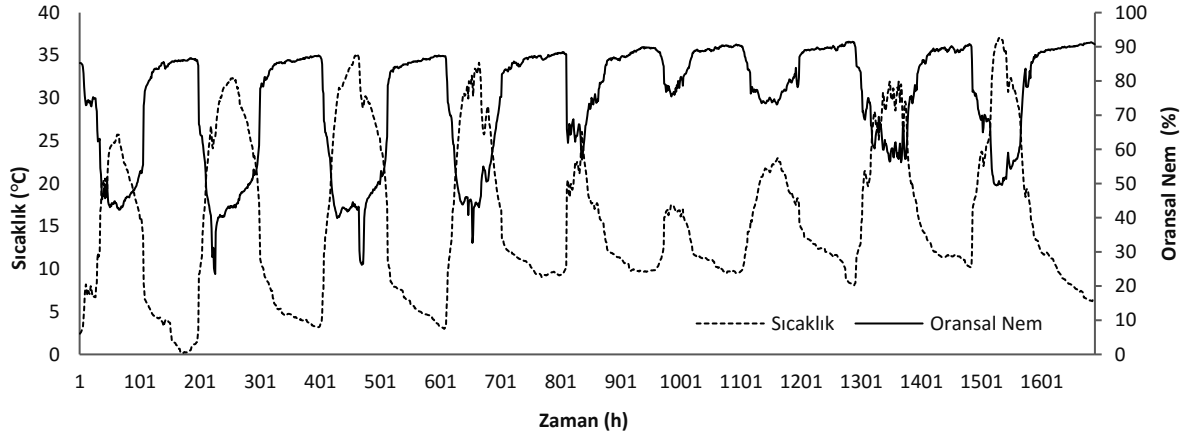
Seralarda nem yoğunlaşması önemli bir sorundur. Bu amaçla ölçülen sıcaklık ve oransal nem değerlerine karşılık gelen çiğlenme noktası sıcaklıkları sera bilgisayarı yazılımı içerisinde geliştirilen modül ile hesaplanabilmektedir. Araştırma süresinde hesaplanan değerler Şekil 10'da verilmiştir.

Kablosuz ağlarda sinyal seviyesi -40 ile -100 arasında değişen RSSI (Received signal strength indication) değeri ile ifade edilmektedir. Sinyal kalitesinin güçlü olması durumunda RSSI değeri -40 doğru yaklaşmakta, zayıf olması durumunda ise -100'e doğru yaklaşmaktadır. Araştırma periyodunda ölçülen sinyal gücü Şekil 11'de verilmiştir.

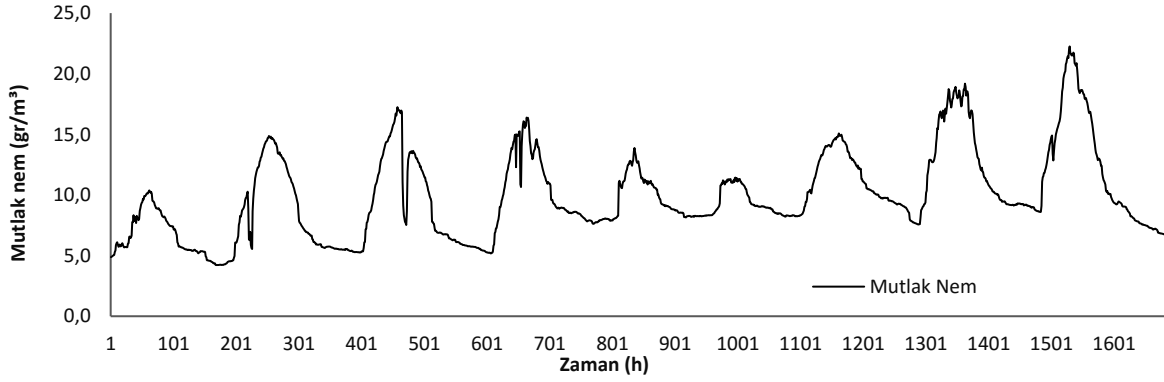
Şekil incelendiğinde genel olarak sinyal gücünün istikrarlı olduğu görülmektedir. Ancak muhtemelen sera iç ortam çevre koşullarının etkisi ile sinyal gücünde -52 dBm -58 dBm arasında 24 saatlik periyotlarda bir dalgalanma olduğu görülmektedir. Ayrıca 226'ncı saatte -69 dBm seviyesinde bir sinyal gücü ölçümü olduğu görülmektedir. Bu değer muhtemelen sera içerisindeki bir hareketli engelin (insan), kablosuz düğümünün sinyal yayım alanını kapatmasından kaynaklanmış olabilir. Araştırma süresince ölçülen sinyal gücü ortalaması -55 dBm'dir. Sera çevre koşullarının sinyal gücüne dolayısıyla veri aktarımına etkisinin araştırılması için oransal nem ile RSSI arasındaki ilişki Şekil 12'de verilmiştir.



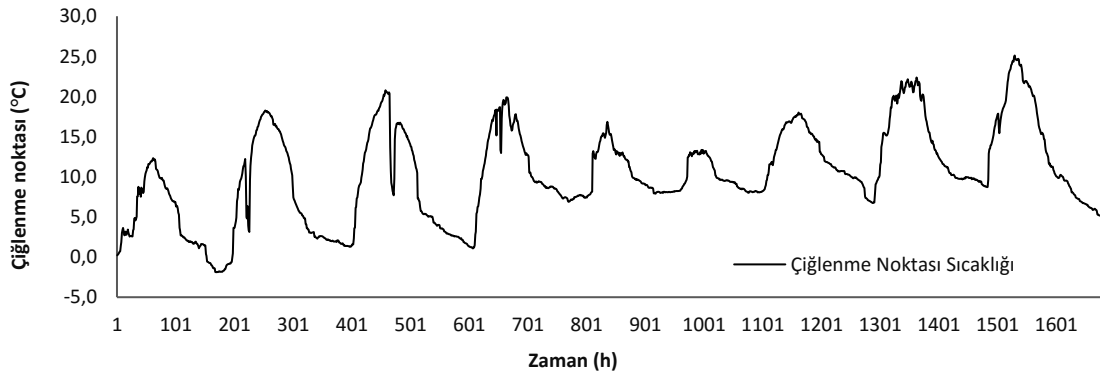
Şekil 7 İzleme ve analiz yazılımı ekran görüntüsü



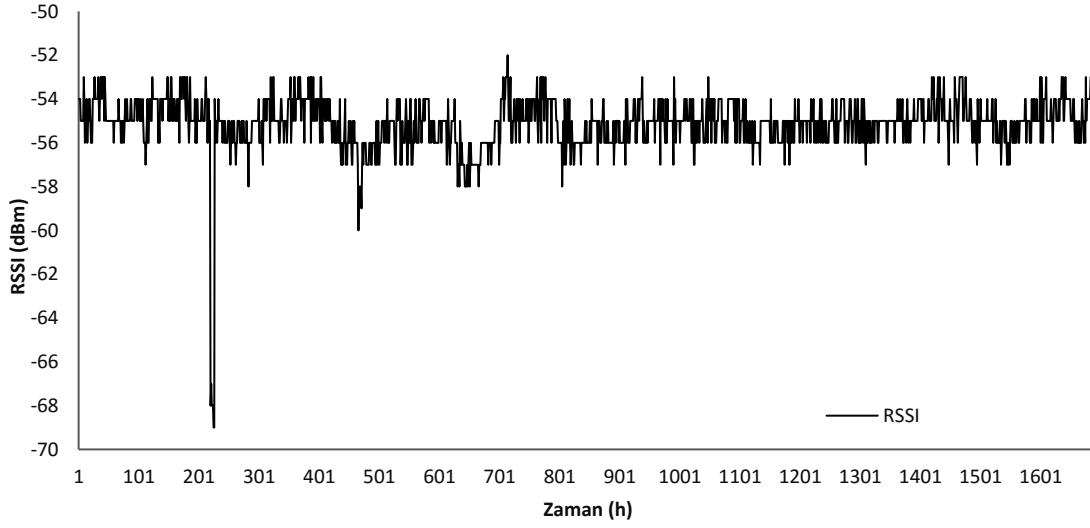
Şekil 8 Sensör düğümü ile yapılan oransal nem ve sıcaklık ölçüm değerleri



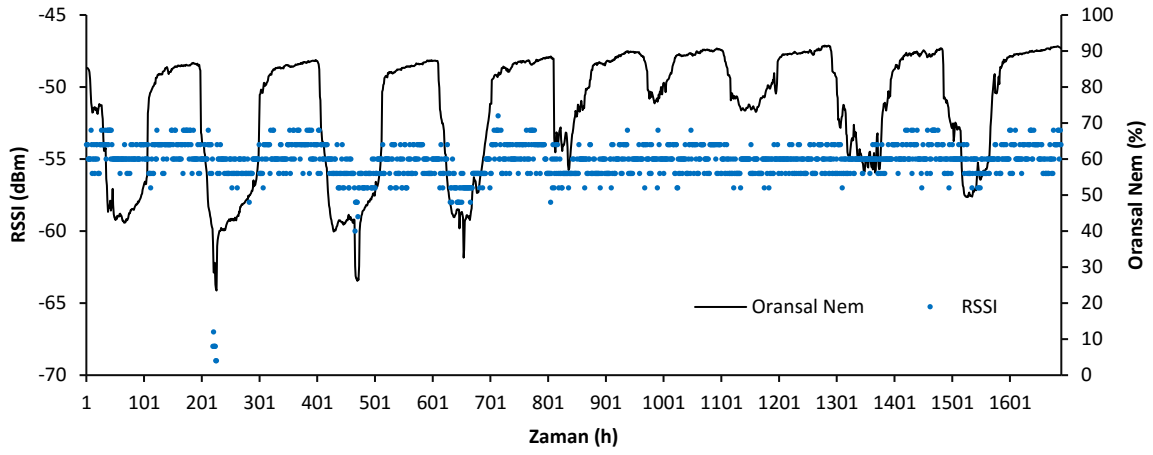
Şekil 9 Sera bilgisayarı ile hesaplanan mutlak nem değerleri



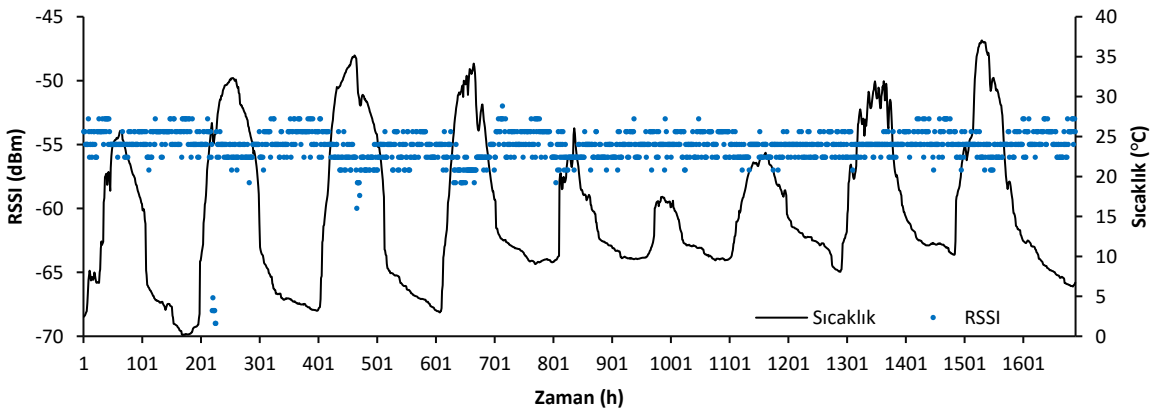
Şekil 10 Sera bilgisayarı ile hesaplanan çiğlenme noktası sıcaklığı değerleri



Şekil 11 Sensör düğümü sinyal gücü ölçüm değerleri



Şekil 12 Oransal nem ve RSSI ölçüm değerleri



Şekil 13 Sıcaklık ve RSSI ölçüm değerleri

Çizelge 1 Sera bilgisayar devre elemanları ve maliyetleri

| Parça | Açıklama | Maliyet (TL) |
|-------------------|-----------------------------|--------------|
| Raspberry Pi 3 | Kart bilgisayar | 153 |
| 32 GB SD Kart | Veri depolama | 48 |
| SI7021 | Sıcaklık ve oransal sensörü | 52 |
| DS18B20 | Sıcaklık sensörü | 9 |
| 20 W Güneş paneli | Batarya şarjı | 142 |
| 7,2 Ah Batarya | Güç beslemesi | 45 |
| Şarj regülatörü | Panel dönüştürücü | 63 |
| Xbee S2 | Zigbee veri aktarım modülü | 119 |
| | Toplam | 631 |

Çizelge 2 Sensör düğümü devre elemanları ve maliyetleri

| Parça | Açıklama | Maliyet (TL) |
|--------------------|-----------------------------|--------------|
| Arduino MEGA 2560 | Mikro işlemci kartı | 151 |
| 18650 Lion Batarya | Güç beslemesi | 52 |
| SI7021 | Sıcaklık ve oransal sensörü | 52 |
| 10 W Güneş paneli | Batarya şarjı | 72 |
| Şarj regülatörü | Panel dönüştürücü | 23 |
| Xbee S2 | Zigbee veri aktarım modülü | 119 |
| | Toplam | 469 |

Şekil 12 incelendiğinde günlük periyotlarda sera iç ortam oransal nem değerindeki değişimlere karşı RSSI değerinde değişim olduğu yani oransal nem ile sinyal gücü arasında bir korelasyon olduğu görülmektedir (Pearson korelasyon katsayısı=0,38). İstatistiki olarak araştırıldığında bu ilişkinin anlamlı olduğu görülmüştür ($P<0,01$) ($R^2=0,149$). Regresyon katsayısı 0,029 olarak bulunmuştur. Yani oransal nem değerinin %10 oranında artması, sinyal gücünde yaklaşık 0,3 dBm artışa neden olur. Sera içerisindeki oransal nem kadar sıcaklıkta sinyal gücüne etki edebilir. Bu amaçla sıcaklık ve sinyal gücü arasındaki ilişki Şekil 13'de verilmiştir.

Şekil 13 incelendiğinde sera iç ortam sıcaklığındaki günlük değişimlerde sinyal seviyesinde de değişim olduğu görülmektedir. Bu sebeple her iki değer arasında bir ilişki olduğu söylenebilir. Yapılan korelasyon analizinde Pearson katsayısı -0,36 olarak bulunmuştur. Bu sebeple, sıcaklık ile RSSI arasındaki korelasyon ters orantılıdır. İstatistiki olarak da bu korelasyon anlamlı bulunmuştur ($P<0,001$, $R^2=0,129$). Yani serada sıcaklığın yükselmesi, sinyal gücünün azalmasına neden olmaktadır.

Sonuç

Seralar, iklimin kontrol edilmesi gereken tarımsal üretim yapılarıdır. Bu sebeple tarımsal üretimde en fazla teknolojiye ihtiyaç duyulan bir üretim sistemidir. Ayrıca çevre sorunları ve gıda ihtiyacının artması, gelecekte tarımın bir sanayi kolu gibi üretim sistemlerine dönüşmesi ihtimali de bulunmaktadır. Ülkemizde tarımsal üretim, büyük oranda küçük işletmeler tarafından yapılmaktadır. Maddi imkânların yetersizliği, teknik bilgi yetersizliği gibi nedenlerle, birçoğu yurtdışı menşeli olan pahalı teknolojilerin ve ürünlerin bu tür işletmelerde kullanımını neredeyse imkânsız hale getirmektedir.

Elde edilen bulgular, önerilen bu sistemin seralarda nesnelerin interneti uygulamaları için güvenli bir şekilde kullanılabilirliğini göstermiştir. Sistemin esnek ve ölçeklenebilir olmasının yanında düşük maliyeti ile özellikle küçük tarımsal işletmelerde teknoloji

kullanımının yaygınlaşmasına katkı sağlayabilecektir.

Önerilen sistem gelecekte karar destek ve kontrol sistemi olarak kullanılması için çalışmalar planlanmaktadır. Bu amaçla geliştirilecek yazılım modülleri ile kontrol donanımlarının da internet üzerinden sensör verilerine erişimi sağlanacaktır. Bu sayede akıllı sera kontrol donanımları ile tamamen kendi başına üretimin her aşamasını kontrol edebilen Nesnelerin İnterneti sistemi uygulaması gerçekleştirilecektir.

Kaynaklar

- Arduino. 2017. Arduino MEGA 2560. Erişim Adresi: <http://bit.ly/2ghQR4L> [Erişim: 31.01.2017].
- Ashton K. 2009. That 'Internet of Things' Thing. Erişim Adresi: <http://bit.ly/1bt4GBP> [Erişim: 04.01.2017].
- Assem H, Xu L, Buda TS, O'Sullivan D. 2016. Machine learning as a service for enabling Internet of Things and People. *Personal and Ubiquitous Computing*, 20(6): 899-914. DOI: 10.1007/s00779-016-0963-3
- Atzori L, Iera A, Morabito G. 2010. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15): 2787-2805. DOI: 10.1016/j.comnet.2010.05.010
- Barenbrug AWT. 1974. *Psychrometry and Psychrometric Charts*. Cape Town, South Africa: Chamber of Mines of South Africa. 978-0-62001-586-8.
- Bootstrap. 2017. Bootstrap open-sourced framework. Erişim Adresi: <http://getbootstrap.com/> [Erişim: 01.02.2017].
- Cendón B. 2015. M2M interworking technologies and underlying market considerations A2 - Antón-Haro, Carles. In M. Dohler (Ed.), *Machine-to-Machine (M2M) Communications* pp. 79-92. Oxford: Woodhead Publishing. 978-1-78242-102-3.
- Chaudhary R, Pandey P, Pandey JR, Chaudhary P. 2015. Case study of Internet of Things in area of Agriculture, 'AGCO's Fuse Technology's Connected Farm Services'. 2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT), Delhi, India. 08-10 Oct 2015. IEEEExplore, ss: 148-153.
- Chen XY, Jin ZG. 2012. Research on Key Technology and Applications for Internet of Things. 2012 International Conference on Medical Physics and Biomedical Engineering, Singapore. 12.09.2012. ICMPE, ss: 561-566.

- Cheng L, Sun WR, Zhang XX, Rehman MU, Yang XD. 2015. Software Design of a Monitoring and Management System in the Internet of Things. 2015 8th International Congress on Image and Signal Processing (CISP), 1308-1312.
- Chu X, Cui XB, Li DD. 2013. Remote Monitoring and Control of Agriculture. In Z. Du (Ed.), Proceedings of the 2012 International Conference of Modern Computer Science and Applications Vol. 191, pp. 623-627: Springer. 2194-5357.
- Cisco. 2016. Complete Visual Networking Index (VNI) Forecast. Erişim Adresi: <http://bit.ly/1nKDqYc> [Erişim: 12.01.2017].
- Danova T. 2013. Morgan Stanley: 75 Billion Devices Will Be Connected To The Internet Of Things By 2020. Erişim Adresi: <http://read.bi/1d7V9Uu> [Erişim: 04.01.2017].
- Ding XF, Xiong G, Hu B, Xie L, Zhou SX. 2013. Environment Monitoring and Early Warning System of Facility Agriculture Based on Heterogeneous Wireless Networks. 2013 Ieee International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI), China. 28-30 Jul 2013. IEEE, ss: 307-310.
- Dlodlo N, Kalezhi J. 2015. The Internet of Things in Agriculture for Sustainable Rural Development. 2015 International Conference on Emerging Trends in Networks and Computer Communications, Windhoek, Namibia. 17-20 May 2015. ETNCC, ss: 13-18.
- Ferrandez-Pastor FJ, Garcia-Chamizo JM, Nieto-Hidalgo M, Mora-Pascual J, Mora-Martinez J. 2016. Developing Ubiquitous Sensor Network Platform Using Internet of Things: Application in Precision Agriculture. Sensors, 16(7). DOI: 10.3390/S16071141
- Gayatri MK, Jayasakthi J, Mala GSA. 2015. Providing Smart Agricultural Solutions to Farmers for better yielding using IoT. Proceedings 2015 Ieee International Conference on Technological Innovations in Ict for Agriculture and Rural Development Tiar 2015, Chennai, India. 10-12 Jul 2015. IEEEExplore, ss: 40-43.
- Gong H, Yu HL, Chen GF, Wen Z. 2013. Design of Measurement and Control System of Facilities Vegetables Based on Internet of Things. Information Technology Applications in Industry, Pts 1-4, 263-266, 2824-2828. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.263-266.2824
- Guo TT, Zhong WZ. 2015. Design and Implementation of the Span Greenhouse Agriculture Internet of Things System. Proceedings of 2015 International Conference on Fluid Power and Mechatronics - Fpm 2015, Harbin, China. 05-07 Aug 2015. IEEEExplore, ss: 398-401.
- Huawei. 2016. Global Connectivity Index. Erişim Adresi: <http://bit.ly/1rm1hfY> [Erişim: 04.01.2017].
- Jayaraman PP, Palmer D, Zaslavsky A, Salehi A, Georgakopoulos D. 2015. Addressing Information Processing Needs of Digital Agriculture with OpenIoT Platform. Interoperability and Open-Source Solutions for the Internet of Things, Split, Croatia. 18 Sep 2014. Springer, ss: 137-152.
- jQuery. 2017. jQuery Core API Documentation. jQuery Foundation. Erişim Adresi: <https://jquery.com/> [Erişim: 01.02.2017].
- Kumar R, Rajasekaran MP. 2016. An Iot Based Patient Monitoring System Using Raspberry Pi. 2016 International Conference on Computing Technologies and Intelligent Data Engineering (ICCTIDE), Kovilpatti, India. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), ss: 7-9 Jan 2016.
- Li SL, Han Y, Li G, Zhang M, Zhang L, Ma Q. 2012. Design and Implementation of Agricultural Greenhouse Environmental Monitoring System Based on Internet of Things. Frontiers of Manufacturing and Design Science II, Pts 1-6, 121-126, 2624-2629. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.121-126.2624
- Liu D, Cao X, Huang CW, Ji LL. 2016. Intelligent Agriculture Greenhouse Environment Monitoring System Based on IOT Technology. 2015 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data and Smart City (ICITBS), Halong Bay, Vietnam. 19-20 Dec 2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), ss: 487-490.
- Liu F, Gao JX, Yu WJ, Jin X. 2012. AGIOT: A Model of the Internet of Things Used in Agriculture. Information-an International Interdisciplinary Journal, 15(9): 3787-3792.
- Lu Y, Li XM, Zhong J, Xiong YN. 2010. Research on the Innovation of Strategic Business Model in Green Agricultural Products Based on Internet of Things (IOT). 2010 2nd International Conference on E-Business and Information System Security (Ebiss 2010), Wuhan, China. 22-23 May 2010. Institute of Electrical and Electronics Engineers, ss: 636-638.
- Manyika J, Chui M, Bisson P, Woetzel J, Dobbs R, Bughin J, Aharon D. 2015. The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype. McKinsey Global Institute, 1(1): 144.
- Mosquitto. 2017. Mosquitto, an Open Source MQTT v3.1/v3.1.1 Broker. Erişim Adresi: <https://mosquitto.org/> [Erişim: 07.04.2017].
- MQTT. 2017. MQ Telemetry Transport. Erişim Adresi: <http://mqtt.org/> [Erişim: 30.12.2016].
- OGC. 2007a. OGC, Sensor Observation Service. Erişim Adresi: <http://www.openeospatial.org/standards/sos> [Erişim: 10.01.2017].
- OGC. 2007b. OpenGIS Sensor Model Language (SensorML) Implementation Specification. Erişim Adresi: <http://www.openeospatial.org/standards/sensorml> [Erişim: 10.01.2017].
- OGC. 2011. OGC SWE Common Data Model Encoding Standard. Erişim Adresi: <http://www.openeospatial.org/standards/swecommon> [Erişim: 10.01.2017].
- OGC. 2012a. OGC Sensor Observation Service Interface Standard. Erişim Adresi: <http://www.openeospatial.org/standards/sos> [Erişim: 10.01.2017].
- OGC. 2012b. OGC SensorML: Model and XML Encoding Standard (DRAFT). Erişim Adresi: <http://www.openeospatial.org/docs/is> [Erişim: 10.01.2017].
- Paho. 2017. Paho Project. Erişim Adresi: <http://www.eclipse.org/paho/> [Erişim: 07.04.2017].
- PHP. 2017. The PHP Group. Erişim Adresi: <https://php.net> [Erişim: 01.02.2017].
- RPI. 2017. Raspberry Pi. Erişim Adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi [Erişim: 31.01.2017].
- Sarangi S, Umadikar J, Kar S. 2016. Automation of Agriculture Support Systems using Wisekar: Case study of a crop-disease advisory service. Computers and Electronics in Agriculture, 122: 200-210. DOI: 10.1016/j.compag.2016.01.009
- Sawant SA, Adinarayana J, Durbha SS. 2014. Krishisense: A Semantically Aware Web Enabled Wireless Sensor Network System for Precision Agriculture Applications. 2014 Ieee International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Igarss), Quebec City, Quebec, Canada. 13-18 July 2014. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), ss: 4090-4093.
- Sensirion. 2008. Humidity at a Glance Most Relevant Equations with Sample Code. Erişim Adresi: <http://bit.ly/2ommXz3> [Erişim: 07.04.2017].
- Sharma A, Goyal T, Pilli ES, Mazumdar AP, Govil MC, Joshi RC. 2015. A Secure Hybrid Cloud Enabled Architecture for Internet of Things. 2015 Ieee 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT 2015), Milan, Italy. 14-16 December 2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), ss: 274-279.

- Shi DL. 2015. Intelligent Information Collection and Management for Crop Growing Environment Based on Internet of Things Model. 2015 4th International Conference on Social Sciences and Society (ICSSS 2015), Pt 4, Paris, France. 20-21 May 2015. ss: 14-18.
- SI7021. 2015. SI7021 Datasheet A20 I2C Humidity and Temperature Sensor. Silicon Laboratories, 1-36.
- Stanford-Clark A, Truong HL. 2013. MQTT For Sensor Networks (MQTT-SN) Protocol Specification. Erişim Adresi: <http://bit.ly/1cypnfs> [Erişim: 07.04.2017].
- Steinberg MD, Tkalec B, Steinberg IM. 2016. Towards a passive contactless sensor for monitoring resistivity in porous materials. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 234, 294-299. DOI: 10.1016/j.snb.2016.04.169
- Wang BP. 2014. The design of modern agriculture control system based on internet of things. *Applied Science, Materials Science and Information Technologies in Industry*, 513-517: 1519-1522. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.513-517.1519
- Wang W, Li CY, Chu LH, Qu CY. 2016. Study on Air-Ground Amphibious Agricultural Information Collection Robot. 2016 13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), Xian, China. 19-22 Aug 2016. Korea Robotics Society, ss: 938-944.
- Wei XM, Hong J, Guo XN. 2014. Research the methods of the new generation of information technologies to promote the development of wisdom Agriculture. *Computer and Information Technology*, 519-520: 1538-1541. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.519-520.1538
- Wu SF, Wang GW, Xiao YY, Xue JP. 2014. Vegetable Monitoring and Control Based on Internet of Things. International Symposium on Signal Processing Biomedical Engineering, and Informatics (SPBEI 2013), Hangzhou, China. 16-18 Dec 2013. ss: 619-628.
- Wu ZY, Li SJ, Yu MH, Wu JX. 2015. The Actuality of Agriculture Internet of Things for Applying and Popularizing in China. Proceedings of the International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Industrial Informatics, Zhengzhou, China. 11-12 Apr 2015. ss: 1869-1873.
- Xie YX, Wang YJ. 2014. The Research and Analysis of Association Rules on the Internet of Things. Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Science and Service System (C3SS), Bangkok, Thailand. 13-15 Jun 2014. ss: 21-24.
- XMMP. 2017. XMMP, Extensible Messaging and Presence Protocol. Erişim Adresi: <https://xmpp.org> [Erişim: 07.04.2017].
- Xu DW, Ren S, Yang LP. 2014. Things in Intelligent Agriculture Applications. *Applied Science, Materials Science and Information Technologies in Industry*, 513-517: 444-447. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.513-517.444
- Ye JY, Chen B, Liu QF, Fang Y. 2013. A Precision Agriculture Management System Based on Internet of Things and WebGIS. 2013 21st International Conference on Geoinformatics (Geoinformatics), Kaifeng, China. 20-22 Jun 2013.
- Yuan X, Zhong FM, Chen ZK, Yang DL. 2015. Residual energy level based clustering routing protocol for wireless sensor networks. Sixth International Conference on Electronics and Information Engineering, Dalian, China. 26-27 Sep 2015.
- Zarco-Tejada P, Hubbard N, Loudjani P. 2014. Precision Agriculture: An Opportunity for EU Farmers Potential Support with the CAP 2014-2020. Joint Research Centre (JRC) of the European Commission.
- Zhang HR, Wei XY, Zou TF, Li ZL, Yang GC. 2015. Agriculture Big Data: Research Status, Challenges and Countermeasures. *Computer and Computing Technologies in Agriculture VIII*, 452: 137-143. DOI: 10.1007/978-3-319-19620-6_17
- Zhang TT, Zhang QY. 2016. The application of Internet of Things in the logistics of agricultural products. Proceedings of the 2015 International Conference on Design, Manufacturing and Mechatronics (ICDMM), Wuhan, Hubei, China. 17-18 Apr 2015. ss: 558-567.
- Zhang ZC. 2011. Integrated Risk Management and coping strategies for the Industry Chain of Agriculture-related Enterprises. Proceedings of the 2011 China International Conference on Insurance and Risk Management, Beijing, China. 24-27 Jul 2011. ss: 158-175.
- Zhao JC, Zhang JF, Feng Y, Guo JX. 2010. The Study and Application of the IOT Technology in Agriculture. *Computer Science and Information Technology (ICCSIT)*, 462-465.