

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/329781695>

Determining Battery Performance of Greenhouse Internal Wireless Sensor Systems

Conference Paper · September 2018

CITATIONS

0

READS

271

2 authors:



Celil Serhan Tezcan

University of New Brunswick

11 PUBLICATIONS 9 CITATIONS

SEE PROFILE



Kemal Sulhi Gundogdu

Uludag University

50 PUBLICATIONS 471 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



UÜBAP 2015/10 [View project](#)



TARSENS [View project](#)

Sera İçi Kablosuz Sensör Sistemlerinin Pil Performansının Belirlenmesi

Kemal Sulhi Gündoğdu^{*1}, Celil Serhan Tezcan²

¹Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bursa

²TarSenS Tarımsal Sensör Sistemleri, Bandırma

Corresponding Author e-mail: kemalg@uludag.edu.tr

Özet: Serada gerçekleştirilen tarımsal üretimde, seranın farklı konumlarına ait iklim değerlerinin zamana bağlı değişiminin bilinmesi, bitki yetiştirme ortam konforunun sağlanması için önemlidir. Günümüzde farklı iklim parametrelerini belirleyecek sensörlerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Sensör sisteminin pilli ve kablosuz iletişim teknolojilerini içerecek biçimde tasarlanması, sera içerisinde istenilen konuma, yüksekliğe konumlandırılmasını kolaylaştırmaktadır.

Bu çalışmada, sera içerisinde iklim parametrelerinin belirlenmesi için kurulan kablosuz sensör sisteminin pil performansının belirlenmesi amaçlanmıştır. Yaz aylarında, sera içi ve dışındaki sıcaklık değerleri arasındaki fark oldukça artmaktadır. Temmuz ve Ağustos aylarında sera içi sıcaklık değerleri çok yükselmektedir. Bazı günlerde sera içi sıcaklık 60°C ye kadar çıkabilmektedir. Kış aylarında ise seranın boş kaldığı dönemde, sera içi sıcaklık değeri dış ortam sıcaklığına yakın seviyelere düşmektedir. Sera içi sıcaklığındaki bu değişiklikler, sensör pil performanslarını etkileyebilmektedir.

Sonuç olarak, sera içi sıcaklığına bağlı olarak pil voltaj seviyesinin değiştiği gözlenmiştir. Sera içi sıcaklığı ile pil voltaj seviyesi arasında ($p < 0.01$) önem düzeyinde bir ilişkinin olduğu, basınç değerleri ile de aynı önem düzeyinde ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Günün saati, ay ve tarih ile ayrı ayrı pil voltajı arasında ($p < 0.01$) önem düzeyinde bir ilişki elde edilmiştir. Aylar ile pil voltajlarının aylık seviye düşümleri arasındaki ilişki önemsiz ($p > 0.05$) bulunmuştur. Yıllar ile pil voltajlarının yıllık seviye düşümleri arasında ($p < 0.01$) önem düzeyinde önemli bir ilişki bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz sensörler, Pil tüketimi, Sera

Determining Battery Performance of Greenhouse Internal Wireless Sensor Systems

Abstract: It is important to know the time dependent changes of the climate values of the different locations of the greenhouse in the agricultural production carried out on the greenhouse, in order to ensure the plant growth environment comfort. Today, the use of sensors to determine different climate parameters is becoming widespread. Designing the sensor system to include battery and wireless communication technology makes it easy to locate the desired position in the greenhouse.

In this study, it is aimed to determine the battery performance of the wireless sensor system that is established for determining the climate parameters in the greenhouse. In the summer months, the difference between the temperature values inside and outside the greenhouse increases considerably. In July and August, temperatures inside the greenhouse are very high. On some days, the temperature inside the greenhouse can reach up to 60 °C. In the winter months, when the greenhouse is empty, the temperature inside the greenhouse falls to levels close to the outdoor temperature. These changes in the temperature of the greenhouse can affect sensor battery performance.

As a result, it has been observed that the battery voltage level changes depending on the indoor temperature of the greenhouse. It has been determined that there is a significance level of 0.01 between the greenhouse temperature and the battery voltage level and that they are at the same importance level with the pressure values. The relationship between the time of day, month, and date and the individual battery voltage has been correlated to a significance level of 0.01. The relationship between months and monthly battery voltage drops is not significant. A significant correlation was found at 0.01 significance level between years and annual levels of battery voltage drops.

Key Words: Wireless sensors, Battery consumption, Green house

Giriş

Açık kaynaklı sensör sistemlerinin kullanımı fiyat avantajı, kurulum ve kullanım kolaylığı, amaca göre tasarım olanağı nedenlerinden dolayı, son yıllarda farklı sektörlerde kullanımı yaygınlaşmaktadır. Tarımsal üretim alanları olan, sera, ahır, ağıl, kümes gibi kapalı ortamlarda kullanılabilirdikleri gibi doğrudan arazide de kullanılabilirler. Maliyetin düşük olması, sistemin çeşitli nedenlerle kaybolması riskine karşı, koruma amaçlı yapılacak harcamalara gerek kalmamaktadır. Bu sistemlerin kullanımını kısıtlayan en önemli etken, kullanılan sensörlerin yeterli doğrulukta ölçüm yaptığı konusundaki endişelerdir. Test işlemi gerçekleştirilmiş sensörler tercih edilerek ya da bireysel test işlemleri ile kalibre edilerek bu endişe giderilebilmektedir.

Sistemin, genelde kablosuz haberleşmeye sahip olması ve pil ile çalışması tercih edilmekte, bu nedenle pil ömrünün uzun olması istenmektedir. Sistem kurulumu esnasında ana kartın, sensörlerin ve haberleşme modülünün birbiri ile uyumlu olması ve az pil tüketimi olan malzemelerin seçilmesi önemlidir.

Gennaro ve ark., 2014 yaptıkları çalışmada, pH ve sıcaklık ölçümünde kullanmak üzere, Arduino Mini Pro kartını ve Xbee S1 radyo modülünü kullanmışlardır. Sistem 4 saat aralıkla ölçüm yapacak şekilde dizayn edilmiş, ölçüm esnasında maksimum 16 mA, veri gönderimi esnasında maksimum 5 mA, uyku modunda 10µA akım çektiği belirtilmiştir. Pilin %100-%80 kapasite aralığında kullanımı öngörüldüğünde, pilin yaklaşık olarak 130 gün yeteceğini hesaplamışlardır.

Bogena ve ark. (2007) orman arazisinde, 5 cm derinlikteki orman toprağındaki toprak nem değişiminin konumsal ve zamana bağlı değişimini belirlemek ve değerlendirmek için 500 adet TDR ve EC5 sensörü kullanmışlardır. Çalışmada sensör okumalarının sağlanan elektrik voltajı ile bağıntılı olduğu ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca EC5 okumalarının sıcaklığa bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir.

Meyve lojistiğinde, nakliye sırasında çok sayıda ölçümün yapılmasını gerekli

kılmaktadır. Kablosuz sensör ağları bu alanda umut verici bir çözümdür. Ruiz-Garcia ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, meyve depolama ve taşıma koşullarını izlemek için kablosuz sensör teknolojisinin potansiyelini araştırmışlardır. Çalışmada, soğutma koşulları altında pil ömrünün analizi ve iletişim ve ölçümlerin güvenilirliğinin değerlendirilmesi ile ilgilidir. Psikrometrik denklemler, suyun mutlak su içeriğindeki değişikliklerin hızlı bir şekilde değerlendirilmesinde, gelecekteki su kaybının tahmin edilmesine ve ürün üzerinde yoğunlaşma tespitine yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

Kablosuz sensör ağları, önemli ekolojik deney alt sistemleri olma potansiyeline sahiptir. Sensör ağları, hepsi algılama yetenekleri olan çok sayıda küçük sensör düğümlerinden oluşur. Bu ağlar, eşzamanlı olarak coğrafi olarak farklı ölçümleri yakalamalarını sağlamak için koordinatlı sinyal algılama, izleme ve izleme sağlar. Suri et al., (2006) yaptıkları değerlendirme çalışmasında kablosuz sensör ağlarının büyük ölçekli deneylerde kullanımındaki en zorlu darboğazlardan birinin enerji kısıtı olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada enerji kullanımını optimize etmeye çalışan çeşitli yönlendirme protokollerine yer verilmiştir.

Pierce and Elliott (2008), Washington Eyaletinde bölgesel ve çiftlik bazında, çiftçilik operasyonlarının uzaktan, gerçek zamanlı izlenmesi ve/veya kontrolünü sağlayan sensör ağlarını oluşturmayı hedeflemişlerdir. Sistemin çalışması esnasında düşük güneş enerjisi olan dönemlerde güç yönetimi ile problemler yanında fırtınalar sırasında elektrostatik deşarj hasarı oluşumu gözlenmiştir.

Wang et al (2006), kablosuz sensör teknolojilerindeki son gelişmeleri ve kablosuz sensörlere uygulanan kablosuz iletişim standartlarına genel bir bakış sunmuşlardır. Çevresel izleme, hassas tarım, M2M tabanlı makine ve proses kontrolü, bina ve tesis otomasyonu ve RFID tabanlı izlenebilirlik sistemleri için tarımda ve gıda üretiminde uygulanan kablosuz sensör ve sensör ağlarına örnekler verilmiştir. Son olarak, piyasa büyümesinin bir analizine dayanan çalışma, tarım ve gıda endüstrisinde

kablosuz sensör teknolojisi gelişiminin gelecekteki eğilimlerini tartışmışlardır.

Kümeleme, büyük düğümler yoğunluğu ile başa çıkma ve Kablosuz Sensör Ağlarında (WSN) verimli bir şekilde enerji tasarrufu için iyi bilinen bir yaklaşımdır. Gherbi et al. (2016) gerçekleştirdikleri çalışmada, kablosuz Sensör Ağları (HEBM) için Hiyerarşik Enerji Dengeleme Çok Yollu yönlendirme protokolü olarak adlandırılan yeni bir hiyerarşik yaklaşımı önermişlerdir.

Bu çalışmada, açık kaynaklı kablosuz sensör sistemi kurulan bir serada, sera içerisinde farklı konumlarda ölçüm yapan sıcaklık, nem, basınç ve aydınlanma şiddeti sensörlerindeki pil voltajının zamanla değişimi ile pil voltajının ölçülen değerlerle ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Sera içi kablosuz sensör ağı sistemimizde, Si7021 (Nem, Sıcaklık), BMP180 (Basınç, Sıcaklık), TSL2561 (Görünür, Kızılötesi ve Toplam Aydınlatma Şiddeti) sensörleri kullanılmıştır. Sensörler I2C arayüzü ile Arduino UNO R3 kartı elektronik şeması kullanılarak yeniden tasarlanan karta takılmıştır. Verilerin toplama ve yönlendirme istasyonuna gönderilmesi için CRC uyumlu Nordic nRF24L01+ çipleri radyo olarak kullanılmıştır. Sistem tasarımı öncelikli olarak uzak mesafe veri göndermek üzerine değil, düşük güç harcamak üzere tasarlanmıştır. Bu nedenle Arduino UNO R3 tasarımı sadeleştirilerek, devre kartı üzerinde işlemci, radyo, sensör ve pil durumu takibi için voltaj bölücü (voltage divider) kullanılmıştır. Veri iletiminde kullanılacak nRF24L01+ normal radyoları Atmega328P işlemcisine SPI (Seri Donanım Arayüzü) üzerinden bağlanmıştır.

Ayrıca verilerin uzak mesafeye en az kayıpla ulaştırılması için sera içerisinde yönlendirme istasyonu kurulmuştur. Bu istasyonda verileri toplayıp yönlendiren bilgisayar kartı olarak Raspberry Pi Model B+ kullanılmıştır. Raspberry Pi bilgisayar kartları doğrudan elektriğe bağlı olarak çalıştıklarından, bunların üzerindeki radyolar sürekli açık olarak

yapılandırılmıştır ve kullanılan radyo modeli nRF24L01+PA+SMA dır. Bu radyo modelinin ölçüm noktalarındaki nRF24L01+ radyosuna göre farkı, PA (power amplifier) güç artırıcı içermesidir.

Çalışmada kullanılan sensörler:

1. Bosch BMP180, I2C arabirimli, sıcaklık ve dijital basınç sensörü, veri türü °C ve hPa
2. Silicon Labs Si7021, I2C arabirimli, CMOS nem ve sıcaklık sensörü, veri türü %RH ve °C
3. Texas Advanced Optoelectronic Solutions TSL2561, I2C arabirimli, görünür ve kızılötesi aydınlanma sensörü, veri türü lux

Veri yönlendirme (Röle ya da Relay) istasyonunda, I2C arayüzü, DS3231 Gerçek Zamanlı Saat, Raspberry Pi B+ bilgisayar, elektrik kesintilerine karşı pfm 5V yükseltici voltaj regülatörü ve NCR18650B pilleri ile Trust marka 7 Port USB HUB kullanılmıştır. Tüm bu malzemeler bir kutu içerisine alınmıştır.

Elde edilen verilerin analizi aşamasında, veri dosyasının Gigabyte boyutunu aşması nedeniyle, sorgulamaların ve istatistiksel analizlerin kolay yapılabilmesi için mySQL veri tabanı kullanılmıştır. İstatistiksel analizlerin yapılmasında SPSS programı kullanılmıştır.

Yöntem

Sera içi kablosuz sensör sisteminde 3 ana eleman bulunmaktadır (Şekil 1). Bu elemanlar arasındaki veri aktarımı kablosuz olarak gerçekleştirilmektedir. Sera içi kablosuz sensör sisteminin düşük güç tüketimine sahip olması, böylece uzun yıllar pil değişimine gereksinim duyulmadan sistemin çalışması amaçlanmıştır. Bu nedenle en düşük pil tüketimine sahip olan malzemeler seçilmeye çalışılmıştır.



Şekil 1. Sera içi kablosuz sensör sisteminin ana elemanları

Örneğin malzeme seçimi aşamasında yaptığımız ölçümlerde, Arduino platformunun 5V USB bağlantısında 15-150mA akım çektiği multimetre ile ölçülmüştür. Bunun nedeni, Arduino UNO R3 kartı üzerinde bulunan, Atmega16U2 USB-FTDI dönüştürücü, voltaj regülatörleri, ledler ve kristaller sayesinde yüksek hızda çalışan Atmega32P olduğu saptanmıştır. Kablosuz sensör ağlarındaki sensör kutularının olabildiğince az güç ile çalışması hedeflendiğinden, tüm devre yeniden tasarlanarak, fazla güç harcayan tüm parçalar çıkarılmış, kalan parçalarında güç tüketimi gerek donanımsal, gerek yazılımsal olarak azaltılmıştır. Normal şartlar altında, Arduino UNO R3 üzerinde bulunan Atmega328P işlemci, harici kristal ile 16MHz frekansında çalışmaktadır. Bu frekans, hassaslık gerektiren işlerin daha hızlı yapılmasını sağladığı gibi, güç tüketimini de arttırmaktadır. Öncelikle bu kristal devreden uzaklaştırılarak, Atmega328P içerisinde bulunan 3 kristal frekansı ile denemeler yapılmıştır. I2C ve SPI bağlantısının 4.3MHz ve 8MHz frekans gereksinimi olduğu saptanmıştır. Bu nedenle, dahili 8MHz frekansa sahip kristal çalışmamızda kullanılmıştır. Düşük güç kütüphanesi (low power library) den yola çıkılarak, devredeki döngü bittiğinde, kullanılmayan tüm arayüzler, i2c, spi, serial, analog okuma, dijital yazma, devre dışı bırakılarak daha fazla güç tasarrufu sağlanmıştır. Si7021 sensörü, nRF24L01+ radyosu ve voltaj bölücüsü bulunan bir kartın bekleme konumundaki güç tüketimi 3.2V'da 5.4µA seviyesine kadar indirilmiştir. Bu güç seviyesi, voltaj sürekli sabit kalacak şekilde hesaplandığında 1800mAh bir çift pil ile 38 yıl gibi bir süreye tekabül etmektedir. Fakat normal şartlar altında, cihaz üzerinde bulunan voltaj bölücü ve sensörden veri okunması ve

sonrasında radyo ile bu verilerin gönderilmesi sırasındaki yüksek güç tüketiminden dolayı, bu sürenin 8 yıla kadar kısaldığı hesaplanmıştır.

Sensörlerin bağlanacağı kartlar, Eagle PCB tasarım yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır. Kartlar 1.6mm olarak çift taraflı üretilmiştir. Kartlar tek katmanlı olarak üretilmiştir. Karttaki tüm parçalar seri olarak 2 x AA GP Ultra model alkalın pile doğrudan bağlanabilmektedir. Tasarlanan devre kartı, 2 adet AA kalem pil boyutunda olup, toplam devre boyutu 60mm x 60 mm x 15mm'den az yer kaplayacak şekildedir. Kıyaslama yapmak gerekirse, Arduino UNO R3'ün boyutu 68 mm x 53 mm x 15 mm dir ve 4 adet AA pil ile maksimum 3 gün çalışabilmektedir. GP Ultra Alkali yeni pilde, 10mA akım çekecek şekilde led ve direnç bağlanarak 3.0V ve toplam 1800mA değer verdiği ölçülmüştür. Güç değişimi, Rigol DS1102E Osiloskop kullanılarak takip edilmiştir.

Doğru bir şekilde pil gücü seviyesini uzaktan takip edebilmek için 3 x 1 Mega Ohm dirençler kullanarak, 3.0 volt olan voltaj değeri 1 volta düşürülmüştür. Voltaj bölücü genel olarak iki farklı değerde direnç kullanılarak yapılmaktadır. Masraf minimizasyonu için aynı değerde 3 direnç kullanılmış ve 1 MOhm ile 2 MOhm olarak bağlanmıştır. Bu sayede piller tam dolu iken 3.2V gelen voltaj değeri, güvenli aralığa,

$$V_{*} = \frac{8 \text{ EN } \text{A}_5 \text{ J}}{: \text{EN } \text{A}_5 \text{ EJ } \text{EN } \text{A}_5 ; \text{J}}$$

Formülünden yola çıkılarak, 1.067V seviyesine indirilmiş ve doğrudan analog okuma pinlerinden birisine bağlanmıştır. Atmega 328p dahili referans voltajı 1.1V seviyesine ayarlanarak, bu okuma değerinin sürekli kalibre olması sağlanmıştır.

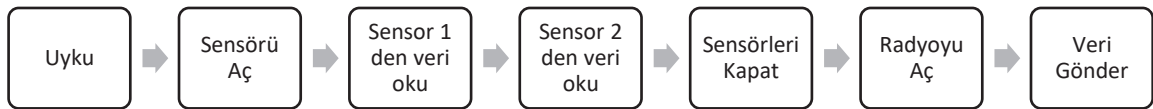
Kablosuz sensör nodları, uyku sırasında ~ 20µA akım çekmekte ve veri iletirken en

fazla 13mA akım çekmektedir. Veri iletiminde kullandığımız nRF24L01+ çipleri radyo uykunda 800nA ve Tx modunda ise 5-6mA, Rx modunda 7-12mA akım çekmektedir. Bu değerlere göre kablosuz sensör düğümlerindeki pil ömrü beklentisi Si7021'de yaklaşık 8 yıl, BMP180'de 2 yıl ve TSL2561'de 1 yıl olarak tahmin edilmiştir.

Ölçülen veriler, relay istasyonuna kablosuz haberleşme birimi ile aktarılmıştır. nRF24L01 + radyo verileri, 2420 MHz, 2440 MHz, 2460 MHz ve 2480 MHz ISM bantlarında göndermek için kodlanmıştır. Veri iletimini sağlayan radyonun elektrik gücü, üzerindeki çip ile regüle edilmektedir. Ancak bu durum düşük voltaj seviyelerinde sorunlar çıkarmaktadır. Bunun giderilmesi için, düşük voltajlarda da olsa radyoyu çalıştırabilmemiz için radyoyu 100µF elektrolitik kapasitör ile radyo voltaj pimlerine paralel olarak bağladık. Radyo 256Kbit, 1Mbit ve 2Mbit boyutunda veri transfer kapasitesine sahiptir. Güç tasarrufu yapılabilmesi ve stabil çalışması için 1Mbit değeri kullanılmıştır.

Ölçülen verilerin kayıt edileceği, veri tabanı yapısı her sensör için farklılık göstermektedir. Her sensör için veri

tabanında, ölçüm günü, ölçüm saati, pil voltajı, döngü sayısı bilgisi yanında sensörün ölçtüğü değerler yer almaktadır. Döngü sayısı değeri, başlangıçtan itibaren kaçınıcı defa veri ölçümü yapıldığını gösteren sayıdır. Veri ölçümlerinde zaman aralığı 5 dakika öngörülmüştür. Her ölçüm noktasında ölçüm yapıldıktan sonra, sensör uykuya konumuna geçmekte, ölçülen veri kablosuz iletim modülü ile gönderilmektedir (Şekil 2). İçerisindeki zamanlayıcı ile 5 dakika sonra tekrar uyanmakta, aynı işlemleri tekrar etmektedir. Pil durumu analog okuma üzerinden alınmaktadır. Sensör noktalarında bulunan radyolar 0 dbm yani 1 miliwatt sinyal gücü ile sınırlandırılmıştır. Bu durumda, maksimum 250 metre mesafeye veri gönderebildiği saptanmıştır. Fakat sistemin kurulduğu seranın galvaniz ve cam yapısı gereği, normal nRF24L01+ radyonun sera dışına en fazla 100 metre mesafeye veriyi sağlıklı gönderebildiği saptanmıştır. Bu nedenle sera içerisine bir tane yönlendirme istasyonu daha yerleştirilmiştir. Yönlendirme istasyonundaki radyoların 1 km mesafeye kadar veri gönderebildiği saptanmıştır. Relay istasyonu ve ölçüm modülleri sera içerisinde konumlandırılmışlardır.



Şekil 2. Veri ölçüm akış şeması

Ultra Low Power nRF24L01 + telsizleri, bir kerede sadece 32 bayt paket gönderebilmektedir. Bu yüzden veri paketlerimizi göndermek için bir yöntem geliştirmemiz gerekmiştir. Ölçülen veriler aşağıda görüleceği gibi, aralarında bir tane boşluk olacak biçimde text formatında alta gelmektedir.

385 R +3194 6065 956 5887
303 B +3562 24913 940 1204
303 L 1 0 0 939 1205

Örneğin, oluşturulan her bir veri paketi;

• Düğüm Numarası

- Sensör Tipi (Tek Harf, Si7021 için R, BMP180 için B ve TSL2561 için L)
- Sıcaklık Bilgileri
- Basınç / Işık veya Nem Bilgileri
- Pil Bilgisi (Analog Okuma, Dahili Referans 1v1 Seviye, 0 ila 1023)
- Sensör Çevrim Bilgileri (Sayaç 0 ila 9999, Otomatik Sıfırlama)

bilgilerini içermektedir. Bu veriler, her veri gönderim bandı için ayrı bir text dosyasına (örneğin 2420.txt) kayıt yapılmaktadır. Her ölçülen yeni veri dosyanın sonuna eklenmektedir. Sonuçta aynı veriyi içeren 4 tane text dosyası elde

edilmektedir. Veri toplama işlemi 2016 yılı Mart ayından itibaren devam etmektedir. Bu nedenle her bir veri dosyası GigaByte boyutuna ulaşmıştır. Her bir veri dosyası yaklaşık 20 milyon satır veri içermektedir. Bu boyutta verinin Excel gibi programlarla açılması ve işlenmesi neredeyse imkansız olmaktadır. Bu nedenle veriler, mySQL veri tabanına aktarılmıştır. mySQL veri tabanına aktarmada, Python ile MySQL veritabanı sunucusu arasındaki iletişimi sağlamak için kullanılan MySQLdb arayüzü kullanılmıştır (Özgül, F., 2016).

MySQL veri tabanına aktarılan veriler, SPSS istatistik programı ile analiz edilmiştir. Çalışmamızda, pil seviyesi ile sensörlerde elde edilen değerler arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Aynı zamanda, zamana bağlı pil voltajı değişimi değerlendirilmiştir.

Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Atmel Atmega328p'nin veri sayfası bilgisine göre, işlemcinin kendisi kapalı güç konumunda 90nA güce, 1MHz dahili saatte 1.8 V güce 0.1µA güce gereksinim duymaktadır. Düşük güç kütüphanesi ile yaptığımız testlerde, elde ettiğimiz en düşük tüketim 8 MHz dahili saat ile 2V'de 0.26µA olmuştur.

Nordic Semiconductor nRF24L01 + işlemcinin kendisi, güç azaltmada 900nA ve bekleme modunda 22uA, 1.9V - 3.6V çalışma aralığı gerektirdi. Bosch Sensortec BMP180 Dijital Basınç Sensörü 5µA 1 numune / saniye gerektirdi ve 1.8V ila 3.6V arasında çalıştırabilirdi. Silicon Labs Si7021 Nem ve Sıcaklık Sensörü 150µA aktif akım ve 60nA bekleme akımı gerektirdi. Toplamda, sensörlerimiz kapalı konumda iken, 3V da 5.6µA, veri toplarken ve aktarırken 4 ila 10mA aralığında güç tüketmiştir. Sensörlerin uyku süresi, güç tasarrufu için 300 saniye olarak tasarlanmıştır, veri toplamak ve göndermek için 1 saniyelik zaman ayrılmıştır. Sensörlerden veri okunması, sensörün kapatılması, radyonun açılması, verinin gönderilmesi ve frekans değişimi için yeniden başlatılması gibi süre gereksiniminden dolayı, sensör noktalarının

iki tane aynı frekansta veri gönderme aralığı 345 saniye olarak saptanmıştır.

Proje için temin edilen GP Ultra Plus pillerin, GP Ultra'dan daha yüksek performans vermesi beklenirken, sıcaklık değişimine daha çok duyarlı olduğu, yüksek sıcaklık değişimi olduğu durumlarda kimyasal yapılarının bozularak, pil yuvalarına zarar verdiği gözlenmiştir. Bunun nedeni, pilin kapasitesinin çok yüksek olmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. GP firmasının normal, alkalın olmayan, pilleri ile yapılan denemelerde, bu pillerin, belli bir süreden sonra radyonun gerektirdiği gücü veremediği dolayısıyla işlemcinin radyo okumasını bekleme döngüsünde kalarak sürekli güç tüketerek, hesaplanan süreden daha kısa zamanda pili tükettiği gözlenmiştir. Alkalın piller, yapıları gereği, uzun süre düşük akım yada kısa süre yüksek akım vermek üzere tasarlandıkları için, bu tür denemeler için ideal oldukları saptanmıştır.

Proje başlangıç tarihinden itibaren yerleştirilen 92 sensör noktasından alınan veriler incelendiğinde, bazı sensör noktalarının güç seviyesi, 2 yıl geçmesine rağmen yarı seviyeye henüz ulaşmadığı saptanmıştır. Pilin kimyasal yapısı gereği, sera içerisinde gözlenen sıcaklık değişiminin, pil voltajında sapmalara neden olduğu saptanmıştır. Bu sapma değerleri, devrenin çalışmasına olumsuz bir etki yapmamasına rağmen, dahili kalibrasyon özelliği olmayan, analog sıcaklık, nem, gaz sensörlerinde sorun oluşturabileceği saptanmıştır. Si7021 sensörü içerisinde bulunan dahili voltaj kalibrasyonu sayesinde bu sensörün, bu tür sıcaklık aralığında kullanılacak en doğru sonucu verebilen nem ve sıcaklık sensörü olabileceği bulunmuştur. BMP180 sensörü içerisinde bulunan EEPROM sayesinde, sıcaklık ve basınç algılaması kalibre olarak yapıldığından, bu tür hesaplamalar için güvenilir bir sensör olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, sera içi sıcaklığına bağlı olarak pil voltaj seviyesinin değiştiği gözlenmiştir. Aynı zamanda, sera içi sıcaklığına bağlı olarak sera içi basıncının da değiştiği gözlenmiştir. Sera içi sıcaklığı ile pil voltaj seviyesi arasında ($p < 0.01$) önem düzeyinde bir ilişkinin olduğu, basınç

değerleri ile de aynı önem düzeyinde ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Günün saati, ay ve tarih ile ayrı ayrı pil voltajı arasında ($p < 0.01$) önem düzeyinde bir ilişki elde edilmiştir. Aylar ile pil voltajlarının aylık seviye düşümleri arasındaki ilişki önemsiz ($p > 0.05$) çıkmıştır. Yıllar ile pil voltajlarının yıllık seviye düşümleri arasında ($p < 0.01$) önem düzeyinde önemli bir ilişki bulunmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma, Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen BAP OUAP(Z)-2015/10 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Desteği için Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Bogena, H.R., Huisman, J.A., Oberdörster, C., Vereecken, H. 2007. Evaluation of a low-cost soil water content sensor for wireless network applications. *Journal of Hydrology* (2007) 344, 32–42.

Gennaro, S.F., Matese, A., Mancin, M., Primicerio, J. and Palliotti, A., 2014. An Open-Source and Low-Cost Monitoring System for Precision

Enology. *Sensors* 2014, 14, 23388-23397.

Gherbi, C., Aliouat, Z., Benmohammed, M., 2016. An adaptive clustering approach to dynamic load balancing and energy efficiency in wireless sensor networks. *Energy* 114 (2016) 647-662.

Özgül, F., 2016. “Her Yönüyle Python”, Kodlab, İstanbul.

Pierce, F.J., Elliott, T.V., 2008. Regional and on-farm wireless sensor networks for agricultural systems in Eastern Washington. *Computers and Electronics in Agriculture* 61 (2008) 32–43.

Ruiz-Garcia, L., Barreiro, P., Robla, J.I., 2008. Performance of ZigBee-Based wireless sensor nodes for real-time monitoring of fruit logistics. *Journal of Food Engineering* 87 (2008) 405–415.

Suri, A., Iyengar, S.S., Cho, E., 2006. Ecoinformatics using wireless sensor networks: An overview, *Ecological Informatics* 1 (2006) 287 – 293.

Wang, N., Zhang, N., Wang, M., 2006. Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective. *Computers and Electronics in Agriculture* 50 (2006) 1–14.