



Araştırma Makalesi/Research Article

Kontrollü Ortamda Bitkisel Yetiştiricilik için Arduino Uyumlu Bir Toprak Nemi İzleme Sistemi Tasarımı

Ünal Kızıl^{1*} Sefa Aksu¹ Gökhan Çamoğlu¹

¹ÇOMÜ Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü. 17020/Çanakkale.
*Sorumlu yazar: unal@comu.edu.tr

Geliş Tarihi: 19.06.2018

Kabul Tarihi: 27.09.2018

Öz

Dünyada hayatın devam edebilmesi için suyun varlığını sürdürmesi tartışılmaz bir gerçektir. Kullanılabilir su kaynakları da bu bağlamda kritik öneme sahiptir. Bu kaynağın sürekliliği ise gün geçtikçe artan nüfusun tehdidi altındadır. Çözüm olarak ortaya atılan fikirlerin bulunduğu nokta, suyun daha etkili kullanılmasıdır. Sulama teknolojilerindeki gelişmeler de bu amaca hizmet edecek şekilde ilerlemektedir. Bunun sonucu olarak da topraktaki nemin izlenmesi oldukça önem kazanmıştır. Nemi izleme için ampirik modellerin kullanılmasından başlayan süreç, elektronik cihazlarla anlık sonuçlar alınabilmesine kadar gelmiştir. Toprağın mekanik ve kimyasal özelliklerinden faydalanılarak izleme sağlamak için üretilmiş bu cihazlar yüksek maliyetli olmaları nedeniyle yeterince yaygınlaşamamıştır. Tüketicilerin, kendi ihtiyaçlarına yönelik elektronik cihazları üretmeye başlamasıyla devre bileşenleri daha ucuz ve kolay ulaşılabilir olmuştur. Toprak nem sensörleri de çeşitli üreticiler tarafından farklı donanımlarla üretilmeye başlanmış ve rezistif toprak nem sensörleri 2\$ civarında bulunabilir olmuştur. Benzer şekilde mikroişlemci devre kartları (Arduino) ve yazılım üretme sistemleri (IDE) de elde edilebilir duruma gelmiştir. Kolay elde edilebilir bu sistem bileşenlerinin sonuç verme kabiliyetleri ise yeterince araştırılmamış bir konudur. Bu çalışma kapsamında, düşük maliyetli bir toprak nemi izleme sistemi üretilmiş olup rezistif toprak nem sensörlerinin test edilmesi sağlanmıştır. Kontrollü ortamda yürütülen deneme sonucunda, ortalama belirtme katsayısı 0.91 olarak bulunmuştur. Bu değer yüksek maliyetli rezistif sensörlerden düşük olsa da istatistiki açıdan oldukça önemli bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Arduino, Toprak Nemi, Kalibrasyon, Toprak Nem Sensörü.

Design of an Arduino Compatible Soil Moisture Monitoring System for Plant Production in a Controlled Environment

Abstract

It is an indisputable fact to maintain the existence of water in order to maintain the life in the world. The available water resources are also critical in this context. The availability of this resource is threatened by increasing population. From this point of view water must be used more efficiently. The developments in irrigation technology are also progressing to serve this purpose. From here it is understood that it is important to watch the movement of the moisture in the soil. The process that began with the use of empirical models for moisture monitoring has come up with the ability to take snapshots with electronic devices. These devices, which are produced for monitoring by taking advantage of the mechanical and chemical properties of the soil, have not been widespread due to their high cost. The sensor components have become much more accessible as the electronic market moves towards the point where users produce for themselves. Soil moisture sensors have also begun to be manufactured by different manufacturers with different equipment, and resistive soil moisture sensors have been available for around \$ 2. Similarly, microprocessor circuit boards (Arduino) and software generation systems (IDE) have also been reachable. The ability of these easily obtainable system components to produce results is an under-explored question. In this study, a low cost soil moisture monitoring system was produced and tested for resistive soil moisture sensors. The mean coefficient of determination for the test result in the controlled environment was 0.91. Although this score is lower than high-cost resistive sensors, it is statistically very significant.

Keywords: Arduino, Soil Moisture, Calibration, Soil Moisture Sensor.

Giriş

Ekonomi biliminin, sınırlı kaynaklarla sonsuz talebi karşılamaya yönelik ortaya koyduğu çözümlerin önemli bir kısmını birincil üretim araçları oluşturmaktadır. Buna göre, küresel gıda üretiminin insan nüfusuna paralel olarak artması istenmektedir. Üretim alanlarının yeterli büyümeyi yakalayamaması sebebiyle sınırlı doğal kaynaklara erişim için bir rekabet oluşmuştur (Valdes ve ark.,



2014). Bitkisel üretim açısından su, bu kaynakların en önemlisidir. Bu bağlamda su kaynaklarının sürdürülebilir kılınması hayati önem arz etmektedir (Soulis ve ark., 2014).

Bitkiler, suyu yetiştirme ortamının nem içeriğine bağlı olarak aktif ya da pasif taşıma yoluyla bünyelerine alırlar. Toprakta yeteri miktarda su bulunmaması durumunda bitkiler suyu aktif taşıma yoluyla alırlar. Aktif taşıma, enerji kullanımı gerektirmesi dolayısıyla tohumların filizlenmesinden hasat evresine kadar her periyotta kayıpların oluşmasına sebep olur (Gaikwad ve ark., 2015). Buna karşın, ortamda suyun ihtiyaç duyulandan fazla miktarda bulunması da bitki besin maddelerinin alınmaması, mikroorganizma faaliyetlerinin azalması ve hastalık etmenlerinin oluşması gibi durumların görülmesiyle üretimin sürdürülebilirliğini önlemektedir. Toprak nem içeriğini, yetiştirilen bitkilerin ihtiyaç duydukları seviyede muhafaza etmek, ürün kayıplarının önlenmesi ve üretimin sürekliliğinin sağlanması açısından son derece önemlidir (Robinson ve ark., 2008; Zehe, 2010; Bircher ve ark., 2011; Mittelbach ve ark., 2012; Ochsner ve ark., 2013). Nem içeriğinin korunmasını sağlamak ise sürekli izleme ile mümkün olabilmektedir.

Geleneksel nem izleme yöntemleri, meteorolojik verilerin ampirik analizleri, toprak su içeriği ve bitki ölçümlerine dayanmaktadır (Oates ve ark., 2017). Bu yöntemler dolaylı olarak sonuç vermeleri bakımından zaman ve işgücü yükleri oldukça fazladır ve etkili izleme sıklığını sağlayamazlar (Reynolds, 1970; Topp ve ark., 1984; Pariva ve ark., 2012). Dolaylı nötron azalmasına dayanan bir diğer yöntem olan nötron probe ise kesin ve hassas sonuçlar vermesine karşın, pahalı olması, güvenlik endişeleri ve eğitilmiş personel gerektirmesi gibi nedenlerle geniş kullanım alanı bulamamıştır (Wang ve ark., 1989; Chanasky ve Naeth, 1996). Bunlara ek olarak, uzaktan algılama (Maes ve ark., 2016; Camoglu ve ark., 2018), bitki sensörleri (Torres ve ark., 2016; Camoglu ve ark., 2017) ve meteorolojik sensörler (Gao ve ark., 2016) gibi bir çok dolaylı nem izleme sistemi kullanılmaktadır.

Elektronik biliminin kaydettiği gelişmelere bağlı olarak farklı tekniklere dayanan doğrudan nem izleme sistemleri geliştirilmiştir. Bunlar; elektromanyetik yansıma süresi (TDR) (Janik ve ark., 2014), elektromanyetik yansıma frekansı (FDR) (Al Asadi ve Mouazen, 2014; Jaria ve Madramootoo, 2014) gibi kapasitif ve Wenner-Schlumberger dizilimleri (Mosuro ve ark., 2012; Jiao-Jun ve ark., 2014) gibi rezistif temelli sistemlerdir. Kapasitif temelli TDR ve FDR sistemleri büyük devre düzenlemeleri, yüksek güç tüketimi ve maliyetleri dolayısıyla yaygın olarak kullanılamamışlardır. Benzer şekilde rezistif temelli sistemler ise değişen sıcaklık ve ortam koşullarından etkilenmeleri dolayısıyla geliştirilmek durumunda kalmışlardır (Huan ve ark., 2017). Halihazırda çeşitli geliştirmelerle birlikte ticari olarak elde edilebilen bu sensörler, toprak nem izleme uygulamalarında sıklıkla kullanılsa da yüksek maliyetleri kısıtlayıcı bir etkendir.

Kişisel kullanıma yönelik bilgisayarların piyasaya çıkmasından günümüz akıllı telefonlarına kadar çok hızlı bir şekilde ilerleyen teknoloji sayesinde, elektronik alet ve bileşenlerinin üretimi artmıştır. Buna bağlı olarak dijital baskı devre ekipmanları çeşitlenmiş ve giderek ucuzlamıştır (Kojima ve ark., 2016). Bu ekipmanlara erişimi kolaylaşan tüketiciler ise ‘kendin yap’ projelere ilgi duymaya başlamıştır. Kendin yap projelerin ortak bileşeni ise bir mikroişlemci ünitesidir. Çeşitli ihtiyaçlara göre düzenlenmiş mikroişlemci ünitelerinin yaygınlaşması ise 2005 yılında IVREA enstitüsünde (İtalya) bir öğrenci projesi olarak ortaya çıkan Arduino kartlarıyla olmuştur. Basit elektronik bileşenleri ile oluşturulabilen bu kartın, tüketicilerin ilgisini çeken ve yaygınlaşmasını sağlayan yönü devre şemalarının ücretsiz paylaşılmasıdır (Kushner, 2011). Bu sayede bir çok üretici çeşitli modeller üretip piyasaya sürmüş ve gün geçtikçe fiyatları düşmüştür. Projelerin yazılımını oluşturmak için üretilen entegre geliştirme ortamı (IDE) ise yaygın programlama dillerini kullandığı ve bütün geliştirme kartlarıyla uyumlu olduğu için ortak yazılım aracı olarak kabul görmektedir (Arduino, 2015).

Arduino ve benzeri geliştirici kartlarının neredeyse sınırsız denilebilecek kullanım alanları, elektronik üreticilerinin bu kartlarla uyumlu çalışabilecek modüller ve sensörler üretmelerini sağlamıştır (Bhanarkar ve Korake, 2016). Bu sensörlerin birisi de rezistif toprak nem sensörüdür. Temel olarak iki iletken ucunun arasındaki akımın direnç değerini veren bu sensörler, kişisel projelerin oluşturulmasında çok çeşitli kullanım alanları bulmuştur.

Bitkisel üretimde toprak neminin izlenmesinde kullanılan güncel sensörler, kesin ve hassas sonuçlar vermesi sebebiyle tercih edilse de yüksek maliyetli olmaları genellikle araştırma amaçlı kullanılmalarına neden olmuştur (Kojima ve ark., 2016). Arduino için geliştirilen ve düşük maliyetli olan rezistif toprak nem sensörlerinin, bitkisel üretimde kullanım performansı bir araştırma konusudur.

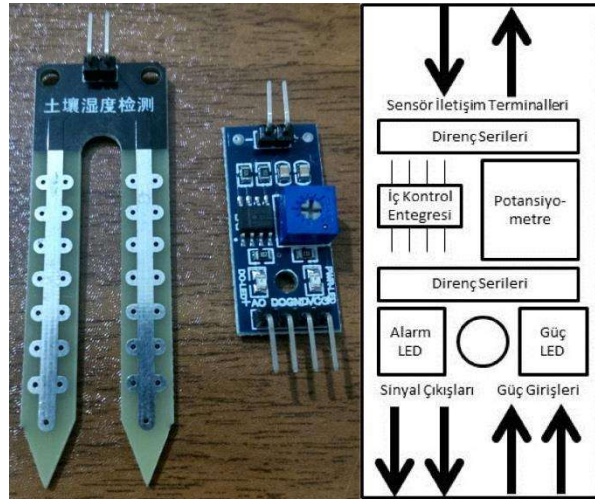
Çalışma kapsamında, 72 rezistif toprak nem sensörünün aynı yetiştirme ortamında farklı nem içeriklerine verdikleri tepkileri eşzamanlı olarak gösterebilen bir cihaz tasarlanmıştır. Ağırlık esasına dayalı olarak kaydedilen toprak nem içerikleri, sensör değerleriyle karşılaştırılarak kalibrasyona uygunluğu ortaya konulmuştur.

Materyal ve Yöntem

Cihaz Bileşenleri

Cihaz; rezistif toprak nem sensörü ve sürücü kartı, mikroişlemci entegre kartı, sıvı kristal ekran ve sürücü kartı, analog kanal çoklayıcı entegre, güç adaptörü, montaj elemanları ve proje kutusu, kalibrasyon malzemeleri ve yazılım kısımlarından oluşmuştur. Bu kısımlara ilişkin ayrıntılar aşağıda açıklanmıştır.

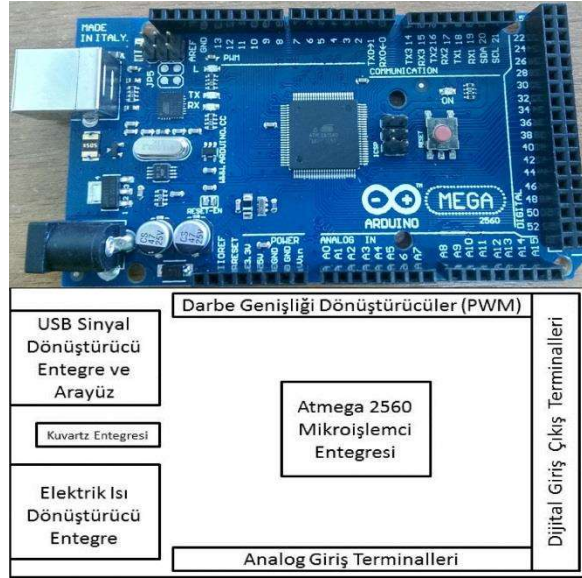
Rezistif toprak nem sensörü ve sürücü kartı: Cihaz, üretilme amacına uygun olarak rezistif toprak nem sensörlerinden (Şekil 1) veri alabilmektedir. Bu nem sensörleri, 5 voltluk akımı iletken malzeme kaplı bacaklarından birine yönlendirerek diğer bacağından toplamakta ve bu sayede iletken bacakları arasındaki malzemenin içerdiği nemin akıma direnç göstermesini sağlamaktadır. Basitçe “U” şeklinde yalıtkan baskı devre malzemesi üzerine giydirilmiş iletken yüzeylerden oluşur.



Şekil 1. Rezistif toprak nem sensörü ve sürücü kartı şeması

Söz konusu sensör, gönderilen akımı düzenleyen ve üzerinden geçen akımı geri toplayarak anlamlı dijital çıktılar oluşturan bir sürücü kartıyla birlikte kullanılır. Bu sürücü kartı üzerinde bulunan iç kontrol entegresi (LM393) ve dirençler, sensör ünitesine her zaman aynı şiddette ve frekansta akım yollanmasını sağlarlar. Sürücü kartı, sensörden gelen akımı dijital ve analog olmak üzere iki farklı şekilde iletebilmektedir. Çalışmada, işlem görmemiş verileri elde etmek için analog çıkış kullanılmıştır.

Mikroişlemci entegre kartı: Cihazın bir bilgisayar gibi çalışarak girdi sağlayan birimlerden gelen veriyi işleyerek istenen çıktı biriminde sunması istenmektedir. Bunu sağlayabilmek için yeterli kabiliyette bir mikroişlemci ünitesi gerekmektedir. Kullanılan sensör sürücü kartından gelen analog veriyi depolama, işleme ve çıktı birimlerinde anlamlı sinyallere dönüştürebilme kabiliyetine sahip yaygın kullanımlı bir kart olması sebebiyle Arduino geliştirici kartı tercih edilmiştir. Her bir versiyonunda farklı bir mikroişlemci entegre kullanan bu kartlar, dahili iç kontrol entegresi vasıtasıyla en basit haliyle alınan dijital sinyalleri (ikili sistem) günümüz elektronik cihazlarıyla haberleşebilecek şekilde USB (Evrensel Seri Veriyolu) formatına çevirmektedir. Arduino kartlarının çeşitli ihtiyaçlara cevap verebilecek kabiliyette birçok modeli bulunmaktadır. Cihazın kullanım amacına yönelik olarak analog giriş terminallerinin sayısının olabildiğince fazla olması istenmiştir. Bu duruma en uygun Arduino modeli ise 16 adet analog girişi olan Arduino Mega versiyonudur (Şekil 2).



Şekil 2. Arduino Mega geliştirici kartı ve şeması

Arduino Mega geliştirici kartı mikrodenetleyici olarak Atmega2560 entegresi bulundurmaktadır. Geliştirici kartları arasında en çok sayıda giriş-çıkış terminaline sahip kart 54 adet dijital ikili sistem veriyoluna sahiptir. Bu veriyollarının 15 tanesi darbe genişliği dönüştürücüsü (PWM) özelliği ile analog terminal girişlerini taklit edebilmektedir.

Sıvı kristal ekran (LCD) ve sürücü kartı: Silikon devreler üzerinde sıvı kristal malzemenin akıma tepki vererek renkleri oluşturması esasına dayanarak üretilmiş 9 santimetre büyüklüğündeki ekrandır. Doğrudan Arduino kartının yazılım arayüzünden programlanabilen ekran, baskı devre kartı üzerinde iç kontrolcü entegresi olmaması sebebiyle uyumlu bir sürücü kartıyla birlikte kullanılmıştır. Sürücü kartı üzerindeki voltaj düzenleme ve sinyal düzeltme entegreleri sayesinde geliştirme kartının dijital terminallerine doğrudan bağlanabilmektedir.

Analog kanal çoklayıcı entegre: Cihaz, aynı anda 72 toprak nem sensöründen gelen veriyi ekrana yazdırabilecek şekilde tasarlanmıştır. Buna karşın geliştirme kartının analog giriş terminali sayısı 16 ile sınırlıdır. Bu sorunu aşmak üzere 9 adet 74HC4051N kanal çoklayıcı dip entegre kullanılmıştır. Kullanılan bu entegre, dijital terminallerden aldığı üçlü sinyal kombinasyonu şifrelemesine cevap olarak 8 farklı analog sinyali tek bir kanaldan sırayla geliştirme kartına yollayabilmektedir. Geliştirme kartının 9 analog terminali üzerinden 40 ms aralıkla gelen 72 sensörün değeri ekranda 2 saniyeden daha kısa sürede tamamlanmaktadır.

Güç adaptörü: Duvar tipi prizden gelen 220 volt alternatif akımı, cihaz bileşenlerinin tamamının enerji ihtiyacını karşılayacak şekilde 5 volt 10 amper doğru akıma çeviren adaptördür. Üzerindeki faraday kafesi sayesinde cihaz içerisindeki entegrelerin elektromanyetik gürültüden etkilenmesi ve arıza moduna geçmesi engellenmiştir.

Montaj elemanları ve proje kutusu: Sensörlerden cihaza sinyal taşınması ve cihaz içerisindeki bağlantıların yapılmasında çok damarlı 0.5 mm kalınlığında zil telleri kullanılmıştır. Kabloların, sensörlere çıkan uçları toprak neminden etkilenmemesi için silikon ile izole edilmiştir. Cihaza takılacak uçları ise standart RJ-11 tipi soketlere basılmıştır. Aynı şekilde cihaz üzerindeki sensör girişlerine de standart RJ-11 soket yuvaları monte edilmiştir. Her kablonun aynı uzunlukta ve aynı materyalden seçilmesiyle malzeme iç dirençleri eşitlenmiş ve sensörlerden gelen akım değerleri sabit tutulabilmektedir. Elektronik bileşenlerin içine sabitlendiği proje kutusu ABS plastik malzemeden seçilerek kısa devre olasılığı engellenmiştir.

Kalibrasyon malzemeleri: Tasarlanan sistemde her bir sensör için aynı koşullar sağlanarak kalibrasyona uygun sonuçlar vermesi beklenmiştir. Toprak nem sensörlerinin kalibrasyon metodolojisi ve dolayısıyla yetiştirme ortamı standartları üzerine düzenlenmiş toplantılarda kesin geçerliliğe sahip bir ortam seçmenin mümkün olmadığı ifade edilmiştir (Paltineanu ve Munoz, 2010; Paltineanu, 2014). Bu sebeple sensörlerin kalibrasyonu kullanılacağı bölgedeki yetiştirme ortamında yapılmalıdır. Matula ve ark. (2016) ticari toprak nem sensörlerinin kalibrasyon eğrilerini farklı koşullarda test etmişler ve kum ortamından nemin uzaklaşmasının daha hızlı olması nedeniyle diğer yetiştirme ortamlarına göre

fazla sayıda veri elde etmişlerdir. Bu nedenle, sensörlerin kalibrasyonu için kum yetiştirme ortamı seçilmiştir. Cihazın testi için çapı 25 cm ve derinliği 50 cm olan fidan üretim poşetleri kullanılmıştır. Günlük tartım işleri için 10 gr hassasiyete sahip endüstriyel bir tartı (Digi DS-532) kullanılmıştır.

Yazılım: Kullanılan sensörlerin sürücü kartları Arduino ile uyumlu olduğu ve kanal çoklayıcı entegrelerin üçlü sinyal kombinasyonu şifrelemelerini düzenleyebildiği için yazılım arayüzü olarak Arduino IDE seçilmiştir. Arduino IDE, öntanımlı kütüphaneleri sayesinde farklı yazılım dilleri gerektiren bileşenlerin tek bir formatta oluşturulabilmesine olanak sağlamaktadır.

Tasarım

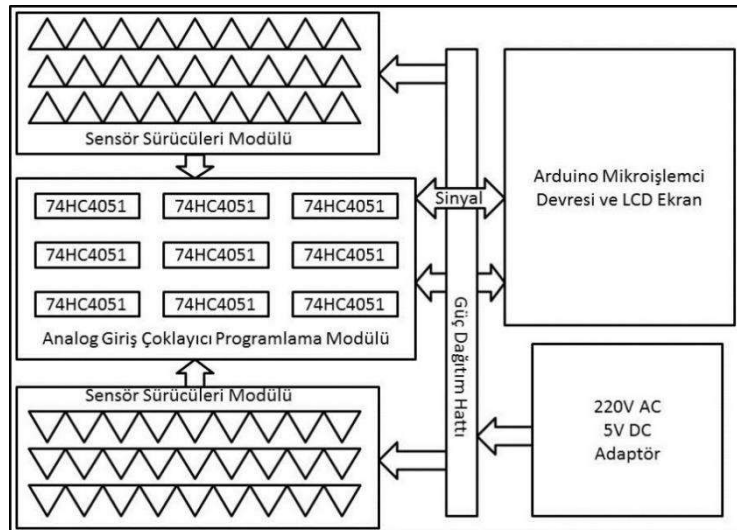
Cihazın elektronik bileşenleri kutunun içinde ve sensör bağlantı soketleri kapağın üzerinde sabitlenecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3). Mikroişlemci kartının haberleşme terminallerine sabitlenen ekran ise kapağın üzerine açılan bir pencereden görülebilecek şekilde kapağın altına sabitlenmiştir. Ekran için açılan pencerenin yanında, sensörlerin kalibrasyon eşitliğinin girilebilmesi için özel olarak üretilmiş bir bağlantı noktası bulunmaktadır.



Şekil 3. Cihazın üstten görünümü

Kapak üzerindeki soketlere bağlanan sensörlerden gelen voltaj değerleri, soketlerin alt tarafına sabitlenen kablolar üzerinden sürücü kartlarına ulaşmaktadır. Sürücü kartlarına ulaşan veriler analog değerlere dönüştürülerek, ilgili kanal çoklayıcının belirlenen bacağına iletilmektedir. Kanal çoklayıcılar, sinyal kombinasyonu şifrelemesine bağlı olarak 8 ayrı sürücüdenden gelen analog verileri sırayla çıkış kanalından mikroişlemci karta yollamaktadır. Mikroişlemci karta gelen sensör verileri LCD ekrandaki satır ve sütunlara yazdırılır. Kalibrasyon eşitliklerinin girilmesi durumunda ise mikroişlemcide bekletilen sensör verileri, ilgili eşitliklerde hesaplandıktan sonra ekrandaki hücelere iletilmektedir.

Cihazın içerisindeki elektronik bileşenlerin sayısının fazla olması ve toplam kablo uzunluğunun 300 metreyi bulması sebebiyle 10 amperlik akım sağlayan adaptörün bir güç hattına bağlanarak bileşen gruplarının bu hat üzerinden elektrik almaları sağlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Cihaz içi aksamının çalışma prensibini anlatan şema

Arduino mikroişlemci ve LCD ekran modülü, kararlı bir şekilde çalışabilmesi için güç hattından kablo ile besleme almaktadır. Benzer şekilde, kanal çoklayıcılarına şifreleme sinyali göndermek ve sensör verilerini almak için de bir kablo hattı kullanılmaktadır.

Kalibrasyon Denemesi

Cihazın tasarımının tamamlanmasının ardından, topraktaki nem değişimlerine doğrusal tepkiler verip vermediğini gözlemek için bir deneme kurulmuştur. Toplam 72 sensörden aynı anda veri alabilen sistemde, deneme için 36 sensör kullanılmıştır. Böylece her bir sensör için bir giriş yedek olarak bulundurulmuştur. Cihazın tasarım amacına uygun olacak şekilde kontrollü ortamda yapılan yetiştiricilikte ortamdan eksilen nemin, bitkinin kullanabileceği maksimum nem seviyesine çıkarmak için gereken miktarını gösterecek şekilde kalibre edilmesi istenmiştir. Bu nedenle kalibrasyon, yarayışlı su miktarı göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Yetiştirme ortamının tarla kapasitesi (TK) için 1/3 atm ve solma noktası (SN) için 15 atm basınç uygulanmıştır (Allen, 1998). Cihazdan çıkarılan örnekler tartılarak not edilmiş ve fırın kuru ağırlıklarının belirlenmesi için 105 °C'de 24 saat etüvde tutulmuşlardır (Zazueta ve Xin, 2004; Susha Lekshmi ve ark., 2014). Ardından tekrar tartılarak not edilmiş ve TK ile SN nem değerleri ağırlık yüzdesi cinsinden belirlenmiştir. Yetiştirme ortamının hacim ağırlığı, etüvde kurutulmuş 100 cm³ toprak örneği tartılarak belirlenmiştir. Elde edilen hacim ağırlığı ile çarpılan ağırlık yüzdesi cinsinden nem değerleri hacim yüzdesine çevrilmiştir. Taban alanı 25 cm ve derinliği 50 cm olan 36 adet fidan üretim poşetine, her biri 13.5 kg olacak şekilde doldurulan kum, sürekli havalandırılan bir ortamda dizildikten sonra, sensörler her bir saksının tam ortasına gelecek şekilde yere dik olarak yerleştirilmiştir (Şekil 5). Cihaz çalıştırılmış ve bütün saksıların tabanında yer alan drenaj deliklerinden su çıkışı gözlenene kadar destile su eklenmiştir. Ekrandaki değerler ve her bir saksının ağırlığı, ilki cihaz çalıştırdıktan 24 saat sonra olacak şekilde, 15 gün boyunca günlük olarak kaydedilmiştir. Deneme süresince farklı zamanlarda meydana gelen arızalar nedeniyle 10 adet yedek sensör eklenmiş ve ölçüm devam ettirilmiştir.



Şekil 5. Deneme düzeni

Deneme sonucunda elde edilen veriler MS Excel programında tablo haline getirilmiştir. Saksıların tartım sonuçlarından saksı içindeki fırın kuru kum ağırlıkları çıkarılarak nem ağırlıklarına ulaşılmıştır. Ardından SN seviyesini ifade eden nem ağırlığı da çıkarılarak kullanılabilir suyun kütlesine ve yüzde cinsinden nem değerine ulaşılmıştır. Kullanılabilir su hacmi, yetiştirme ortamının kullanılabilir su tutma kapasitesi 100 eşit aralığa bölünerek belirlenmiştir. Bu durumda SN=%0 ve TK=%100 kabul edilmiştir. Sensör değerleri ve kullanılabilir su hacmi değerleri iki eksenli dağılım grafiklerine dönüştürülerek doğrusal regresyon analizi yapılmış ve belirtme katsayıları (R^2) elde edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Çalışmada toplam 46 sensörün kalibrasyon eşitlikleri ve R^2 değerleri elde edilmiştir (Çizelge 1). Yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre en düşük $R^2 = 0.81$, en yüksek $R^2 = 0.99$ ve bütün sensörlerin ortalaması için $R^2 = 0.91$ bulunmuştur.

Çizelge 1. Sensörlere ait kalibrasyon eşitlikleri ve belirtme katsayıları

Sensör Numarası	R ²	Kalibrasyon Eşitliği	Sensör Numarası	R ²	Kalibrasyon Eşitliği
1	0.87***	y = -0.3978x + 312.67	24	0.97***	y = -0.5641x + 486.64
2	0.92***	y = -0.7742x + 709.13	25	0.84***	y = -0.8841x + 837.82
3	0.91***	y = -0.4491x + 355.72	26	0.85***	y = -1.0225x + 1022.2
4	0.87***	y = -0.387x + 295.15	27	0.87***	y = -0.504x + 394.6
5	0.86***	y = -0.6767x + 611.7	28	0.88***	y = -0.359x + 292.53
6	0.99***	y = -0.5939x + 504.84	29	0.93***	y = -0.4542x + 376.81
7	0.95***	y = -0.5706x + 480.1	30	0.91***	y = -0.6079x + 537.83
8	0.84***	y = -0.7012x + 624.51	31	0.90***	y = -0.613x + 514.02
9	0.84***	y = -0.9777x + 910.24	32	0.93***	y = -0.6325x + 561.26
10	0.99***	y = -0.674x + 591.81	33	0.92***	y = -0.3489x + 253.86
11	0.87***	y = -0.6884x + 593.66	34	0.90***	y = -0.6241x + 574.03
12	0.85***	y = -0.378x + 349.35	35	0.91***	y = -0.3621x + 279.32
13	0.86***	y = -0.7081x + 648.65	36	0.88***	y = -0.4094x + 351.29
14	0.86***	y = -0.8859x + 856.98	37	0.96***	y = -0.1914x + 98.084
15	0.99***	y = -0.8922x + 811.94	38	0.91***	y = -1.177x + 1129.7
16	0.88***	y = -0.846x + 818.03	39	0.94***	y = -0.6723x + 618.6
17	0.82***	y = -0.9457x + 932	40	0.99***	y = -0.8197x + 739.63
18	0.82***	y = -0.9511x + 931.75	41	0.81***	y = -0.7131x + 666.48
19	0.95***	y = -0.6379x + 563.2	42	0.97***	y = -0.4065x + 323.9
20	0.99***	y = -0.5216x + 431.82	43	0.95***	y = -0.6052x + 524.78
21	0.98***	y = -0.4505x + 362.3	44	0.90***	y = -0.2444x + 146.56
22	0.98***	y = -0.7178x + 630.14	45	0.91***	y = -1.0995x + 1057
23	0.98***	y = -0.7932x + 717.23	46	0.96***	y = -0.3598x + 271.75
			Ortalama	0.91***	

Bu değerlerden bazıları, literatürde bahsedilen rezistif toprak nem sensörleri için elde edilenlerden düşük olsa da, aradaki ilişkilerin tümü istatistiksel açıdan %0.1 düzeyinde önemli çıkmıştır (Kojima ve ark., 2016).

Deneme sonlandıktan sonra (90 gün) saksılardan çıkartılan sensörlerin tamamında değişen boyutlarda oksidasyon tespit edilmiştir (Şekil 6). Bunun sebebi olarakta, sensörler üzerindeki iletken kaplama malzemesinin aynı miktar ve kalitede olmamasıdır. Söz konusu sensörler her ne kadar kalibrasyona uygun sonuçlar vermiş olsa da, uzun süreli kullanımlarda kalibrasyon eşitlikliklerine uyumluluğu azalabilmekte ve böylece istenilen amacın dışına çıkabilmektedir.



Şekil 6. Okside olmuş sensör örnekleri

Ticari olarak elde edilebilen rezistif toprak nem sensörlerinden, denemede kullanılanlara yakın maliyetli olan birçok çeşidinin benzer sonuçlar vereceği tahmin edilmektedir. Bu sebeple bitkisel üretimde kullanılmak istenmesi durumunda birden fazla paralelli olarak kurulması ve çalışmada üretilen gibi aynı anda birçok sensörden veri alabilen bir cihaza bağlanması gereklidir. Sensörlerin, oksidasyona dayanıklı bir malzemeden imal edilmesi de önemli olan bir başka durumdur (Bhanarkar



ve Korake, 2016). Sistem için üretilen cihazın, çalışma prensibi gereği herhangi bir iletken toprak nem içeriği verisi toplayabiliyor olması bu seçeneği mümkün kılmaktadır.

Sonuç ve Öneriler

Ziraat, ekoloji ve toprak mekaniği gibi bilim dalları için tanımlayıcı bir parametre olan toprak nem içeriği, çeşitli yöntemlerle takip edilmektedir. Geleneksel yöntemlerin zaman, işgücü ve güvenlik yönlerinden yetersiz kalmaya başlamasıyla teknolojik çalışmalar hız kazanmıştır. Sensör biliminin de çalışma alanı haline gelen toprak nemi izleme, hızlı sonuçlar verebilecek cihazların üretilmesini sağlamıştır. Toprağın barındırdığı üç ana fazdaki (katı, sıvı, gaz) materyalin elektrik akımına gösterdiği direncin farklı olmasından yola çıkılarak üretilmiş rezistif toprak nem sensörleri de bu cihazlardandır. Toprak nem sensörleri, üretilmeye başlandığı tarihten günümüze kadar yapılan araştırmalar sonucunda farklı çalışma prensiplerine sahip çeşitleri geliştirilmiş olsa da yüksek maliyetleri sebebiyle yeterince geniş kullanım alanı bulamamıştır. Kişisel elektronik cihazların yaygınlaşması ise devre parçalarının maliyetlerini düşürmüştür. Bununla birlikte ortaya atılan kişisel ihtiyaca yönelik teknolojik cihazların, kullanıcılar tarafından geliştirilmesi fikri yaygınlaşmıştır. Geliştirme kartlarının ve kolaylaştırılmış yazılım üretme araçlarının piyasaya çıkması ile de modüler sensör devreleri üretilmeye başlanmıştır. Gün geçtikçe maliyetleri azalan ve yaygınlaşan bu sensörler, toprak nemi izleme için çeşitli cihazların daha kolay üretilmesini sağlamıştır. Fakat istenilen doğrulukta sonuçlar verip vermediği yeterince irdelenmemiştir.

Bu çalışmada, ticari olarak kolaylıkla elde edilebilen rezistif toprak nem sensörlerinin kalibrasyon için yeterli hassasiyette veri üretebilme becerileri araştırılmıştır. Bunun için üretilmiş özel bir cihaz yardımıyla kumda nemin azalmasına karşı elde edilen sensör sonuçları ağırlık azalımı ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda istatistiksel olarak önemli sonuçlar elde edilmiştir. Kullanılan sensörlerin iletken yüzeylerinde meydana gelen oksidasyonun kullanım ömrünü azaltması nedeniyle, kaplama malzemesi olarak oksitlenmeyen bir iletkenin tercih edilmesi önerilebilir. Ayrıca, ticari olarak kullanılan bu tip düşük maliyetli toprak nem sensörü çeşitlerinin farklı yetiştirme ortamı ve farklı tuzluluk seviyelerindeki kalibrasyon yetenekleri ve kullanım ömürleri test edilmelidir.

Kaynaklar

- Al-Asadi, R.A., Mouazen, A.M., 2014. Combining frequency domain reflectometry and visible and near infrared spectroscopy for assessment of soil bulk density. *Soil and Tillage Research*, 135: 60–70.
- Allen, R.G., 1998. *Irrigation Engineering Principles. Course Lecture Notes*, Department of Biological and Irrigation Engineering, Utah State University, Logan, Utah, USA, :300.
- Arduino, 2015. <http://www.arduino.cc>, Son Ulaşım: Haziran 2018.
- Bhanarkar, M.K., Korake, P.M., 2016. Soil salinity and moisture measurement system for grapes field by wireless sensor network. *Systems & Control*, 3: 1164021.
- Bircher, S., Skou, N., Jensen, K. H., Walker, J. P., Rasmussen, L., 2011. A soil moisture and temperature network for SMOS validation in Western Denmark. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 16: 9961-10006.
- Çamoğlu, G., Demirel, K., Genç L., Akçal, A., 2017. Real-time monitoring of water stress by turgor pressure sensors. *International Congress on Landscape Architecture Research*, 30.
- Çamoğlu, G., Demirel, K., Genç, L., 2018. Use of infrared thermography and hyperspectral data to detect effects of water stress on pepper. *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, 15(1): 81-94.
- Chanasyk, D.S., Naeth, M.A., 1996. Field measurement of soil moisture using neutron probes. *Canadian Journal of Soil Science*, 76(3): 317-323.
- Gaikwad, P., Devendrachari, M.C., Thimmappa, R., Paswan, B., Kottaichamy, A.J., Kotresh, H.M.N., Thotiyl, M.O., 2015. Galvanic cell type sensor for soil moisture analysis. *Analytical Chemistry*, 87(14): 7439-7445.
- Gao, X.L., Peng, S.Z., Wang, W.G., Xu, J.Z., Yang, S.H., 2016. Spatial and temporal distribution characteristics of reference evapotranspiration trends in Karstarea: a case study in Guizhou Province, China. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 128(5): 677–688.
- Huan, Z., Wang, H., Li, C., Wan, C., 2017. The soil moisture sensor based on soil dielectric propert., *Personal and Ubiquitous Computing*, 21(1): 67-74.
- Janik, G., Skierucha, W., Blas, M., Sobik, M., Albert, M., Dubicki, M., Zawada, A., 2014. TDR technique for estimating the intensity of effective non rainfall. *International Agrophysics*, 28(1): 23–37.
- Jaria, F., Madramootoo, C.A., 2013. Thresholds for irrigation management of processing tomatoes using soil moisture sensors in Southwestern Ontario. *Transactions of the ASABE*, 56(1): 155–166.



- Jiao-Jun, Z., Hong-Zhang, K., Gonda, Y., 2014. Application of Wenner configuration to estimate soil water content in pine plantations on sandy land. *Pedosphere*, 17(6): 801–812.
- Kojima, Y., Shigeta, R., Miyamoto, N., Shirahama, Y., Nishioka, K., Mizoguchi, M., Kawahara, Y., 2016. Low-Cost Soil Moisture Profile Probe Using Thin-Film Capacitors and a Capacitive Touch Sensor. *Sensors*, 16(8): 1292.
- Kushner, D., 2011. The Making of Arduino, *IEEE Spectrum*, <https://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/the-making-of-arduino>, Son Ulaşım: Haziran 2018.
- Maes, W.H., Baert, A., Huete, A.R., Minchin, P.E.H., Snelgar, W.P., Steppe, K., 2016. A new wet reference target method for continuous infrared thermography of vegetations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 226: 119–131.
- Matula, S., Batkova, K., Legese, W.L., 2016. Laboratory performance of five selected soil moisture sensors applying factory and own calibration equations for two soil media of different bulk density and salinity levels. *Sensors*, 16 (1912).
- Mittelbach, H., Lehner, I., Seneviratne, S.I., 2012. Comparison of four soil moisture sensor types under field conditions in Switzerland. *Journal of Hydrology*, 430-431: 39-49.
- Mosuro, G.O., Bayewu, O.O., Oloruntola, M.O., 2012. Application of vertical electrical soundings for foundation investigation in a basement complex terrain: a case study of Ijebu Igbo, Southwestern Nigeria. 5th International Conference on Environmental and engineering Geophysics, Changsha, China, 29–34.
- Oates, M.J., Ramadan, K., Molina-Martínez, J.M., Ruiz-Canales, A., 2017. Automatic fault detection in a low cost frequency domain (capacitance based) soil moisture sensor. *Agricultural Water Management*, 183: 41-48.
- Ochsner, T. E., Cosh, M.H., Cuenca, R.H., Dorigo, W.A., Draper, C.S., Hagimoto, Y., Kerr, Y.H., Njoku, E.G., Small, E.E., Zreda, M., Larson, K.M., 2013. State of the art in large-scale soil moisture monitoring. *Soil Science Society of America Journal*, 77: 1888-1919.
- Paltineanu, I.C., Munoz, J.V., 2010. Introductory remarks by Dr. Ioan Caton Paltineanu. In *Proceedings of the Transactions of the Third International Symposium on Soil Water Measurement Using Capacitance, Impedance and TDT*, Murcia, Spain, 7–9 April p. 314.
- Paltineanu, I.C., 2014. On the importance of international standardization of methodologies and techniques for laboratory and field calibration of soil water measurement sensors based on capacitance, impedance and TDT. In *Proceedings of the Transactions of the Fourth International Symposium on Soil Water Measurement Using Capacitance, Impedance and TDT*, Montreal, QC, Canada, 16–18 July p. 105.
- Pariva, D., Ashi, Q., Ruchi, B., Syed, A.H., 2012. A review of the methods available for estimating soil moisture and its implications for water resource management. *Journal of Hydrology*, 458-459: 110-117.
- Reynolds, S.G., 1970. The gravimetric method of soil moisture determination Part I A study of equipment, and methodological problems. *Journal of Hydrology*, 11(3): 258-273.
- Robinson, D.A., Campbell, C.S., Hopmans, J.W., Hornbuckle, B.K., Jones, S.B., Knight, R., Ogden, F., Selker, J., Wendroth, O., 2008. Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories: A Review. *Vadose Zone Journal*, 7(1): 1539-1663.
- Soulis, K.X., Elmaloglou, S., Dercas, N., 2015. Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture based drip irrigation scheduling systems. *Agricultural Water Management*, 148: 258-268.
- Susha Lekshmi, S.U., Singh, D.N., Shojaei Baghini, M., 2014. A critical review of soil moisture measurement. *Measurement*, 54: 92-105.
- Topp, G.C., Zebchuk, W.D., Davis, J.L., Bailey, W.G., 1984. The measurement of soil water content using a portable TDR hand probe. *Canadian Journal of Soil Science*, 64(3): 313-321.
- Torres, V., Palacios, I., Iriarte, J.C., Liberal, I., Santesteban, L.G., Miranda, C., Royo, J.B., Gonzalo, R., 2016. Monitoring water status of grapevine by means of THzwaves. *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 37 (5): 507–513.
- Valdés, R., Ochoa, J., Franco, J.A., Sánchez-Blanco, M.J., Bañón, S., 2015. Saline irrigation scheduling for potted geranium based on soil electrical conductivity and moisture sensors. *Agricultural Water Management*, 149: 123-130.
- Wang, B.X., Fang, Z.H., Yu, W.P., 1989. The heat and moisture transport properties of wet porous media. *International Journal of Thermophysics*, 10(1): 211-225.
- Zazueta, F.S., Xin, J., 2004. *Soil Moisture Sensors*. Bulletin 292, University of Florida, Gainesville, FL, USA.
- Zehe, E., 2010. Interactive comment on “Plot and field scale soil moisture dynamics and subsurface wetness control on runoff generation in a headwater in the Ore Mountains” by E. Zehe et al.. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 6: C3145-C3151.