Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2017 Cilt 2 Sayı 3, 33 -41.
Academia Journal of Engineering and Applied Sciences, 2017 Vol. 2, Issue 3, 33 -41.

Sürdürülebilir Tarımsal Üretim için Toprak Nem Sensörlerinin Etkin Kullanımı

Cihan KARACA[1*], *Begüm TEKELİOĞLU* [1], *Dursun BÜYÜKTAŞ* [1]

[1]*Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Antalya, Türkiye*
** cihankaraca@akdeniz.edu.tr*

ÖZET

Nüfus artışına paralel olarak artan besin ihtiyacı, tarımsal alanların şehirleşme ve yanlış arazi kullanımı sonucu azalması ve diğer nedenlerle üretim sonrası yaşanan ürün kayıpları sonucunda her yıl daha fazla bitkisel üretim yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Birim alandan elde edilecek ürün miktarını arttırmak için en önemli uygulamaların başında sulama gelmektedir. Düzenli ve kontrollü sulama uygulamaları ile birim alandan elde edilen verim artarken aşırı su kullanımı sonucunda çevreye olan zararlar da önemli düzeyde azalmaktadır. Bunun yanında, toprakta bulunan su miktarının bilinmesi sulama suyu ihtiyacı ve sulama programlaması açısından önemlidir. Gelişen teknoloji sayesinde toprak neminin ölçülmesi gravimetrik yaklaşımdan ziyade daha çok toprak nem sensörleri kullanılarak yapılmaya başlanmıştır. Bu amaçla geliştirilmiş çok sayıda toprak nem sensörü bulunmaktadır. Bu sensörler çalışma prensibi açısından TDR (Elektromanyetik yansıma zamanı), FDR (Elektromanyetik yansıma frekansı) TDT (Elektromanyetik İletim ölçer) ve nötron prob adı altında toplanmaktadırlar. Maliyetinin düşük oluşu ve son yıllarda ölçüm güvenilirliğin artmasından dolayı FDR tabanlı toprak su içeriği sensörlerinin kullanımı artmıştır. Bu çalışmada yaygın olarak kullanılmaya başlanan toprak nem sensörlerinin çeşitleri ve bu sensörlerin sürdürülebilir tarım açısından öneminin belirlemesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gravimetrik Yöntem, Toprak Nem Sensörü, Nem Sensörlerinin Karşılaştırılması, Sürdürülebilir Tarım,

Efficient Use of Soil Moisture Sensors for Sustainable Agricultural Production

ABSTRACT

Increasing nutrient demand in parallel with population growth makes it necessary to carry out more crop production every year as a result of loss of crops after production due to decreasing urbanization and wrong land use of agricultural areas and other reasons. Irrigation is one of the most important applications to increase the quantity of products to be obtained from the unit area. Regular and controlled irrigation practices increase the efficiency obtained from the unit area, but also damage to the environment as a result of excessive water use is significantly reduced. Besides, knowing the amount of water in the soil is important in terms of irrigation water requirement and irrigation scheduling. Thanks to the developing technology, the measurement of soil moisture has started to be done mostly using soil moisture sensors rather than the gravimetric approach. A number of soil moisture sensors have been developed for this purpose. These sensors are classified under TDR (Time Domain Reflectometry), FDR (Capacitance or Frequency Domain Reflectometry), TDT (Time Domain Transmissometry) and neutron probe in terms of operating principle. The use of FDR based soil water content sensors has increased due to the lower cost and increased reliability of measurement in recent years. In this study, it is aimed to determine the types of soil moisture sensors that have been widely used and the importance of these sensors in terms of sustainable agriculture.

Keywords: Gravimetric Method, Soil Moisture Sensor, Comparison of Sensors, Sustainable Agriculture

GİRİŞ

Birleşmiş Milletler Örgütü yayınladığı en son raporda dünya nüfusunun 2050 yılında 9.8 milyar olacağını belirtmektedir (United Nations, 2017). Gıda ve Tarım Örgütü bu senaryonun gerçekleşmesi durumunda gıda üretiminin gelişmiş ülkelerde % 70 gelişmekte olan ülkelerde ise % 100 oranında artmasına neden olacağını bildirmiştir (FAO, 2009). Çiftçilerin daha fazla üretim yapabilmesi, tarımsal arazilerin miktarını arttırmak, gübre ve sulama yoluyla mevcut tarım alanlarında verimliliği arttırmak ve hassas tarım gibi yeni yöntemleri benimsemek suretiyle mümkün olabilir. Birleşmiş Milletler Örgütü yayınladığı diğer bir raporda ise (United Nation, 2014) tarımsal arazi verimliliğinin mevcut seviyelerde kalması durumunda tahmini 6 milyon hektarlık bir alan her yıl tarımsal üretime dönüştürülmesi gerektiğini belirtmiştir. Fakat aynı raporda 2045 yılının sonuna kadar yaklaşık 135 milyon kişinin çölleşme nedeniyle göç edeceğini ve mevcut tarımsal arazilerin %52'sinin orta derecede veya ciddi derece toprak bozulmasına uğrayacağını bildirmektedir. Ayrıca 2050 yılında küresel su ihtiyacının % 55 oranında artması beklenmektedir (WWAP, 2015). Bu nedenle FAO, 2050 yılındaki su ihtiyacını karşılamak için sulamanın daha verimli hale gelmesi gerektiğini belirtmiştir (FAO, 2009). Bu nedenle, sürdürülebilir bir su yönetimi sağlamak için stratejik hamlelere ihtiyaç vardır. Bu bağlamda, basit ve yaygın olarak uygulanabilir tarımsal hidrolojik araçlar geliştirmek ve çiftçileri su ile ilgili kısa ve uzun vadeli tarımsal yönetim için bilgilendirmek özellikle önemlidir (Albano ve ark., 2017).

Yetiştiriciler özellikle sulama zamanının belirlenmesinde yaşadıkları zorluklardan dolayı aşırı sulama yapma eğilimindedir. Bunun bir sonucu olarak, su ile beraber aşırı gübre uygulamaları nedeniyle yüksek tuz konsantrasyonuna sahip atık sular yer altı sularını kirletmektedir. Aşırı sulama uygulamalarının çevresel zararlarından kaçınmak, uygun bir sulama yönetimi sağlayarak optimal üretime ve ekonomik gelire ulaşmak için su kaynakları üzerinde önemli düzeyde ve giderek artan bir baskı vardır. Bu nedenle su kaynaklarının tarımsal uygulamalarda daha etkin kullanımının sağlanması için bitkilerin su ihtiyacının ve bitki kök bölgesindeki nemin doğru bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Toprak nem içeriği doğrudan (gravimetrik) ve dolaylı yöntemler olmak üzere iki biçimde belirlenebilir. Doğrudan yöntemler suyun kütlesinin belirlenmesi prensibine, dolaylı yöntemler ise toprağın belirli fiziksel ve fizikokimyasal özelliklerinin su miktarına bağlı olarak değişimlerini esas almaktadır. Gravimetrik yöntemin en büyük dezavantajı, toprakta meydana getirdiği tahribat ve ölçüm işleminin uzun süre gerektirmesidir. Dolaylı yöntemler ile nem tayini, toprağa kalıcı yerleştirilmiş sensörler veya toprakta açılan özel yuvalar içerisine okuma anında yerleştirilen sensörler vasıtasıyla yapılmaktadır. Ayrıca bu yöntemin en önemli özelliği toprağa zarar vermeden, gravimetrik yönteme kıyasla çok daha kısa sürede, sık ve sürekli ölçümlere olanak sağlamasıdır (Tülün, 2005). Dolaylı yöntemler çalışma prensibi açısından Tansiyometreler, Nötron saçılması yöntemi, TDR (Zaman Alan Reflektometresi), FDR (Kapasitans ya da Frekans Alan Reflektometresi) ve TDT (Elektromanyetik İletim ölçer), adı altında toplanmaktadırlar. Bu çalışmada yaygın olarak kullanılmaya başlanan toprak nem sensörlerinin çeşitleri ve bu sensörlerin sürdürülebilir tarım açısından öneminin belirlemesi amaçlanmıştır.

TOPRAK NEM İÇERİĞİNİ BELİRLEMEK İÇİN YAYGIN OLARAK KULLANILAN SENSÖR TİPLERİ

Tansiyometreler

Tansiyometreler (Şekil 1), toprak çok kuru olmadığında toprak matrik potansiyelini ölçmek için kullanılan bir toprak nem sensörüdür. Tansiyometreler içi su dolu plastik bir gövde,

geçirgen seramik uç ve vakum göstergesinden (manometre) meydana gelen araçlardır (Kirkham, 2014). Topraktaki nem miktarı azaldıkça toprak kurumaya başlar ve toprak taneleri etrafında tutulan su daha güçlü tutulur. Tansiyometre toprağa yerleştirildikten bir süre sonra topraktaki nemin miktarına bağlı olarak seramik uçtan toprağa doğru su geçişi başlar. Seramik ucun etrafındaki toprak, suyu emdikçe tansiyometre içerisinde vakum oluşur. Oluşan bu vakum manometre göstergesinden izlenir (Gürgülü, 2011).



Şekil 1. Vakum göstergeli tansiyometreler.

Dielektrik (Elektromanyetik yansıma) teknikler

Toprak nem içeriğini ölçmek için toprağın dielektrik özelliğini temel alan yöntemlerin kullanımı son yıllarda artmıştır. Dielektrik tekniğinin arkasındaki temel kavram, kuru topraktaki dielektrik sabiti (=2-5) ile saf suyun dielektrik sabiti (=81) arasında büyük bir fark olmasıdır (Jacobsen ve Schjønning, 1993). Dielektrik sabitini temel alarak toprak neminin ölçülmesinde TDR (Elektromanyetik yansıma zamanı) ve FDR (Elektromanyetik yansıma frekansı) olmak üzere iki farklı yöntem mevcuttur.

- **TDR (Elektromanyetik yansıma zamanı) yöntemi**

TDR (Şekil 2), toprağa yerleştirilen iki veya üç prob boyunca, bir kaynaktan elektromanyetik sinyallerin gönderilmesi esasına dayanır. Sinyal tek bir hareket (vurma, çarpma-pulse) biçimindedir. Bu elektromanyetik dalgalar, problar boyunca yol alır ve sinyaller problarla toprağa çarpar, tekrar kaynağa yansıma olarak döner Bu elektromanyetik dalganın, prob uzunluğu boyunca aldığı yol ve kaynağa dönüş zamanı ölçülür. Toprakta daha fazla su bulunması dielektrik kuvvetlerinin daha yüksek olmasına (geçiş hızının daha fazla yavaşlamasına) yol açar (Allen, 1998; Çetin, 2003).TDR ile toprağın hacimsel su içeriği Eşitlik 1 ve 2 yardımıyla belirlenir (Topp ve ark., 1980);

$$k_a = [c\ x\ t/2L]^2 \quad (1)$$

$$\theta = 4.3\ x\ 10^{-6}(k_a)^3 - 5.5\ x10^{-4}(k_a)^2 + 2.92\ x\ 10^{-2}k_a - 5.3\ x10^{-2} \quad (2)$$

Eşitliklerde, k_a; toprağın dielektrik sabitini, θ; toprağın hacimsel su içeriğini, c; elektromanyetik dalganın boşluktaki yayılma hızını, t; zamanı, L; probun uzunluğunu göstermektedir.



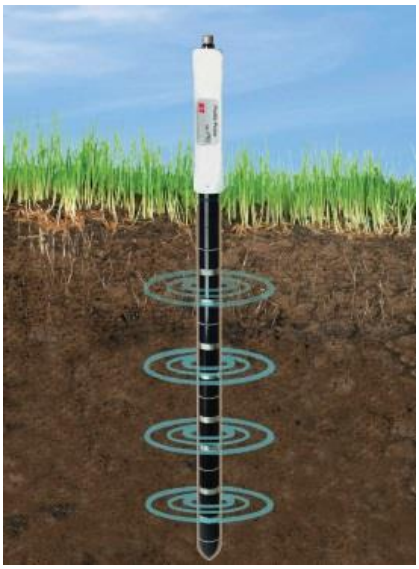
Şekil 2. Piyasada kullanılan TDR cihazı

- **FDR (Elektromanyetik yansıma frekansı) yöntemi**

FDR yöntemine dayalı toprak nem sensörleri (Şekil 3, 4) TDR yöntemine dayalı sensörlere çok benzer şekilde çalışır. Ancak TDR, elektromanyetik dalgaların yolculuk süresini ölçerken FDR elektromanyetik dalgaların frekanslarını ölçer. FDR sensörlerinin elektrotları, birbirine paralel iki uç veya dairesel metal yüzüğe sahip olmak üzere iki farklı tipi mevcuttur. Bunlardan ilki doğrudan toprağa gömülürken ikincisi tüp içinde kullanılmaktadır (Muñoz-Carpena ve ark., 2005).



Şekil 3. Birbirine paralel iki uçlu FDR sensörü



Şekil 4. Dairesel metal yüzüklü FDR sensörü

- **TDT (Elektromanyetik iletim ölçer) yöntemi**

TDT dayalı toprak nem sensörü (Şekil 5) elektromanyetik darbenin bir iletim hattı boyunca

tek yönlü olarak yayılma süresini ölçer. Bu nedenle, TDR'ye benzer ancak iletim hattının başında ve sonunda elektriksel bağlantı gerektirir (Muñoz-Carpena ve ark., 2005). Bununla birlikte, devre TDR aletleri ile karşılaştırıldığında daha basittir. Yöntemde toprağın nem içeriği Topp denklemi (Topp ve ark., 1980) kullanılarak hesaplanır.



Şekil 5 Toprak nem ölçümünde kullanılan TDT sensörü

Nötron saçılması yöntemi

Bu yöntem, yüksek bir yavaşlatma kapasitesine sahip hidrojen atomlarının, aygıtın radyoaktif kaynağından saçılan nötronları yavaşlatarak, topraktaki suda bulunan hidrojen atomlarının tespit edilmesi esasına dayanır. Toprakta bulunan hidrojenin kaynağı çoğunlukla su olduğuna göre, hızlı nötron kaynağının çevresindeki sayılan yavaşlatılmış nötronlar, toprak su içeriğinin ölçülmesinde iyi bir yoldur (Çetin, 2003).



Şekil 6. Toprak nem ölçümünde kullanılan nötron prob sensörü

Bununla birlikte, kullanımı için lisans ve izin gerektirmesi, kullanıcıların düzenli eğitim ihtiyaçları ve güvenlik düzenlemeleri, nötron saçılma yönteminin bazı durumlarda kullanımının pahalı, zor ya da imkânsız olmasına neden olmaktadır (Evett, 2000).

Toprak Nem Sensörlerinin Sürdürülebilir Tarım Açısından Değerlendirilmesi

Çevre konusundaki hassasiyetler, bilgi teknolojilerindeki hızlı gelişmeler ve artan maliyetler nedeniyle girdilerin en etkin şekilde kullanılma zorunluluğu ile birleştiğinde, tarımsal üretimde hassas tarım teknolojilerinin kullanılması ve yaygınlaşmasının önemi artmaktadır (Özgüven ve Karaman, 2012).

Geleneksel yöntemler ile toprak nem içeriğinin belirlenmesi yüksek doğrulukta sonuç vermekle birlikte toprağa zarar vermesi, maliyetinin yüksek olması ve uzun zaman gerektirmesi gibi eksiklikleri vardır. Son yirmi yılda teknolojik ilerlemeler saysinde toprak nemini belirlemek için farklı sensörler geliştirilmiştir (Robinson ve ark., 2008). Bu sensörlerden bazıları toprak nem okumalarının manuel olarak alınmasını gerektirirken diğerleri toprak nemini sürekli olarak kaydederler. Tansiyometre gibi düşük maliyetli cihazlar çiftçiler tarafından kullanılırken nötron prob ve TDR gibi daha pahalı cihazlar genellikle üniversiteler ve sulama danışmanları tarafından kullanılırlar (MAF, 1997). Munoth ve ark. (2016) tarımdaki kablosuz sensör uygulamalarının geliştirilmesiyle tarımsal operasyonların etkinliğini, verimliliğini ve kârlılığını arttıracağını bildirmişlerdir.

TDR ve nötron saçılma yöntemi toprak nem içeriğini daha yüksek doğrulukta belirlemesine rağmen FDR ve tansiyometrelerden çok daha yüksek maliyetlidir. Bu nedenle daha önceki çalışmalarda referans sensörler olarak kullanılmıştır (Bogena ve ark., 2007; Mittelbach ve ark., 2012). Ayrıca bazı araştırmacılar toprak neminin mekânsal ve zamansal değişkenliği nedeniyle ölçüm yoğunluğunu arttırmak için ölçüm doğruluğu daha düşük fakat daha ucuz sensörlerin kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır. (Bogena ve ark., 2007; Robinson ve ark., 2008).

Mittelbach ve ark. (2011) laboratuvar ve tarla koşullarında düşük maliyetli bir FDR tabanlı toprak nem sensörünü TDR tabanlı nem sensörüyle karşılaştırmıştır. Çalışmada FDR tabanlı nem sensörünün, kullanılacağı bölgeye özgü kalibrasyona ihtiyaç duyduğu ve çoğunlukla toprak neminin kuru olduğu koşullarıyla kullanılması önerilmiştir. Yazarlar ayrıca TDR sensörlerinin FDR sensörlerine kıyasla güvenilir olduğunu ifade etmişlerdir. Mittelbach ve ark. (2012) başka bir çalışmada düşük maliyetli FDR tabanlı üç sensör ve yüksek maliyetli TDR tabanlı sensörleri karşılaştırmıştır. Çalışmada düşük maliyetli sensörlerin hiçbirinin, ilgili üretici şartnamelerine uygun bir performans seviyesine sahip olmadığı, dolayısıyla düşük maliyetli toprak nem sensörlerinin kullanımından önce yetiştirme ortamına özgü kalibrasyonun yapılması ve ölçümlerin bu kalibrasyona göre yorumlanmasının son derece önemli olduğunu bildirmişlerdir. Benzer olarak Bogena ve ark. (2007) yetiştirme ortamındaki sıcaklık ve tuz varlığının FDR yöntemine dayalı sensör okuması üzerindeki olumsuz etkiye sahip olduğunu belirtmiştir.

Xiao ve ark. (2013) çeltik bitkisiyle yaptıkları çalışmada kablosuz sisteme FDR sensörlerini entegre ederek toprak nem içeriğini ölçmüşler ve toplanan verileri kablosuz olarak uzak bir veri yönetim merkezine iletmeyi başarmışlardır.

Smajstrla ve Locascio (1996) geleneksel yaklaşıma kıyasla tansiyometrelere bağlı olarak yapılan sulama uygulamaları sonucunda verim kaybı yaşamadan sulama suyu ihtiyacının % 40 ile %50 oranında azaltılabileceğini bildirmiştir. Yine domates bitkisi için Muñoz-carpena ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada tansiyometrenin matrix gerilme kuvvetini 15 kPa sabitliyerek yaptıkları sulama uygulamalarında kontrol konusuna kıyasla %73 oranında su tasarufu sağladıklarını belirtmişlerdir. Dukes ve ark. (2003) biber bitkisinde yapılan sulama uygulamalarında TDT yöntemine dayalı sensör kullanımıyla A sınıfı buharlaşma kabına kıyasla %50 daha az su kullanıldığını belirlemişlerdir. FDR yöntemine dayalı sensörlerin kullanıldığı diğer sulama uygulamalarında domates bitkisinde Muñoz-Carpena ve ark. (2008) sabit zamanlı sulama uygulamasına kıyasla %74 evapotranspirasyona dayalı sulama uygulamasına kıyasla % 61 oranında su tasarufu sağladığını bildirmişlerdir. Zotarelli ve ark.

(2009) ise sabit zamanlı sulama uygulamasına kıyasla TDR yöntemine dayalı sensörler kullanarak yaptıkları sulama uygulamalarında % 67 oranında su tasarrufu sağladıklarını ayrıca verimde de %11 ile % 26 oranında artış sağladıklarını bildirmişlerdir.

Çiftçilerin aşırı sulama ve gübreleme yapmaya meyilli olmaları başta yer altı suları olmak üzere çevreyi tehdit ederek sürdürülebilir tarıma engel olmaktadır. Zotarelli ve ark. (2008) TDR yöntemine dayalı toprak nem sensörlerinin kullanılmasıyla sulama suyundan %33 ile % 80 tasarruf sağlamanın yanında nitrat yıkanmasını da kayda değer oranda azaltacağını bildirmişlerdir.

Teknolojinin artmasına paralel olarak otomasyon sistemlerine bağlanan nem sensörleri yardımıyla sulama suyu ihtiyacının belirlenmesi, yetiştirme ortamındaki nemin okunması ve analiz edilmesi buna paralel olarak sulama uygulamalarının uzaktan yönetilebilmesine imkân vermektedir (Bogena ve ark., 2007; Li ve ark., 2014; Vuran ve Akyildiz, 2010; Wang ve ark., 2010; Yu ve ark., 2013). FDR tabanlı sensörlerin çalışma mekanizmasının, TDR tabanlı sensörler ile benzer olması ve TDR tabanlı sensörler gibi pahalı bir okuma aygıtı gerektirmemesi (Çetin, 2003) araştırmacıları kablosuz teknolojiyle verilerin aktarımının sağlandığı FDR tabanlı toprak nem sensörlerinin kullanımını teşvik etmektedir (Bogena ve ark., 2007; Skierucha ve Wilczek, 2010; Wobschall ve Lakshmanan, 2005; Xiao ve ark., 2013).

SONUÇ

Uluslararası kuruluşların 2050 yılı için yaptıkları uyarılar göz önüne alındığında geleneksel tarım uygulamalarından sürdürülebilir tarım uygulamalarına geçiş hayati derecede önem arz etmektedir. Literatür araştırmalarından da anlaşılacağı üzere son yirmi yılda çok sayıda toprak nem sensörü (Tansiyometre, Nötron saçılma yöntemi, TDR, FDR, TDT) geliştirilmiştir. Daha önce yapılan tüm çalışmalarda, toprak nem sensörlerinin kullanılmasıyla verim kaybı yaşamadan sudan tasarrufu sağlandığı görülmüştür. Nötron saçılma yönteminin pahalı olması, deneyimli işgücü ile yüksek düzeyde güvenlik gerektirmesi ve benzer olarak TDR tabanlı toprak nem sensörlerinin pahalı olması bu sensörlerin çiftçiler tarafından kullanımında engel teşkil ettiği anlaşılmıştır. Yapılan son çalışmalardan da anlaşılacağı üzere düşük maliyete sahip FDR tabanlı toprak nem sensörü kullanımının son yıllarda yaygınlaştığı, bu sensörlerin kablosuz ağ uygulamaları için uygun olduğu, ancak bu sensörlerin yetiştirme ortamındaki sıcaklık ve tuz varlığından olumsuz etkilendikleri görülmüştür. Bu nedenle bu sensörlerin kullanımından önce yetiştirme ortamına özgü kalibrasyonun yapılması ve ölçümlerin bu kalibrasyona göre yorumlanmasının son derece önemli olduğu daha önce yapılan çalışmalardan anlaşılmıştır. Sonuç olarak sürdürülebilir bir tarım için düşük maliyetli ve yüksek doğruluk yüzdesine sahip toprak nem sensörlerinin geliştirilmesi ve bu sensörlerin kullanımları ile ilgili çiftçilerin bilgilendirilmesi son derece önem arz etmektedir

KAYNAKLAR

Albano, R., Manfreda, S., Celano, G., 2017. MY SIRR : Minimalis Agrohydrological Model for Sustainable Irrigation Management - Soil Moisture and Crop Dynamics. SoftwareX 6, 107–117. doi:10.1016/j.softx.2017.04.005

Allen, R.G., 1998. Time-Domain Reflectometry (TDR). Append. Notes BIE 5010/6010, 90.

Bogena, H.R., Huisman, J.A., Oberdörster, C., Vereecken, H., 2007. Evaluation of a Low-Cost Soil Water Content Sensor for Wireless Network Applications. J. Hydrol. 344, 32–42. doi:10.1016/j.jhydrol.2007.06.032

Çetin, Ö., 2003. Toprak-Su İlişkileri ve Toprak Suyu Ölçüm Yöntemleri. Eskişehir Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları 258, 91.

Dukes, M.D., Simonne, E.H., Davis, W.E., Studstill, D.W., Hochmuth, R., 2003. Effect of Sensor-Based High Frequency İrrigation on Bell Pepper Yield and Water Use. Proc. 2nd Int. Conf. Irrig. Drain., 2, 665–674.

Evett, S.R., 2000. Some Aspects of Time Domain Reflectometry (TDR), Neutron Scattering, and Capacitance Methods of Soil Water Content Measurement, Comparison of Soil Water Measurement Using the Neutron Scattering, Time Domain Reflectometry and Capacitance Methods. International Atomic Energy Agency,. 5–49, Vienna,

FAO, 2009. Global agriculture towards 2050, How to Feed the World in 2050, 4.

Gürgülü, H., 2011. Sulamanın Programlanmasıdna Çiftçilere Özel Teknikler. Akıllı Tarım, 1, 37–39.

Jacobsen, O.H., Schjønning, P., 1993. A Laboratory Calibration of Time Domain Reflectometry for Soil Water Measurement İncluding Effects of Bulk Density and Texture. J. Hydrol., 151, 147–157. doi:10.1016/0022-1694(93)90233-Y

Kirkham, M.B., 2014. Tensiometers. Princ. Soil Plant Water Relations, 579. doi:10.1016/B978-0-12-420022-7.00005-7

Li, Z., Wang, N., Franzen, A., Taher, P., Godsey, C., Zhang, H., Li, X., 2014. Practical deployment of an in-field soil property wireless sensor network. Comput. Stand. Interfaces, 36, 278–287. doi:10.1016/j.csi.2011.05.003

MAF (Mission Aviation Fellowship), 1997. Best Management Guidelines for Sustainable Irrigated Agriculture,. MAF Policy Tech. Pap., 5, 61.

Mittelbach, H., Casini, F., Lehner, I., Teuling, A.J., Seneviratne, S.I., 2011. Soil Moisture Monitoring for Climate Research: Evaluation of a Low-Cost Sensor İn The Framework of The Swiss Soil Moisture Experiment (SwissSMEX) Campaign. J. Geophys. Res. Atmos., 116. doi:10.1029/2010JD014907

Mittelbach, H., Lehner, I., Seneviratne, S.I., 2012. Comparison of Four Soil Moisture Sensor Types under Field Conditions in Switzerland. J. Hydrol., 430–431, 39–49. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.01.041

Munoth, P., Goyal, R., Tiwari, K., 2016. Sensor Based Irrigation System : A Review. Int. J. Eng. Res. Technol., 4, 86–90.

Muñoz-Carpena, R., Dukes, M.D., Li, Y., Klassen, W., 2008. Design and Field Evaluation of A new Controller for Soil-Water Based İrrigation. Appl. Eng. Agric., 24, 183–191. doi:10.13031/2013.24266

Muñoz-Carpena, R., Dukes, M.D., Li, Y.C., Klassen, W., 2005. Field Comparison of Tensiometer and Irrigation on Tomato. Horttechnology 15, 584–590.

Özgüven, M.M., Karaman, S., 2012. Hassas Sulama Teknolojileri. 27. Tarımsal Mek. Ulus. Kongresi 288–297.

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 Zo. J., 7, 358. doi:10.2136/vzj2007.0143

Skierucha, W., Wilczek, A., 2010. A FDR Sensor for Measuring Complex Soil Dielectric Permittivity in the 10-500 Mhz Frequency Range. Sensors, 10, 3314–3329. doi:10.3390/s100403314

Smajstrla, A.G., Locascio, S.J., 1996. Tensiometer-Controlled, Drip-İrrigation Scheduling of Tomato. Appl. Eng. Agric., 12, 315–319.

Topp, G.C., Davis, J.L., Annan, A.P., 1980. Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements İn Coaxial Transmission Lines. Water Resour. Res., 16, 574–582. doi:10.1029/WR016i003p00574

Tülün, Y., 2005. Toprak Su İçeriğinin ve Yarayışlı Su Düzeylerinin TDR (Tıme Domaın Reflectometry) ile Ölçülmesi ve Aletin Çeşitli Toprak Bünye Sınıflarında

Kalibrasyonu. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Emstitüsü, YL Tezi, 78, Adana.

United Nation, 2014. The Land in Numbers Lıvelıhoods at a Tipping Point. United Nations Convention to Combat Desertification, 20.

United Nations, 2017. World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables, United Nations, Department of Economic and Social Affairs Population Division, 46.

Vuran, M.C., Akyildiz, I.F., 2010. Channel Model and Analysis for Wireless Underground Sensor Networks İn Soil Medium. Physical Communication, 3 (4), 245–254. doi:10.1016/j.phycom.2010.07.001

Wang, Q., Terzis, A., Szalay, A., 2010. A Novel Soil Measuring Wireless Sensor Network, IEEE International Instrumentation And Measurement Technology Conference Proceedings, 412–415. doi:10.1109/IMTC.2010.5488224

Wobschall, D., Lakshmanan, D., 2005. Wireless Soil Moisture Sensor Based on Fringing Capacitance, Proceedings of IEEE Sensors. 8–11. doi:10.1109/ICSENS.2005.1597624

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme), 2015. The United Nations World Water Development Report 2015, Water for a sustainable World, 139.

Xiao, D., Feng, J., Wang, N., Luo, X., Hu, Y., 2013. Integrated Soil Moisture and Water Depth Sensor for Paddy Fields. Comput. Electron. Agric., 98, 214–221. doi:10.1016/j.compag.2013.08.017

Yu, X., Wu, P., Han, W., Zhang, Z., 2013. A Survey on Wireless Sensor Network İnfrastructure for Agriculture. Comput. Stand. Interfaces, 35, 59-4. doi:10.1016/j.csi.2012.05.001

Zotarelli, L., Dukes, M.D., Scholberg, J.M., Hanselman, T., Le Femminella, K., Muñoz-Carpena, R., 2008. Nitrogen and Water Use Efficiency of Zucchini Squash for a Plastic Mulch Bed System on a Sandy Soil. Sci. Hortic., 116, 8–16. doi:10.1016/j.scienta.2007.10.029

Zotarelli, L., Scholberg, J.M., Dukes, M.D., Muñoz-Carpena, R., Icerman, J., 2009. Tomato Yield, Biomass Accumulation, Root Distribution and İrrigation Water Use Efficiency on a Sandy Soil, as Affected by Nitrogen Rate and İrrigation Scheduling. Agric. Water Manag., 96, 23–34. doi:10.1016/j.agwat.2008.06.007