



**SENSÖRLERİN TARIMDA KULLANIMI VE
ÖRNEK BİR TOPRAK NEM SENSÖRÜ
ÜZERİNDE ÇALIŞMA**

Ebru BAŞDEMİR

Yüksek Lisans Tezi

**Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Selçuk ARIN**

2020

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SENSÖRLERİN TARIMDA KULLANIMI VE ÖRNEK BİR TOPRAK
NEM SENSÖRÜ ÜZERİNDE ÇALIŞMA**

Ebru BAŞDEMİR

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Dr. Selçuk ARIN

TEKİRDAĞ-2020

Her hakkı saklıdır.



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde eksiksiz biçimde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Ebru BAŞDEMİR

Prof. Dr. Selçuk ARIN danışmanlığında, Ebru BAŞDEMİR tarafından hazırlanan “Sensörlerin Tarımda Kullanımı ve Örnek Bir Toprak Nem Sensörü Üzerinde Çalışma” başlıklı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından 01.07.2020 tarihinde Tarımda Makine Sistemleri Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul/red edilmiştir.

Jüri Başkanı : Ünvan Ad SOYAD

İmza:

Üye : Ünvan Ad SOYAD

İmza:

Üye : Ünvan Ad SOYAD

İmza:

Üye : Ünvan Ad SOYAD

İmza:

Üye : Ünvan Ad SOYAD

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans

SENSÖRLERİN TARIMDA KULLANIMI VE ÖRNEK BİR TOPRAK NEM SENSÖRÜ

ÜZERİNDE ÇALIŞMA

Ebru BAŞDEMİR

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Selçuk ARIN

Bu çalışmanın amacı, piyasadaki toprak nem sensörlerine alternatif olarak kullanılacak ekonomik bir toprak nem sensörü tasarlamaktır. Sensörün kalibrasyon işlemi, toprak nem tayininde en doğru sonuçları veren gravimetrik yöntem ile sağlanmış ve piyasada yaygın olarak kullanılan Watermark toprak nem sensörü ile karşılaştırılmıştır. Arazi koşullarında farklı günlerde toplam 28 ölçüm alınmıştır. Bu ölçümler doğrultusunda lineer regresyon grafikleri çizilip, her bir ölçüm yöntemi arasındaki determinasyon katsayıları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak tasarlanan toprak nem sensörü ile gravimetrik yöntem arasında determinasyon katsayısı %81 olan güçlü bir lineer ilişki olduğu belirlenmiştir. Watermark sensör ile tasarlanan toprak nem sensörü arasındaki determinasyon katsayısı %92,6 bulunmuş ve aralarında yine güçlü bir lineer ilişki bulunmuştur. Saptanan her iki güçlü lineer ilişki, tasarlanan nem sensörünün toprak nemi ölçümlerinde kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Nem ölçer, gravimetrik yöntem, sensör, sulama, toprak, tarım

2020, 52 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

**USING SENSORS IN AGRICULTURE AND A STUDY ON A SOIL MOISTURE
SENSOR**

Ebru BAŞDEMİR

Tekirdağ Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystem Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Selçuk ARIN

The purpose of this study is to design an economical soil moisture sensor that can be used as an alternative to soil moisture conventional sensors in the market. The calibration process of the sensor is provided by gravimetric method, which gives the most accurate results in soil moisture determination and compared with the Watermark soil moisture sensor, which is widely used in the fields. A total of 28 measurements were taken on different days in land conditions. Based on the results of these measurements, linear regression graphs were drawn and the determination coefficients between each measurement method were compared. As a result, a strong linear relationship was found between the designed soil moisture sensor and the gravimetric method, with a determination coefficient of 81%. The determination coefficient of the soil moisture sensor designed with the Watermark sensor was found to be 92,6% and a strong linear relationship was found between them. Both strong linear relationships detected showed that the designed moisture sensor can be used for soil moisture measurements.

Key words: Humidity meter, gravimetric method, sensor, irrigation, soil, agriculture

2020, 52 pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	iv
ŞEKİL DİZİNİ	v
SİMGELER ve KISALTMALAR	vi
TEŞEKKÜR	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Toprak Nemi Ölçümü	5
1.1.1. Numerik metodlar	5
1.1.1.1. Gravimetrik metod	5
1.1.1.2. Nötron saçılması metodu	7
1.1.1.3. Yalıtkan metodlar.....	8
1.1.1.4. Gamma ışını zayıflaması.....	10
1.1.2. Kalitatif metodlar.....	10
1.1.2.1. Tansiyometrik metod	10
1.1.2.2. Gözenekli bloklar/eletriksel rezistans blokları.....	12
1.1.3. Uzaktan algılama	13
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1. Materyal	20
3.1.1. Test alanının konumu	20
3.1.2. Toprak nem ölçüm cihazı	21
3.2. Yöntem	25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	30
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	35
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	41

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 3.1. Tasarlanan ölçüm sisteminde kullanılan mikrodenetleyici kodu	26
Çizelge 4.1. Alınan toprak örneklerinin laboratuvar koşullarında ölçülen değerleri	30
Çizelge 4.2. Tasarlanan sensör ile ölçülen değerler	31
Çizelge 4.3. Watermark toprak nem sensörü ile ölçülen değerler.....	31
Çizelge 4.4. Ölçümlere ait istatistikler	32



ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1.1. Yıllara göre kişi başına düşen tarım alanı	2
Şekil 1.2. Toprak delgisi ve tüpler (soldan sağa: burgu veya vida delici; silindir şeklindeki delici; örnek alma tüpü; Alman balçık delicisi; torf örnekleyici).....	7
Şekil 1.3. Nötron sondası.....	8
Şekil 1.4. TDR ve FDR reflektometreler.....	9
Şekil 1.5. Tansiyometre	11
Şekil 1.6. Gözenekli bloklar/Eletriksel rezistans blokları	12
Şekil 3.1. Test alanı	20
Şekil 3.2. Tasarlanan sensör	21
Şekil 3.3. Arduino nano.....	21
Şekil 3.4. Arduino nano diyagramı.....	22
Şekil 3.5. HL-69 toprak nem sensörü.....	23
Şekil 3.6. Toprak nem sensörü	24
Şekil 3.7. Micro SD kart modülü.....	24
Şekil 3.8. Watermark sensörü.....	25
Şekil 3.9. Deneme deseni	27
Şekil 3.10. Gravimetrik metodun uygulanması.....	28
Şekil 3.11. Tasarlanan sensör ile ölçüm alımı	29
Şekil 3.12. Watermark toprak nem sensörü ile ölçüm alımı	29
Şekil 4.1. Gravimetrik yöntem ve watermark sensörü arasındaki lineer regresyon	32
Şekil 4.2. Tasarlanan sensör ve watermark sensörü arasındaki regresyon.....	33
Şekil 4.3. Tasarlanan sensör ve gravimetrik yöntem arasındaki lineer regresyon	34

SİMGELER VE KISALTMALAR

°C	: Derece
cb	: Centibar
cm	: Santimetre
dm/m	: Desimetre/metre
EC	: Elektriksel Kondüktivite
EMI	: Electromagnetic Interference
FDR	: Frequency Domain Reflectometry
g	: Gram
GPS	: Global Positioning System
IR	: Infrared
KB	: Kilobyte
km	: Kilometre
m	: Metre
mA	: Miliamper
MAPE	: Mean Absolute Percentage Error
MHz	: Megahertz
mm	: Milimetre
NIRS	: Near Infrared spectroscopy
nm	: Nanometre
pH	: Power of Hydrogen
PLS	: Partial Least Square
PWM	: Pulse Width Modulation
sn	: Saniye
TDR	: Time Domain Reflectometer
TDT	: Time Domain Transmissionmetry
V	: Volt

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren, Sayın hocalarım Prof. Dr. Selçuk ARIN ve Prof. Dr. İlker Hüseyin ÇELEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Arazi ve laboratuvar ölçümleri için tüm olanaklarını sunan Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne ve Sayın Dr. Erhan GÖÇMEN'e, çalışmamın her aşamasında bilgi, tecrübe ve değerli zamanını esirgemeyerek bana her fırsatta yardımcı olan değerli hocam Sayın Dr. Eray ÖNLER'e ve tecrübeleri ile yoluma ışık tutan, her zaman yanımda hissettiğim değerli dostum Biyosistem Yük. Müh. Buse SALBAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, önüme çıkan her zorluğu desteklerini alarak aşabildiğim, 25 yıl boyunca beni sevgiyle büyüten sevgili ailem Emine BAŞDEMİR ve Aykun BAŞDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım. Son olarak ailemizin çınar ağacı, elde ettiğim tüm mutluluk ve başarılarımı kendisine ithaf ettiğim ve bu hayattaki en değerlimiz olan dedem Salih SEVER'e varlığı için teşekkür ederim.

Haziran, 2020

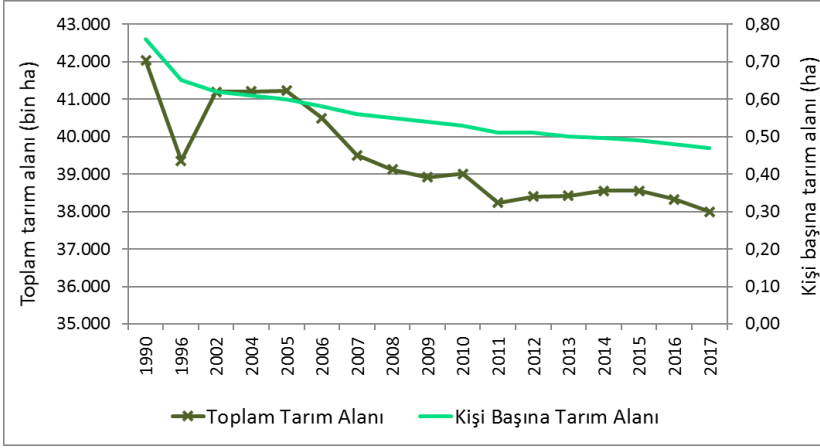
Ebru BAŞDEMİR
Biyosistem Mühendisi

1. GİRİŞ

Su tüm canlıların yaşamlarını sürdürebilmeleri için mutlaka gerekli bir maddedir. Bitkiler bu maddeyi topraktan kökleri vasıtasıyla alırlar. Bitkilerin besin ihtiyaçlarını karşılayabilmesi için toprakta mutlaka su bulunmalıdır. Ayrıca, fotosentez olayı ve şekerlerin nişastaya dönüşmesinde, protoplazmanın oluşmasında, turgor olayının gerçekleşmesinde suyun rolü büyüktür. Toprak neminin optimum düzeylerde tutulması tarımsal üretimde karşılaşılan problemlerden birisidir.

Tarımın insan hayatındaki yeri ve önemi, yaşam boyu artarak devam etmektedir. Yaşamın devam etmesini sağlayan besin maddeleri tarımdan elde edilmektedir. Bunun değişmesi, sektörün gelişmesiyle ya da farklı sektörlerdeki, teknolojik, ekonomik, sosyal ve kültürel gelişmelerle mümkün değildir. İnsanların besin ihtiyaçlarını karşılamasında temel madde olarak tarımsal ürünlerin yerini alabilecek bir seçenek söz konusu değildir (Bayramoğlu, 2010). Günden güne artan nüfus sebebiyle insanların beslenmesini sağlamak amacıyla sınırlı olan arazi kaynaklarının daha etkin şekilde kullanılması gerekmektedir. Günümüz teknolojik koşullarında toprağın arzı arttırılamayacağına ve topraktan yararlanmada azalan verim kuralı geçerli olduğuna göre, özellikle geleceğin güvencesi olan üretken tarım topraklarının çok iyi değerlendirilmesi, özelliklerine uygun olarak kullanılması gerekmektedir. Gelişmiş ve gelişmeye devam eden ülkeler ileride çıkabilecek bütün tehditlere karşı tedbir alma çabalarına girmekte ve geçmiş yıllardan beri bu durum ile ilgili çalışmalar yapmaktadırlar.

Dünyada özellikle son yıllarda tarım alanlarını ve su kaynaklarını koruma mücadelesinde zorluklarla karşılaşmaktadır. Ciddi derecede erozyona uğramış toprakların ekilememesi, hatta bina ve fabrika gibi tarım dışı alanlarda kullanılması her yıl milyonlarca hektar tarım arazisinin kaybolmasına neden olmaktadır. Brezilya, İsrail gibi bazı ülkeler, verimlilik yönünden yoksun toprakları ıslah ederek yeni tarım alanları oluştururken; Türkiye, Çin gibi bazı ülkeler ise 1. sınıf tarım alanlarını başka kullanım alanlarına dönüştürmektedir. Tüm bunların sonucu olarak da gerek ülkemizde gerekse dünyada kişi başına düşen tarım alanı miktarı azalma eğilimine girmektedir (Rehber ve Çetin, 1999). Türkiye’de yıllara göre kişi başına düşen tarım alanı Şekil 1.1.’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Yıllara göre kişi başına düşen tarım alanı

Sürdürülebilir tarım, uzun vadede doğal kaynakların muhafaza edilmesinin yanı sıra çevreye zarar vermeyen tarımsal teknolojilerin kullanıldığı bir tarımsal yapının oluşturulmasıdır. Sürdürülebilir tarım anlayışında su ve toprak kaynaklarının korunması, entegre ilaç yönetimi gibi birçok uygulamalar yer almakla beraber, ilaç, sentetik gübre gibi doğal olmayan girdileri kullanmadan kalite, sağlık ve çevresel standartlarla buluşan organik tarım teknikleri anahtar rol oynamaktadır (Turhan, 2005).

Günümüzde gelişmiş ülkelerde artan teknoloji faktörü tarımsal mekanizasyon faaliyetlerini de etkilemektedir. Özellikle hassas tarım makineleri gün geçtikçe dünyaya yayılmaktadır. Hassas tarım, tarımsal verimliliğini artırmak için toprak ve ürün yönetimini, kaynakların daha ekonomik kullanımı ile çevreye verilen zararın en aza indirilmesini sağlayan tekniktir.

Hassas tarımda tek hedef hiçbir zaman verim artışı olmamakta, verim kaybına yol açmayacak şekilde girdi kullanımında tasarrufa imkân verecek uygulamaları da içermektedir (Yegül, 2010). Bu bağlamda toprağın mevcut durumunun saptanması; kimyasal giderlerin azaltılması, çevre kirliliğinin azaltılması, yüksek miktarda, kaliteli ürün sağlanması ve optimum su kullanımı için büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple hassas ve sürdürülebilir tarım anlayışları toprak nem tayinine son derece önem vermektedir.

Toprak nemi, toprağın fiziksel ve kimyasal yapısına da bağlıdır. Toprakta su içeriğini belirlemek için birçok metot kullanılmaktadır. Bu ölçüm metotlarının, doğru, güvenilir ölçüm yöntemleri olması gerekmektedir (Uytun, Pekey ve Kalemci, 2013).

Hidrolojik ve doğal süreçlerin anlaşılmasında toprak nemi önemli bir yer almaktadır. Evapotranspirasyon ile alınabilen su, net radyasyon, yüzey ve yüzey altı akış, kimyasalların taşınması gibi faktörler toprak nemi tarafından kontrol edilmektedir. Yağmurlardan sonra kuru tarım alanlarında infiltrasyon ile toprağa geçen su bitkisel üretimin tek kaynağıdır. Sulama yapılan alanlarda ise mutlaka izlenmelidir. Çünkü su kaynaklarının verimli kullanımı ve verime yansması açısından önemli bir parametredir. Kararlı bir tarımsal üretim için en önemli faktör olan toprak neminin, doğru ölçülmesi ve izlenmesi fayda sağlamaktadır. Ekosistem ve hidrolojik döngüyle olan etkileşimi sonucunda, profil boyunca farklı konumsal ve zamansal ölçekte toplanması, analiz edilmesi ve haritalanması önemlidir. Zamansal ve ekonomik boyutu dikkate alındığında ise özellikle büyük alanlarda konumsal ve zamansal dağılımını direk ölçmek çok kolay değildir (Moore, Burch ve Mackenzie, 1988). Genel olarak toprak neminin izlenmesi için uygulanması mümkün yolun yeterli verilerin toplanması, uzaktan algılama ve model benzetimiyle nemin tahmin edilmesi olduğu söylenmektedir. Gerçekte de toprak nem izleme ve haritalama çalışmaları yer gözlemleriyle desteklenen uydu görüntüleri ve benzetim yoluyla yapılmaktadır. Son yıllarda toprak neminin tahmininde kullanılan araçların çoğu değişen oranlarda hata payları ve çözünürlük barındırmaktadır. Toprak profiline bağlı olarak toprak neminin tahmin edilmesi yüksek belirsizlikler içermektedir. Bu da hala istenilen hassasiyeti vermemektedir. Coğrafik ve jeolojik yapısı dikkate alındığında, kuru tarım alanlarının büyüklüğü sebebiyle, toprak neminin profil boyutunda izlenmesi ve haritalanması ülkemiz için ayrıca önem taşımaktadır. Atmosferik şartlar ve hidrolojik şartlarla olan karşılıklı etkileşimi nedeniyle toprak neminin izlenmesi tarımsal uygulamalarda son derece önemlidir ve iklim tahminlerinde de kullanılmaktadır (Rodriguez-Iturbe, 2000).

Hidrolik döngü içerisinde toprak nemi, oransal olarak dünyadaki temiz su kaynaklarının % 0,005 ini oluşturmasına rağmen son derece önemlidir (Dingman, 1994). Toprak nemi, toprak yüzeyi ile atmosfer arasındaki ilişkiyi düzenleyerek iklim ve havayı etkiler (Entekhabi, 1995), toprak ve atmosfer arasındaki enerji akışını kontrol eder (Walker and Rowntree, 1977). Toprak nemi toprak yüzey hidrolojik şartları içinde önemli bir gösterge olduğundan kuraklık izlenmesinde de kullanılmaktadır (Quiring and Papakryiakou, 2003).

Toprak nemi doymun olmayan zonlarda, toprak su içeriğinin dağılımında, bitkisel üretimde (Hupet and Vanclooster, 2002), eğim stabilitesinde, kirleticilerin taşınmasında ve önlenmesi uygulamalarında rol oynamaktadırlar. Özellikle toprak su içeriğinin konumsal ve

zamansal yapısının tahmininde, ürün deseni belirlemede ve toprak erozyonunun belirlenmesinde önemli bir yeri vardır (Ferreya, Apeztequia, Sereno and Jones, 2002).

Toprak nemi özellikle kuru şartlarda, toprak suyunun profil boyunca hareketi ve nem içeriği bitki örtüsü ve toprak özellikleri gibi lokal faktörlerin etkisiyle son derece heterojenik bir yapı ortaya çıkarmaktadır. Sulu şartlarda ise yatay yönde olan toprak su hareketi topoğrafya tarafından kontrol edilmektedir. Ancak toprak nem dağılımı daha homojendir (Williams, Ternan, Fitzjhon, Aalba and Perez-Gonzales 2003).

Toprak nemi hassas ve gizli ısı akışını ve dolayısıyla toprak yüzeyine yakın hava şartlarını kontrol edebilmektedir (Huang, van den Dool and Georgakakos, 1996). Toprak ve bitki karakteristikleri toprak nemini belirlerken, toprak özellikleri hidrolik iletkenlik, tarla kapasitesi, sürekli solma noktasını, yağışın infiltrasyona geçiş oranını, yüzey akışı ve toprakta tutulacak toplam nem miktarını belirler (Noilhand and Planton, 1989; Meng and Quiring, 2008).

Bitkilerde kök yoğunluğunun dağılımı derinlikle birlikte değişmektedir. Bu nedenle nem içeriğinin doğru bir şekilde modellenmesi için profil ölçeğinde ve bölümler halinde incelenmesi gerekmektedir. Toprak nem dağılımının zamana bağlı bir modelini oluşturmak araştırma alanının toprak, topoğrafya, iklim ve vejetasyon özelliklerinin bilinmesini gerektirir. Bu faktörlerin ıslak ve kuru toprak şartlarında farklılıklar gösterir. Bu nedenle konumsal yapının doğru tanımlanması için sürekli ölçümlerin tüm profilde yapılmasını gerektirmektedir (Başkan, Köşker, Tekeli, Güvendik ve Güntürk, 2009).

Toprak nemi tahmininde uzaktan algılama yapabilen sistemler büyük ilerleme göstermiştir. Bu gelişmeler içerisinde en aktifi mikrodalga tekniğiyle çalışan cihazların kullanılması olarak söyleyebiliriz. Avrupa Uzay Ajansının pasif mikrodalga cihazlarını içeren Toprak Nemi ve Okyanus Tuzluluğu (SMOS), Gelişmiş Mikrodalga Radyometresi-Yer Gözlem Sistemi (AMSR-E), Savunma Meteoroloji Uydu Programı (DMSP) uyduları (Özel Sensörlü Mikrodalga/Görüntüleyici, SSM/I) yüzey toprak neminin 1-2 günlük zamansal frekanslı ve 30- 50 km konumsal çözünürlükte tahmin edebilmektedir (Mishra, Cruise, Mecikalski, Hain and Anderson, 2013). Sinyalin bulutlardan ve bitki örtüsünden etkilenmemesi, gece ve gün boyunca kullanılabilir olması nedeniyle aktif radarlar (Radarsat 1 ve 2, ERS-1 ve 2, JERS, ENVISAT, ASCAT), daha hassas konumsal çözünürlüklerde (10-100 m) ve benzer üst geçit frekanslarında yüzey toprak nemi tahminleri verebilmektedir.

1.1. Toprak Nemi Ölçümü

Toprak nemi moleküler çekim yoluyla toprakta tutulan sudur. Yer çekimi, buharlaşma ve terlemeye karşı hareket eden Adhesif (yapışkan) ve Kohesif (birbirine bağlı) kuvvetler toprakta suyun tutunmasını sağlarlar. Bu herhangi bir zaman diliminde toprak bünyesindeki su düzeyi, ilk etapta sahip olduğu nem ve bu nemde etkili olan güçlerin kuvvet ve süre miktarları yoluyla belirlenebilmektedir.

Suyun yüzey akışları yardımıyla bulunduğu yerden taşıdığı zamanlarda, yüzey meyil düzeyi, gradyanı ve toprak yüzeyi şekli toprak su içeriğini etkiler. Toprak nemini yok eden diğer faktörler, kök derinliğinden öte buharlaşma, evapotranspirasyon ve derin sızıntılardır. (Anonim, 2019).

Gravitasyonel su olarak ifade edilen, şiddetli yağış ya da kar erimesi sonrasındaki doyunlukta belirli bir oranda su, profil boyunca kök altına kadar iner. Sızma olduktan sonra toprakta kalan su miktarı olarak tanımlanan Arazi kapasitesi ve suyu çeken bitki kökü potansiyelinin toprağın su potansiyeli vasıtasıyla dengelendiği toprak su içeriği olarak tanımlanan solma noktası arasındaki su miktarı, bitkilerin, mevcut olduğunda gravitasyonel su çıkarılmasına rağmen mevcut bitki su içeriği olarak dikkate alınır.

Yağışlı sezon boyunca toprak nem düzeyi yüksektir fakat hasat zamanında nem azalır. Bu nedendir ki, topraktaki su miktarının tespiti, susuzluk olarak sonuçlanan az sulama veya gübre filtrelemesi ve su israfı olarak sonuçlanan aşırı sulamayı önlemede önemli bir faktördür. Sulama programı yapılırken toprağın nemi kullanılır ve suyun tanecikler tarafından sıkıca tutulduğunu belirten nicelik ve nitelik bakımından iki ayrı yöntem ile ölçülmektedir (Anonim, 2019).

1.1.1. Numerik metodlar

1.1.1.1. Gravimetrik metod

Topraktaki su miktarını ölçmede en güvenilir sonuç veren teknik olup, kalan tüm yöntemlerde kullanılan cihazların kalibrasyonu için bir standart olarak kabul edilir. Bu yöntemde farklı derinliklerden toprak örnekleri alınarak, fırında kurutulur. Önce alınan toprak

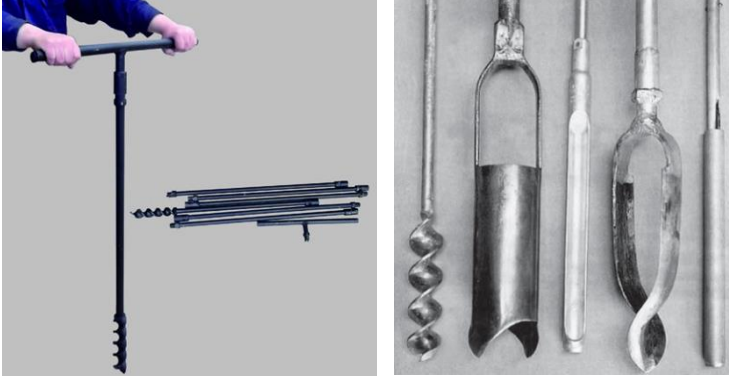
örnekleri taşıma kapları içinde tek tek tartılır. Kaplar 105°C çalışma kapasitesine sahip kurutma fırınlarına koyulur. Kurutmadan önce ve sonra örnek tartılır ve nem içeriği hesaplanır.

Nem, ağırlık yüzdesi olarak belirlenir. Kütle yoğunluğu çarpılırsa, hacmin yüzdesi olarak nem elde edilir. Bununla beraber laboratuvar çalışması için araziden alınan toprak numunelerinin götürülmesi gerektiğinden herhangi bir yerde toprak neminin sürekli kayıt edilmesinde kullanılmamaktadır (Anonim, 2019).

Örnek alma için kullanılan aygıt ve yöntemler, örnek toplama ve taşıma boyunca değişmiş ve bozulmuş olacağı için nem kaybı veya kazancı olmayan örnekler olmalıdır. Kuru bir katman içinden nemli bir tabaka örneği alınacağı zaman, örnek alma cihazlarının mümkün olduğunca kuru kalmasına dikkat edilmelidir (Anonim, 2019).

Kuru, sert, dokusu düzgün katmanlardan örnek alınacağı zaman delici aleti döndürmek veya nüve silindirini hareket ettirmek oldukça zordur. Ayrıca çakıllı toprakların gravimetrik yöntem ile nem tayini için alınan toprak, çakıllı olmayan topraklardakinden çok fazladır. Toprak nem örneği alınması, örneklerin kaplara konulması vb. bütün örnek alma işlemlerinin, ölçümlerin hata oranını en aza indirmek için hızlı yapılması şarttır. Donanımdaki pas ve nem varlığı önemlidir (Anonim, 2019).

Toprak nem tespiti için örnek alırken kullanılan en basit ekipman el burgularıdır. Metal borunun ince sap uzantılı el burguları 17 metreye kadar olan derinliklerde örnek alma işleminde kullanılmaktadır. En yararlı tiplerinden birisi olarak, alt kısmında iki tane kavisli kesici dişleri, üzerinde 1,4 metre uzatma borusu olan, 230 mm uzunluğa ve 76 mm çapa sahip bir silindirden oluşan burguları söyleyebiliriz. Örselenmemiş iyi bir örnek alınabilir (Şekil 1.2.). Bu yöntem nispeten daha ucuz, basit ve yüksek doğruluktadır. Ancak bu yöntem zaman alan, yoğun emek gerektirir ve çakıllı topraklarda zordur (Anonim, 2019).



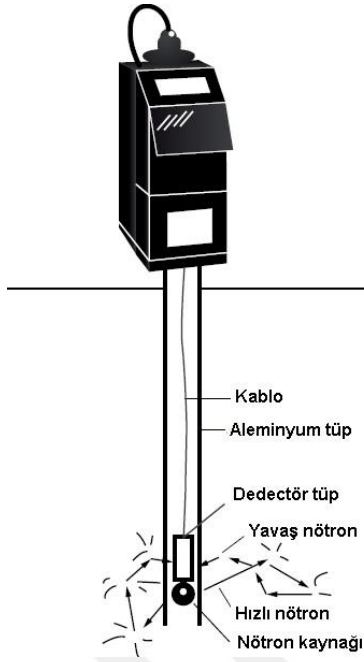
Şekil 1.2. Toprak delgisi ve tüpler (soldan sağa: burgu veya vida delici; silindirik şeklindeki delici; örnek alma tüpü; Alman balçık delicisi; torf örnekleyici)

1.1.1.2. Nötron saçılması metodu

Toprağın birim hacmindeki suyun miktarını gösteren bir metottur. Bu yöntem hızlı bir nötron kaynağından toprak içine yayılan nötronun yavaşlamasının ölçümüne dayanır. Enerji kaybı düşük atomik ağırlıktaki atomların nötron çarpışmasında daha büyüktür ve topraktaki mevcut atomların sayısı ile orantılıdır. Toprakta bulunan düşük atomik ağırlıkta olan hidrojen, topraktaki su moleküllerinde tutulur. Radyoaktif kaynak tüpünden hızlı nötronların emisyonu sonrasında bir sayaç tüpü yoluyla saptanan yavaş nötronların sayısı elektronik olarak bir ölçekte gösterilir (Anonim, 2019).

Erişim tüpleri aşırı nemden korunmazsa hatalı okumalardan kaçınılamaz. Erişim tüpü içinde uygun derinliğe tüpün batırılmasından sonra ortalama kalibrasyon eğrisi kullanılarak toprak nem miktarı elde edilir. Hesaplamaların güvenilirliği için hesaplama başına düşen sayım sayısı ve kalibrasyon eğrisinin doğruluğu önemlidir (Anonim, 2019).

Nötronların etkisi ve emisyonun rastgele oluşu, sayım hataları oluşumuna sebep olmaktadır. Ancak toprak neminde standart bulunan tuz konsantrasyonları nötron yöntemiyle elde edilen veriyi feniz seviyesindeki alanlarda önemli ölçüde etkilerken diğer alanlarda önemli bir etkisi yoktur (Anonim, 2019).

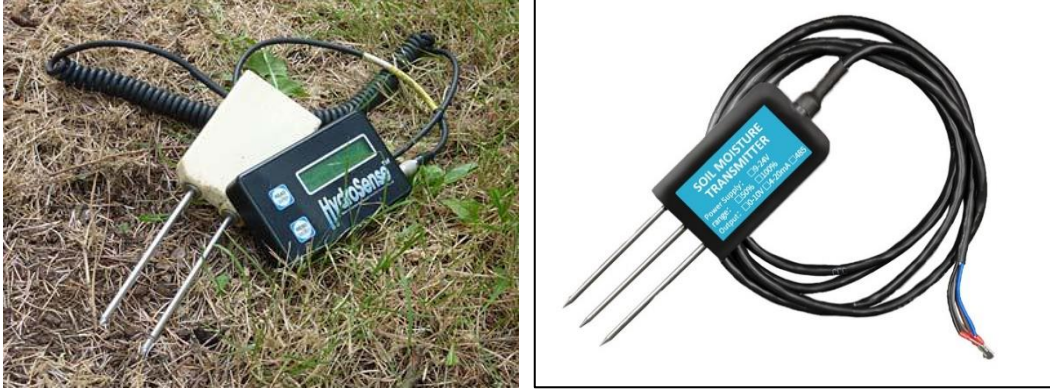


Şekil 1.3. Nötron sondası

Ara yüzün yere yakınlığı sondanın pozisyonu nedeniyle, daha fazla derinliklerdeki benzer nem miktarı için görülebileceğinden daha düşük sayımlara sebep olur. Nötron sondası, farklı derinlik ve konumlarda yapılan toprak nem miktarı ölçümlerinin hızlı, doğru ve tekrarlanabilir olmasına olanak tanır. Ancak radyoaktif materyalin kullanımı, lisanslı ve oldukça eğitimli operatör, yüksek ekipman tutarı ve her yer için ihtiyaç duyulan yoğun kalibrasyon gerektirir (Prichard and Terry, 2003).

1.1.1.3. Yalıtkan metodlar

Suyun değeri (30 MHz - 1 GHz arasında) 80'ken, kuru toprağın değeri 2 ile 5 yalıtkanlık değerine sahiptir. Bu metodun esası yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar ya da sinyaller iletmek için yalıtkan olarak toprağın kapasitesini ölçmektir. Toprak nem araçlarının yalıtkanlık sabitinin ölçülmesi ve toprak volümetrik su içeriği tespitinde zaman alanı reflektrometresi (TDR) ve frekans alanı reflektrometresi (FDR) kullanılmaktadır (Şekil 1.5). TDR ve FDR radyoaktif kaynak olarak kullanılmaz, böylece nötron sondası kullanımı ile kıyaslandığında lisans, eğitim ve takip etme maliyetini düşürür. (Anonim, 2019).



Şekil 1.4. TDR ve FDR reflektometreler

- Zaman alanı reflektometresi

TDR cihazı, toprağa saplanan paralel iletken sondasındaki bir kablo boyunca yüksek frekanslı enine elektromanyetik dalga yayar. Sinyal bir sondandan diğerine ardından gönderilen puls ve yansıtılan dalganın alınması arasındaki zamanı ölçen cihazına yansıtılır. Kablo uzunluğu ve dalga kılavuzu uzunluğunun bilinmesiyle, yayılma hızı hesaplanabilmektedir. Yayılma hızının artması yalıtkan sabitinin azalmasına neden olur ve bu da toprağın düşük bir neme sahip olduğunu gösterir.

Kılavuz, toprağın içine ve birkaç santimetre uzağa yerleştirilen paslanmaz çelik mil çiftidir. Ölçüm, kalibre edildiği takdirde, dalga kılavuzu uzunluğu boyunca ortalama volümetrik su içeriğidir. Dalga kılavuzu yüzeyden en fazla 45-60 cm derinliğe kurulur. Çift mil değişik derinliklerde su miktarını elde etmek için daimi olarak kurulabilir. Daha derin ölçümler gerekiyorsa, çukur duvarı içine yerleştirilen dalga kılavuzundan sonra bir çukur kazılır. Toprağın kazılması hatalı veriye neden olan su hareketi ve su çıkış yollarını değiştirebilmektedir.

TDR üniteleri diğerlerine göre pahalıdır. Bununla birlikte düzgünce kalibre edilip ve kurulduğu takdirde, TDR tekniği yüksek doğruluktadır. Yüzey ölçümleri farklı şartlarda ve kolayca yapılmasından bu yana sığ köklü bitkiler için iyi sonuç vermektedir (Anonim, 2019).

- Frekans alanı reflektometresi

Bu yöntemde toprak direncini ölçmek için radyo frekans dalgaları kullanılmaktadır. Toprak yüksek frekanslı transistör osilatörünün geri dönüş döngüsünün parçası olan direnç

devresini tamamlayan yalıtkan olarak hareket eder. Toprak direnci elektrotlar çevresinde oluşan elektrik alanlarının geometrisi yoluyla yalıtkan sabitine bağlıdır. Yalıtkan sabiti TDR metodu, volümetrik su içeriği ile alakalıdır. Erişim tüpü yöntemi ve elle itilen sonda teknikleri gibi cihazların iki farklı tipi FDR tekniğinde kullanılmaktadır.

Nötron sondası ve elektrotlarda kullanılan PVC materyal benzeri bir erişim tüpü batırılır ve değişik derinliklerde ölçümler alınır. Hava boşluklarının toprak içinde sinyalin yolculuğunu etkilemesi gibi güvenilir değerler konusunda emin olmak için erişim tüpünün duvarları ve toprak arasında çok yakın uygunlukta olduğundan emin olmak gerekmektedir.

Nötron sondasının birçok avantajı zaman içinde aynı lokasyon ve derinliklerde hızlı ölçümleri içeren bu sistemle mümkündür. Bu teknolojinin değişik bir türü birçok derinlikte ölçüm yapan sürekli kurulumun kullanılmasıdır. Bunlar sık ölçümler yapmak için elektronik cihazlarla birleştirilmiş olarak kullanılır ve sonuçları merkezi bir veri toplama cihazına gönderir.

1.1.1.4. Gamma ışını zayıflaması

Bu metod, toprak içine yerleştirilen çift paralel erişim tüplerine gamma ışını kaynağı (genellikle sezyum 137) ve bir gamma ışını detektörünün (scintillator-photomultiplier) aynı anda indirilmesinden oluşmaktadır. Topraktan geçen gamma ışınının yoğunluğu, sabit olan toprak ve suyun sönümleyici faktörüne, topraktaki suya ve toprağın belli yoğunluğuna bağlıdır. Her ölçüm seviyesinde sinyal toprağın belli nemli yoğunluğuna çevrilir. Gamma ışını zayıflaması tekniği, yüksek mekansal çözünürlük elde etme avantajı sağlamaktadır (Anonim, 2019).

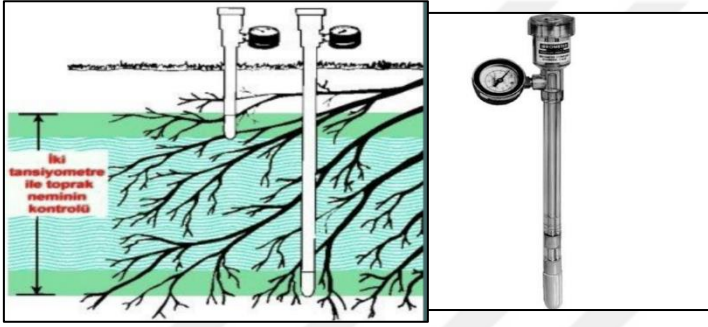
1.1.2. Kalitatif metodlar

1.1.2.1. Tansiyometrik metod

Tansiyometre ekipmanları gözenekli kap, bağlantı tüpü veya gövde tüpü ve basınç sensöründen oluşmaktadır. (Şekil 1.6). Gözenekli kap, genellikle seramik, üzerinde gözenekleri bulunan sert materyalden yapılmaktadır. Kabın çevresindeki gözenekleri hava geçişini önleyecek kadar küçük olmalıdır. Sistem suyla doldurulur kaptaki veya noktadaki su toprağı çevreleyen nemle dengeye ulaşır. Su toprağın kurumasiyla dışarı akar ve yüksek gerilim yaratır.

Ya da toprağın nemli hale gelmesiyle birlikte içeri doğru akar bundan dolayı gerilim azalır. Basınç veya gerilimdeki bu değişiklikler ölçüm cihazından okunur. Birçok derinliğe kurulan çoklu tansiyometreler toprak nem profili hesaplamasına olanak sağlar.

Tansiyometre ile ölçüm süresi diğer gravimetrik yöntemlere göre daha hızlıdır. Fiyat dezavantajı, tarama cihazı üzerinde birçok tansiyometreye eklenen bir elektriksel basınç dönüştürücüsü kullanma yoluyla telafi edilebilmektedir. Tansiyometreler, termal genişlemeye veya sistemin değişik parçalarının küçülmesine ve basınç ölçümlerini etkileyen sıcaklık salınımlarından etkilenmektedir. Arazide güneş radyasyonundan koruma bu etkiyi minimize etmek için zemin üzerindeki tansiyometreler için tavsiye edilmektedir.



Şekil 1.5. Tansiyometre

Toprağın düzeltilmiş basınç potansiyeli, basınç dönüştürücü sistemle doğrudan oluşturulabilir. Toprak-nem basınç potansiyelinin tansiyometre ölçümünün hassasiyeti belirlemek zordur. Bir ölçümün doğruluğu, sıcaklık, basınç sensörünün doğruluğu ve sistemde biriken havanın miktarından etkilenir. Dahası toprak nem potansiyeli zaman içinde oldukça hızlı değişiyorsa tansiyometre tepki süresi hatalı ölçümlere neden olabilmektedir. Bu durumda toprak suyu ve tansiyometre suyu dengesi elde edilemez. Son çalışmalar göstermiştir ki; yarı geçirgen plastik uçlar seramik uçlardan çok daha hızlı bir tepki sağlamaktadır (Klute, 1986).

Tansiyometreler toprak suyundaki çözülmemiş tuz miktarından etkilenmez. Nem aralığında makul bir doğrulukla toprak suyu gerilimini ölçmektedir. Kuru topraklardaki ölçümler için uygun değildir.

1.1.2.2. Gözenekli bloklar/eletriksel rezistans blokları

İstenen ölçüm derinliğine gömülen gözenekli bloklar, alçı, cam, seramik, naylon ve fiberglasdan yapılmaktadır. Bloklardaki toprağı saran nem içeriği zamanla dengeye gelmektedir. Daha sonraki ölçümler, toprak su gerilimine bağlı olmaktadır.

Elektriksel rezistans blokları durumunda iki elektrot yüzeye uzanan bir kablo ile blok içine gömülür. Bir ölçüm cihazı kullanılarak iki elektrot arasındaki su içeriğini ve yüksek toprak suyunun gerilimini (yüksek rezistans) ölçmektedir.

Alçı bloklarını yeni bir tipi elektrot ihtiva eden bir blok içine sıkıştırılmış alçıyla ince granüllü kalıptan oluşmaktadır. Kalıbın dış yüzeyi sentetik çeper içine oyulmuştur ve delikler açılmış ve PVC veya paslanmaz çelik koruyucu örtüsüne yerleştirilmiştir. Yapı materyalleri 300-2000 hPa aralığındaki toprak su gerilimine daha fazla duyarlı olan bloğun içine veya bloktan dışarıya olan su hareketini artırmaktadır (Anonim, 2019).



Şekil 1.6. Gözenekli bloklar/eletriksel rezistans blokları

- Termal yayılım blokları

Termal yayılım blokları, gözenekli seramik materyalden yapılmıştır. Gözenekli bir blok içine gömülen, yüzeydeki ölçme cihazına kablo ile bağlanan sıcaklık sensörü ve küçük ısıtıcıdan oluşmaktadır. İç ısının ve ısıtıcıdan uzaklaşan ısı oranının ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Termal yayılım sensörleri geniş aralıktaki toprak su içeriği boyunca toprak suyuna hassas olurlar. Termal yayılım blokları elektrik rezistanslı bloklardan oldukça pahalıdır.

Termal yayılım blokları ile yapılan uygulamalar çabuk, tekrar edilebilir ve nispeten ucuzdur. Kaba yapılı, yüksek kabartlı veya tuzlu topraklarda kullanımı uygun değildir. Her 1 ile 3 yılda bir yenilenmesi gerekmektedir.

1.1.3. Uzaktan algılama

Uzaktan algılama tekniği yüzey üzerinde veya yakınında toprak nem özelliklerini belirlemek için kullanılan bir tekniktir. Toprak neminin uzaktan algılanması görünür, infrared (yakın veya termal), mikrodalga ve gamma verisi pasif ve aktif mikrodalga verisine dayanmaktadır (Schultz, Engman, 2000). Yansıtılan solar radyasyonun ölçümüne dayanan görünür ve yakın infrared teknikleri özellikle uygulanabilmesi mümkün değildir. Termal infrared teknikleri, kuru toprak koşullarıyla geniş olarak sınırlandırılmış ve toprak tipine bağlı olan toprak nemi ve günlük sıcaklık döngüsü arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Termal infrared tekniklerinde en büyük problem bulut engellemesidir.

Elektromanyetik spektrumun görünür ve yakın infrared kısımlarında topraktan yansıma ile toprak nemi hesaplamaları sadece sınırlı koşullar altında kullanılabilir. Bu metodun doğruluğu oldukça düşüktür. Tarımsal meteorolojik uygulamalarda optik ve mikrodalga verisinin sinerjik kullanımının avantajlı olduğu gösterilmiştir. Pasif mikrodalga bölgesinden şimdiye kadar çok fazla faydalanılmıştır. Şu anda toprak nemi ölçüm kapasitesine sahip mikrodalga radyometreleri sadece uçaklarda mevcuttur.

Birçok metre derinliğindeki toprak nemi bilgisi kısa puls radar (5-10 cm dalga boyunda) tekniklerinden elde edilebilmektedir. Rusya Federasyonu'nda bu metod ormanlık alanlarda toprak nemi ölçümü ve 5-10 metre derinlikteki doyma bölgesi tespitinde kullanılmaktadır. Gamma radyasyonunun kullanımı toprak nem ölçümü için geliştirilen uzaktan algılama metodları potansiyel olarak doğrudur. Gamma radyasyonunun azalması zeminin 20-30 cm üzerinde toprak nemindeki değişimi belirlemekte kullanılabilir (World Meteorological Organization, 1992).

Bu tezin amacı; tarımda kullanılan yabancı markalı toprak nem sensörlerine alternatif olarak basit, ekonomik ve yerli bir toprak nem sensörü tasarlayarak piyasada kullanılabilirliğini ispatlamaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Calamita, Perrone, Brocca, Onorati ve Manfreda (2015) çalışmalarında toprak neminin çok önemli bir değişken olduğunu ve mevcut durumun farklı mekânsal ve zamansal ölçeklerde rutin olarak ölçülmesi gerektiğini vurgulamıştır. Elektromanyetik indüksiyon yöntemi, bu konuda potansiyel olarak faydalı olan jeofizik tekniklerinden biridir. Bu yöntem birkaç santimetre derinliğindeki toprak hakkında bilgiler vermektedir. Bu çalışmada, sırasıyla çok frekanslı bir EMI sensörü (GEM-300) ve Time Domain Reflectometry (TDR) problemleri kullanılarak görünür elektriksel iletkenlik ve toprak nemi ölçümleri birlikte yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, EMI'nin kısa sürede, hidrolojiks ve uzaktan algılama uygulamaları için yüksek oranda ihtiyaç duyulan; büyük alanlarda toprak neminin yeterince doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlama potansiyelini vurgulamıştır.

Tülün (2005) Adana'da yürüttüğü yüksek lisans tezinde, bir TDR aletinin çeşitli toprak tekstürlerinde kalibrasyonunu çalışmış ve bu bağlamda Çukurova bölgesindeki yaygın toprak tekstürlerine ait topraklar alıp kasalara yerleştirmiştir. Bu kasalardan farklı zamanlarda gravimetrik yöntem ve TDR ile ölçümler almış ve TDR aletinin kalibrasyonu yapmıştır. Bu kalibrasyon sonucu grafiksel olarak değerlendirip, toprak su içeriği ile TDR ölçümlerinin uyumunu saptamıştır.

Akın ve Ünlünen (2017) çalışmasında farklı toprak nem sensörlerini, siltli tınlı toprak bünyesinde test etmiştir. Nötron problemleri, FDR, tansiyometre ve granüler matris sensörlerin karşılaştırmasını yaparak, uygulamaların neticesinde toprak nem sensörlerinin kullanımı faydalı bulup, tavsiye etmişlerdir.

Scheberl, Scharenbroch, Werner, Prater ve Fite (2019) çalışmalarında toprak nemi ve pH seviyeleri doğrudan ağaçların performansını etkilediğini ve toprak koşullarını değerlendirmek ve ağaç ihtiyaçlarını karşılayabilmek için de doğru bir algılayıcı seçimi son derece önemli olduğunu vurgulamışlardır. Bu amaç doğrultusunda 21 adet toprak pH ve nem sensörünün doğruluğuna dair testler yapılmıştır. Bu araştırma dört farklı toprak yapısında, üç farklı nem seviyesinde gerçekleştirilmiştir. ½ oranında toprak-deiyonize su çözeltisinde bir cam elektrot kullanan toprak pH sensörlerinin, toprak pH'ını doğru ve kesin olarak ölçtüğü bulunmuştur. Bununla birlikte, toprağa yerleştirilmiş metal elektrotlar kullanan sensörlerin toprak pH düzeyleriyle anlamlı bir ilişkisi bulunmamıştır. Bir toprak pH ve nem sensörü seçerken, ölçüm yönteminin en önemli hususlardan biri olduğu savunulmuştur. Çalışmada,

TDR ve FDR yöntemli sensörler en iyi performansı vermiştir. Elektriksel iletkenlik yöntemini kullanan sensörler maliyet, doğruluk ve hassasiyet açısından oldukça değişkenlik göstermiştir.

Aubert, Loumagne ve Oudin (2003) toprak neminin taşkın tahmininde önemli bir değişken olduğunu; yağmurun akış ve sızma arasındaki bölümünü büyük ölçüde etkilediğini savunmaktadırlar. Bu çalışmalarında geliştirdikleri metod, toprak nemi verilerini akış modellemesine dahil ederek, yaygın olarak kullanılan hidrolojik araçları operasyonel tahmin bağlamında iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Genişletilmiş bir Kalman filtresine dayanan sıralı bir asimilasyon prosedürü geliştirilmiş ve kavramsal bir yağış-akış modeli ile birleştirilmiştir. Serein'de (Fransa) yaklaşık 2 yıllık bir süre zarfında ve TDR probu ölçümlerini 0-10 ile 0-100 cm aralıklarında ölçümler yapılmıştır. Debi tahmini, hem toprak nemi hem de akış debisinin ayrı ayrı asimilasyonu ve birleşik asimilasyonu ile iyileştirilmiştir. Sonuç olarak, uzaktan algılama verileriyle birlikte bu yöntemin yeterliliği tartışılmaktadır.

Eller ve Denoth (1996) çalışmalarında arazi topraklarının su içeriğinin ölçülmesi için yeni bir sensör geliştirmiştir. Toprak nemi son derece geniş doğal toprak geçirgenliği aralığını kapsayacak şekilde optimize edilmiş ikiz bir T köprüsü ile ölçülmüştür. Ölçülen toprak geçirgenliklerinin bir analizi, sıvı içeriğinin dielektrik geçirgenlik üzerindeki baskın etkisini gösterirken, tane büyüklüğü dağılımı, kimyasal bileşim ve kütle yoğunluğu gibi toprağa özgü parametrelerin bu karşılaştırılabilir yüksek ölçüm frekansında sadece ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ancak kayıp faktörü, hem toprağın türüne hem de su içeriğine büyük ölçüde bağlıdır. Ek olarak, termogravimetrik yöntem ve zaman bölgesi reflektometrisi gibi yaygın olarak kullanılan ölçüm yöntemleriyle yapılan karşılaştırmalı çalışmalar tatmin edici bir uyum göstermiştir.

Karaca, Tekelioğlu ve Büyükbaş (2017) çalışmalarında nüfus artışıyla birlikte besin ihtiyacının artacağına değinerek tarım alanlarının verimli kullanımından bahsetmiştir. Birim alandaki ürün miktarını korumak ve fazlalaştırmak için en etkili yöntemlerin başında sulamanın geldiğini savunmuşlardır. Düzenli ve kontrol altında bir sulama uygulaması ile mevcut alandan elde edilen verim artmakla beraber su israfını azalacağından çevreye de zararı önemli düzeyde azalmaktadır. Bunun yanı sıra, toprak neminin biliniyor olması su ihtiyacı ve sulama planlaması açısından önemlidir. Gelişmekte olan imkanlar sayesinde toprağın mevcut neminin ölçülmesi gravimetrik yöntemden daha çok toprak nem sensörleriyle yapılmaya başlanmıştır. Bu doğrultuda geliştirilmiş ve geliştirilmekte olan birçok toprak nem sensörü mevcuttur. Bu sensörler çalışma prensibi açısından TDR, FDR, TDT ve nötron prob adı altında

toplanmaktadır. Çalışmalarında bu sensörleri ayrıntılı olarak incelemiş ve uygun fiyatlı oluşu ve son revizelerle ölçüm güvenilirliğinin artmasından dolayı FDR ölçüm sensörlerinin kullanımının arttığı belirtmişlerdir.

Coşkun (2013) çalışmasının amacı asmada sulama sezonundaki tüm fenolojik evrelerde TDR yöntemiyle ölçülen gövde su içeriği ve gövde elektriksel iletkenlik değerlerinin su stresinin ve sulama zamanının belirlenmesinde kullanılıp kullanılmayacağını ortaya koymaktır. Bu amaçla dört omca deneme alanına dikilmiş ve TDR ile her 30 dakikada bir ölçüm yapılacak şekilde donatılmıştır. TDR ölçümleri ile eş zamanlı olarak, toprak nem takibi, yaprak su potansiyeli, yaprak gaz değişimi ve infrared termometre ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Sulamalar nem takibine göre, kök bölgesindeki yarayışlı suyun %70'i tüketildiğinde tarla kapasitesine tamamlanacak şekilde yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, asmada 2011-2012 yılında yapılan gövde su içeriği ve elektriksel iletkenlik ölçümleri ile toprak su içerikleri arasında istatistiksel olarak önemli bir uyum tespit edilmiştir. Böylece, ağaç gövdesi elektriksel iletkenlik veya direnç ölçümleri ile sulama zamanının planlanabileceği belirlenmiştir.

Güler ve Coşkun (2016) çalışmalarında kumlu killi tınlı bünyeye sahip farklı miktarlarda organik madde içeren bir toprakta TDR sensörü ile ölçüm sonucu elde edilen değerler ile gravimetrik yöntem ile belirlenen toprak nem değerlerini karşılaştırmış, toprak neminin ölçümünde doğru sonuçların elde edilebilmesi için TDR aletinin kalibrasyonun önemi tartışılmıştır. Arazide 1x2 m² boyutundaki parsellere %0, %3, %6 ve %9 oranında çeltik kavuzu kompostu uygulamaları, toprağın 0-20 cm katmanındaki organik madde içeriğini %1,09 ile %6,29 arasında, hacim ağırlığı değerlerini ise 0,589 g/cm³ ile 1,020 g/cm³ arasında değiştirmiştir. Sulama uygulamaları için parsellerde gravimetrik yöntem ile ölçülen toprak nem değerleri %18,3 ile %36,50 arasında değişkenlik gösterirken, TDR sensörü ile ölçülen toprak nem değerleri %38 ile %72 arasında değişkenlik göstermiştir. Kompost uygulamaları ile toprakta organik madde düzeyindeki artışlar hacim ağırlığı değerlerini düşürmüş, gözenekliliğin ise artmasına sebep olmuştur. TDR okumalarıyla belirlenen QTDR değerleri, hacim ağırlığı ve nispi doygunluk değerleri ile istatistiksel olarak çok önemli düzeyde kolerasyon elde edilmiştir.

Demirel (2014), bu çalışmasında küresel ısınma sonucu su faktörünün tarım sektöründe öneminin arttığını belirtmiştir. Tarım üretimlerinde, kaliteli ve fazla ürün alınabilmesi için bitkilerin nitelikli yetişme şartlarının bilinmesi ve buna göre hareket edilmesi gerektiğini savunmuştur. Toprak nemi bu şartların en başında yer almaktadır. Bitkilerin mevcut nemden

yararlanabilmeleri çok mühimdir. Uzaktan algılama, hassas tarım uygulamaları, yüzey ve yüzey altı su akışları, toprak-su-bitki-atmosfer modelleri güvenilir ve eş zamanlı olarak ölçülen toprak nemi verilerine ihtiyaç duymaktadır. Arazi ve laboratuvar koşullarında, topraktaki su miktarındaki değişimin belirlenmesi yeterince güç ve zaman almaktadır. Son zamanlarda, bilgisayar modelleri toprak su miktarının ve toprak içerisindeki su akışının simülasyonunu daha kolay elde edebilmektedir. Bu amaçla kullanılan HYDRUS, toprak su hareketlerinin izlenmesinde kullanılan en popüler programlardan biri olduğunu vurgulayan Demirel, çalışmasında HYDRUS programı ve örnek bir uygulama ile programdaki gerekli verilerin tanımlanmasını amaçlamıştır.

Çay, Aydoğdu ve Kocabıyık (2018), çalışmalarında toprak neminin kolay ve güvenilir şekilde tespit edilmesi birtakım tarım uygulamaları için önemli olduğunu vurgulamışlardır. Topraktaki su miktarının tahmin edilmesi adına yıllarca üzerinde çalışılan direkt ve indirekt yöntemleri kullanarak tahmin yapılan birbirinden farklı birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemlerin iyi ve kötü özellikleri mevcuttur. Direkt olarak ağırlık tabanlı nem tespiti genellikle en kesin sonucu vermektedir. Fakat fazla zaman ve iş gücü gerektirmektedir. Dolaylı yoldan ölçüm yöntemlerinde ise toprak nemi, elektriksel iletkenlik, radyoaktif tepkiler gibi toprağın farklı özelliklerinden yararlanılarak nem tespiti yapılmaktadır. Ayrıca bu yöntemlerde karışık kalibrasyon işlemlerine ve gereksiz analizlere ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu araştırmada topraktaki su miktarı tespiti için, birtakım alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan infrared (IR) teknolojisinin ağırlık bazlı (gravimetrik) yönteme seçenek olma ihtimali araştırılmıştır. Geliştirilen sistemin doğruluğunu ispatlamak adına nem değerleri birbirinden farklı sekiz toprak örneğinin gravimetrik ve IR yöntemiyle nem ölçümleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Denemelerde üç farklı IR gücü (2358 Wm^{-2} , 3165 Wm^{-2} ve 4187 Wm^{-2}) kullanılmıştır. Varyans analizi, çoklu karşılaştırmalar ve ortalama yüzdesel mutlak hata (MAPE) testleri yapılarak yöntemler arası farklılıklar araştırılmıştır. Sonuç olarak iki yöntem ile elde edilen veriler arasında istatistiksel bir fark tespit edilmemiştir. Her iki yöntemin kolerasyon katsayıları, güç yoğunlukları sırasıyla 0,966, 0,964 ve 0,979 ile oldukça yüksek bulunmuştur. Tüm denemeler için ise kolerasyon katsayısı 0,979'dur. Sonuç olarak geliştirilen IR tekniği tüm güç seviyeleri için oldukça hızlı ve doğru toprak nemi tahminlemesi yapabilmektedir.

Aydın, Yorulmaz, Atatanır ve Kurucu (2011) toprağın tüm özelliklerinin bilinmesi ve onların sürekli olarak işe yarar olmasının sağlanmasının tarımsal alandaki verimlilik durumunun çok önemli olduğunu vurgulamıştır. Toprak özellikleri birçok koşula bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Değişimlerin saptandığı geleneksel yöntemler süre, işgücü ve ekonomik yönden önemli dezavantaj göstermektedir. Bu sebeple son zamanlarda, bitki gelişimini direkt olarak etkileyen bazı toprak özelliklerinin değişimini daha güvenilir, kolay ve ekonomik olarak belirleyebilmek amacıyla eski metodlara seçenek olarak sensör teknolojileri geliştirilmeye başlanmıştır. Bu amaçla geliştirilen “Near-Infrared Spectrophotometre” tarımsal ve çevresel alanlar için topraklar ve bitkiler hakkındaki veriye ekonomik ve basit bir şekilde ulaşmayı sağlayan yöntemlerden birisidir. Bu çalışmada NIRS aracılığıyla toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi ve bu metodun olumlu ve olumsuz yanlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, 350-2500 nm dalga boyu aralığında yansıma okuması yapabilen Field Spec TM aleti kullanılmıştır. Çalışma alanı Aydın Söke Ovası olup, üç farklı alanda toplam 352 adet toprak örneğinde arazide ve laboratuvarında ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada bulunan bulgular, toprak nem miktarının yansıma değerlerini değiştirdiği ve bunun yanı sıra toprağın diğer kimyasal özelliklerinin de bu yansıma değer değişiminde etkili olduğunu ortaya konmuştur Ayrıca NIRS yansıma yöntemi ile toprak özellikleri tayininde kullanılabilirliğini, hızlı ve ekonomik bir yöntem olduğunu ve daha ayrıntılı çalışmaların yapılmasının gerektiğinin sonucuna varılmıştır.

Büyükçekic, Büyüktaş, Karaca ve Baştuğ (2017) toprak su içeriğinin doğru bir şekilde ölçülmesi sulama ile ilgili çalışmalarda su dengesinin kurulmasında kritik öneme sahip olduğunu savunmuşlardır. Toprak su içeriğinin belirlenmesinde gravimetrik yöntem en doğru sonucu vermesine karşın zaman alıcı ve iş yükünün fazla olması nedeniyle toprak dielektrik sabitine bağlı farklı nemölçerler geliştirilmiştir. Ancak geliştirilen bu cihazlar hem toprak bünyesinden hem de toprak tuzluluğundan önemli derecede etkilenmektedirler. Bu nedenle söz konusu cihazların kullanımından önce farklı toprak bünyesi ve tuzluluğuna bağlı olarak kalibrasyon eğrilerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, 10HS toprak nem sensörünün kumlu ve tınlı olmak üzere iki farklı toprak bünyesi ve 0,7 (şebeke suyu, kontrol), 1,5 - 3,0 - 6,0 ve 12 dS/m olmak üzere beş farklı elektriksel iletkenliğe sahip su kullanılarak kalibrasyon eğrilerinin laboratuvar koşullarında belirlenmesidir. Bu amaçla, 2 mm’lik elekten elenmiş kumlu ve tınlı toprak örnekleri doğal birim hacim ağırlığını sağlayacak şekilde 1,5 litrelik saksılara yerleştirilmiş ve 30 gün süre ile farklı elektriksel iletkenliğe sahip sularla alttan doyurulmuştur. Toprağın doygun olduğu su içeriğinden solma noktası düzeyine kadar saksılar,

günlük olarak tartılmış ve aynı zamanda nemölçer ile toprak su içeriği, milivolt cinsinden ölçülmüştür. Daha sonra elde edilen verilerden yararlanılarak üçüncü dereceden polinom biçiminde regresyon denklemleri belirlenmiştir. Araştırma sonucunda, toprak nem sensörünü üreten firma tarafından önerilen kalibrasyon katsayıları ile bu çalışmada elde edilen katsayıların önemli düzeyde farklı olduğu, kullanılan suyun elektriksel iletkenliğinin kalibrasyon eğrilerini etkilediği belirlenmiştir. Toprak dielektrik sabitine bağlı olarak geliştirilen toprak nem ölçerlerinin toprak su içeriğini doğru bir şekilde ölçebilmesi için yerel olarak kalibre edilmesi önerilmiştir.

Wagner, Lemoine ve Rott (1999) Ukrayna'da toprak nemi izleme için ERS Scatterometer verilerinin kullanılma potansiyelini araştırmıştır. ERS Scatterometer, uzamsal çözünürlüğü 50 km ve yüksek zamansal örnekleme oranına sahip bir C-bandı radarıdır. Yüzey toprağı nemi içeriğini tahmin etmek için algoritma yıllık verileri 6 olarak uygulanır. Yüzey ıslaklık değeri meteorolojik gözlemler ve yardımcı bilgiler ile birlikte nitel karşılaştırmalarla belirtilebilir. Toprak nemi içeriği profili ile yüzey tahminlerini ilişkilendirmek için basit bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, uzaktan algılanan radar verilerini ve solma seviyesi, alan kapasitesi ve gözeneklilik derecesini içeren toprak verilerini girdi olarak belirtmeyi gerektirir. Ukrayna'da agrometeorolojik ağdan, 0-20 cm ve 0-100 cm arasındaki katmanlarda gravimetrik toprak nemi ölçümlerinin kapsamlı bir veri seti şeklinde bu yöntem onaylanmıştır. ERS'nin Scatterometer verileri yaklaşık beş toprak nemi seviyesini iyi bir şekilde ayırt etmek için kullanılabilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Test alanının konumu

Toprak nem ölçüm cihazı, Namık Kemal Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Tarımsal Mekanizasyon Sistemleri Anabilim Dalı laboratuvarında tasarlanmış ve ön denemeleri yapılmıştır.

Tarla uygulamaları için testler Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nde yaklaşık 13,8 da alan ($40^{\circ} 59'$ kuzey enlem derecesi ile $27^{\circ} 29'$ doğu boylam derecesi) üzerinde yapılmıştır. Test alanının konumu Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



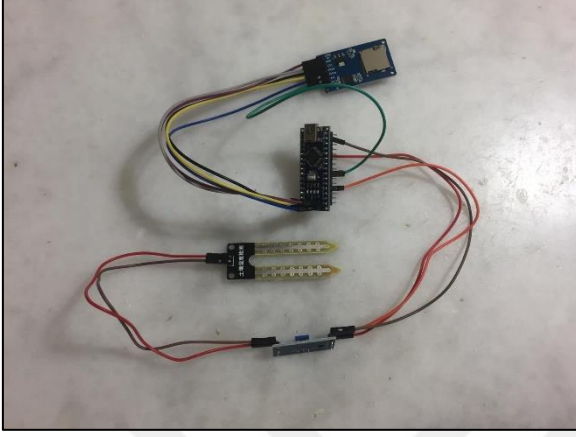
Şekil 3.1. Test alanı

Alan üzerinde; Chandler ceviz çeşidi ekili her biri 24x32 m boylarında 9 adet parsel bulunmaktadır. Bir parselde 12 ağaç mevcut olup sıra arası ve ağaç sıra üzeri mesafesi 8x8 m'dir. Toprakları killi tınlı bünyeye sahip, hafif tuzlu, az kireçli ve organik madde içeriği düşüktür.

3.1.2. Toprak nem ölçüm cihazı

- Tasarımı

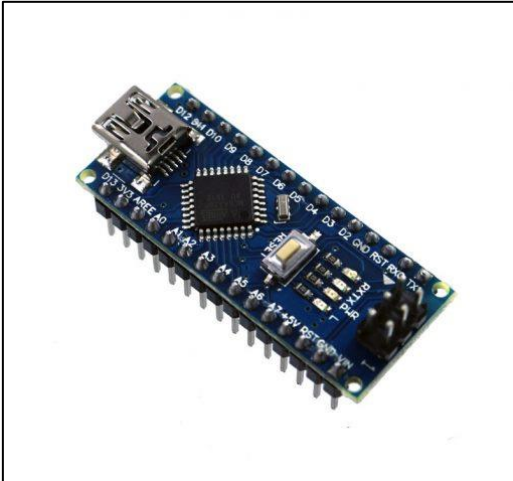
Toprak nem ölçüm cihazı; Arduino Nano, HL-69 Toprak nem sensörü, Mikro SD Kart modülü ve bağlantı kabloları kullanılarak tasarlanmıştır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Tasarlanan sensör

- Arduino Nano 328

Arduino, Processing/Wiring dilini kullanarak çevre elemanları ile temel giriş çıkış uygulamalarını gerçekleştiren açık kaynaklı fiziksel programlama platformudur. Arduino Nano ise ATmega328 temelli, küçük, breadboard ve farklı platformlar ile beraber kullanılan, Arduino Uno'nun sadeleştirilmiş versiyonudur.



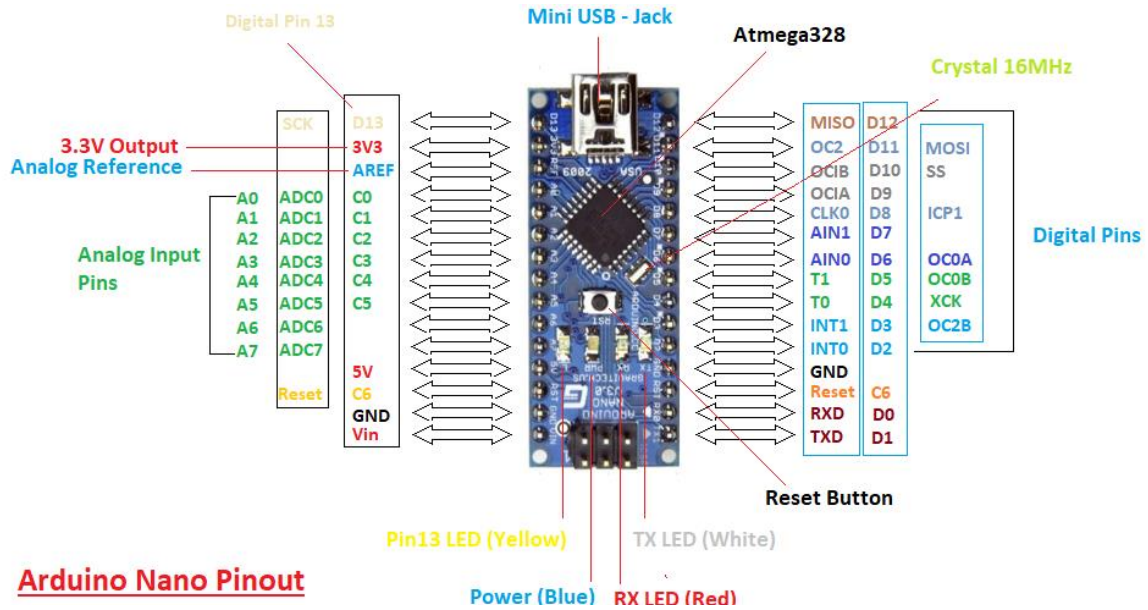
Şekil 3.3. Arduino nano

Arduino Nano Teknik Özellikleri

- Mikrodenetleyici: Atmel ATmega328
- Lojik Voltaj Seviyesi: 5V
- Giriş Gerilimi: 7-12V
- Ölçüm Aralığı: 0-1024 bit
- Dijital G/Ç Pinleri: 14 (6sı PWM pinidir.)
- Analog Giriş Pinleri: 8
- Her Pinden Verebileceği Akım: 40mA
- Flash Hafıza: 32KB
- SRAM: 2KB
- EEPROM: 1 KB
- Çalışma Frekansı: 16MHz
- Ürün Boyutları: 19x43mm

Arduino Nano Güç: B tipi mini USB kablosu ile bilgisayara bağlanarak ya da harici güç kaynağı ile çalıştırılır.

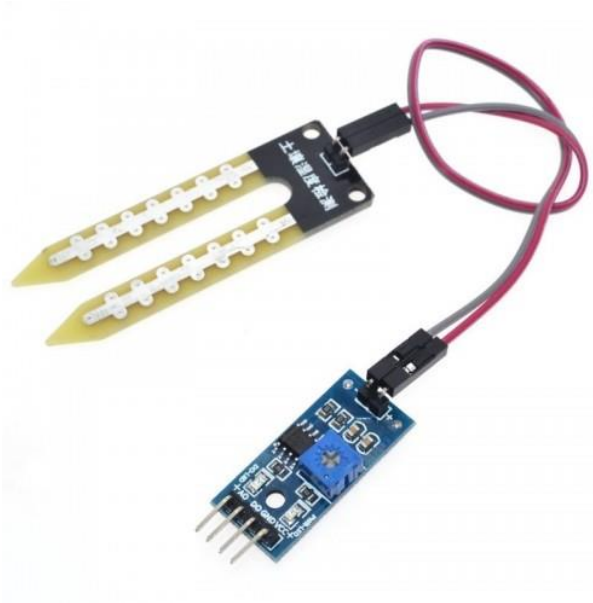
Arduino Nano Giriş ve Çıkışlar: Arduino Nano’da bulunan 14 tane dijital giriş/çıkış pininin tamamı, pinMode(), digitalWrite() ve digitalRead() fonksiyonları ile giriş ya da çıkış olarak kullanılmaktadır. Bu pinler 5V ile çalışmaktadır.



Şekil 3.4. Arduino nano diyagramı

- HL-69 Toprak Nem Sensörü

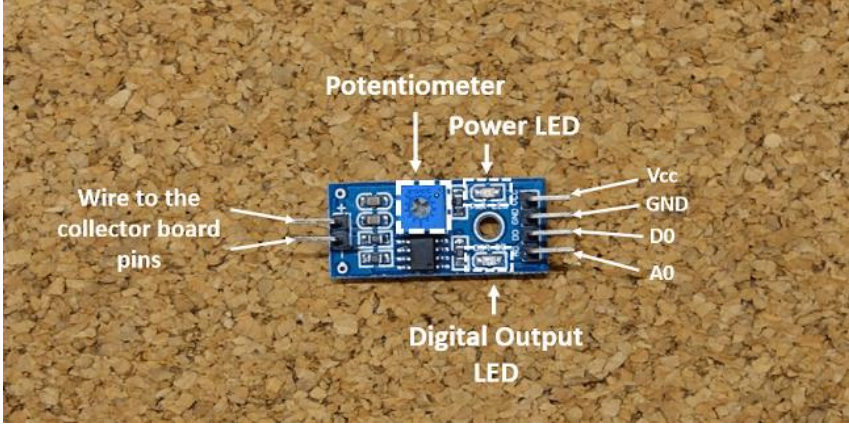
HL-69 higrometre, üzerinde LM393 komparatör bulunan yükselteç ve karşılaştırma devresi ile toprağın içerdiği su miktarına göre direnç değerini azaltan ya da yükselten algılayıcı bir devreden oluşmaktadır. Toprağa batırılan algılayıcının üzerinde basit yapıda bakır yollar bulunur. Topraktaki su seviyesine göre direnç değeri değişir ve bu değişim miktarı toprağın nem değerini verir. Yükselteç devre, algılayıcıdaki bu direnç değişimini gerilim değişimine dönüştürür.



Şekil 3.5. HL-69 toprak nem sensörü

HL-69 Toprak Nem Sensörü Teknik Özellikleri

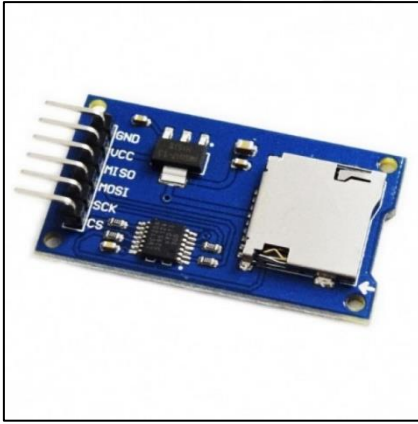
- Çalışma Gerilimi: 3.3V-5V
- Çıkış Gerilimi: 0-4.2V
- Akım: 35mA
- Çıkış Türü: Dijital ve Analog
- Ağırlık: 0,006kg
- Boyut: 4.30 x 1.40 x 0.80cm



Şekil 3.6. Toprak nem sensörü

- Mikro SD Kart Modülü

SD kart modül, SPI protokolü üzerinden SD kartlara okuma ve yazma yapılabildiğinden oldukça kullanışlıdır. Arduino başta olmak üzere birçok mikrodenetleyici platformu üzerinden rahatlıkla kullanılmaktadır. Bilgi depolama, okunan verileri karta yükleme, sürekli olarak iletilen bilgileri kaydetme gibi birçok alanda kullanılmaktadır. 3,3 V'luk ve 5 V'luk sistemlerle rahatlıkla kullanılabilir.



Şekil 3.7. Micro SD kart modülü

- Watermark Sensörü

Watermark sensörü, toprak suyu gerilimini ölçmek için kullanılan katı hal elektrik direnç algılama cihazıdır.

Watermark Sensörü Teknik Özellikleri

- 0-239 cb ölçüm aralığındadır.
- Toprakta çözünmez.
- Sıcağa ve soğuğa dayanıklıdır.
- Çapı: 22 mm
- Uzunluk: 83 mm (3,25 inç)
- Ağırlık: 0,067 kg



Şekil 3.8. Watermark sensörü

3.2. Yöntem

Tez konusu kapsamında tasarlanan toprak nem sensörü Arduino programında amacına uygun olarak kodlanmıştır. Sensör probu toprağa batırıldığında ekranda değerleri 0,5 sn aralıklarla gösterecek bir kod yazılmıştır.

Çizelge 3.1. Tasarlanan ölçüm sisteminde kullanılan mikrodenetleyici kodu

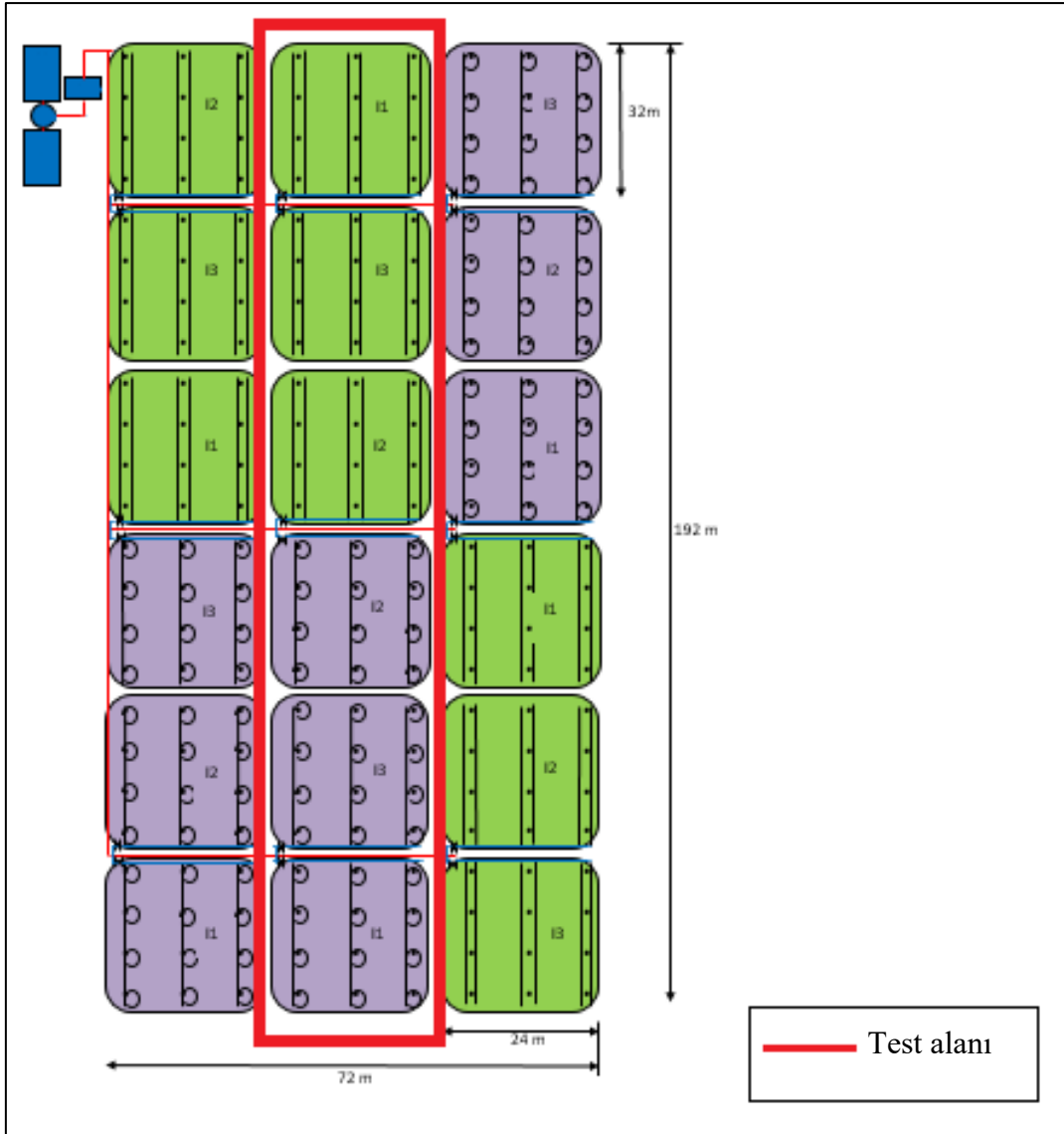
```
const int prob = A0;

int olcum_sonucu;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  olcum_sonucu = analogRead(prob);
  Serial.print("toprak nemi ");
  Serial.println(olcum_sonucu);
  delay(500);
}
```

Tasarlanan toprak nem sensörü, gravimetrik yöntemle göre kalibre edilip watermark markalı toprak nem sensörü ile karşılaştırılacağından gravimetrik yöntemle toprak nemi tayin edilmiştir. Bunun için öncelikle Şekil 3.9'da gösterilen deneme desenindeki işaretli alandaki 6 parselden 30 cm derinliğinden burğu ile toprak örnekleri alınmıştır. Deneme alanının boyutları 72×192 m ve büyüklüğü 13824 m²'dir. Her deneme parselinde 3 adet ağaç sırası mevcuttur. Ağaç sıra arası ve ağaç sıra üzeri mesafesi 8×8 m'dir. Oluşturulan tüm parsellerde 2 adet ağaç ölçüm ağacı olarak işaretlenmiştir (Göçmen, 2017).



Şekil 3.9. Deneme deseni

Her bir numaralı alandan alınan toprak örnekleri ayrı ayrı kaplara konularak, laboratuvarında yaş ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Yaş ölçümleri alınan toprak örnekleri etüvde 105°C'de 24 saat bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan toprak örnekleri tekrar ölçüme tabi tutularak kuru ağırlıkları saptanmıştır. Daha sonra topraklar kaplardan boşaltılarak, kapların darası alınmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Gravimetrik metodun uygulanması

Ölçümleri yapılan toprak örneklerinin aşağıdaki eşitlikle nem içeriği hesaplanmıştır (Uytun, Pekey ve Kalemci, 2013).

$$\left(\frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

Burada;

m_0 : Boş kabın kütlesi, g

m_1 : Nemli toprak örneği bulunan kabın kütlesi, g

m_2 : Kuru toprak örneği bulunan kabın kütlesi, g

Tasarlanan sensörün probu gravimetrik yöntem için örnek alınmış olan derinliğe batırılmıştır. 0,5 sn aralıkla ekranda beliren nem değerleri sabit olana kadar beklenip, sabit değer toprak nem değeri olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.11. Tasarlanan sensör ile ölçüm alımı

Deneme parcelinde numaralandırılmış alanlardaki gömülü watermark problemlerinin yüzeydeki uçlarına cihaz bağlanarak toprak nem değerleri okunmuştur.



Şekil 3.12. Watermark toprak nem sensörü ile ölçüm alımı

Arduino UNO 10 bit çözünürlüğe sahip analog girişe sahiptir. Bu nedenle dijital girişe bağlanan toprak nem sensöründen 0 ile 1024 arasında değerler okunabilir, İstatistiksel analizler Python Bilimsel hesaplama kütüphanesi Scipy 1.4.1 versiyon kullanılarak yapılmıştır, Grafikler ise Seaborn 0,9,0 kütüphanesi kullanılarak yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Gravimetrik yöntem ile toprak nemi tayini aşamalarında ölçülen kuru ağırlık, yaş ağırlık, dara ve bu veriler doğrultusunda hesaplanan toprak nem değeri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Alınan toprak örneklerinin laboratuvar koşullarında ölçülen değerleri

Yaş ağırlık (g)	Dara (g)	Kuru ağırlık (g)	Hesaplanan toprak nemi (%)
78,63	44,36	74,81	13,071474
120,08	43,77	112,04	3,203956
110,99	45,24	102,16	19,749769
91,9	45,42	86,63	23,338365
91,54	44,3	85,34	28,159046
114,02	48,03	105,88	10,990468
79,38	31,44	72,07	20,797054
112,5	43,37	102,64	11,912584
53,1	30,42	50,05	12,127592
49,95	30,14	47,14	21,531975
53,35	28,39	50,08	7,379894
80,63	45,87	76,19	13,096424
99,25	45,65	92,52	20,750022
152,06	44,49	134,12	6,482316
121,68	48,27	111,56	17,744778
83,88	46,92	79,66	21,091331
100,76	45,87	93,52	13,373905
190,83	65,92	171,34	12,882275
131,08	45,16	116,83	31,669519
109,88	42,66	99,55	10,504081
135,42	43,65	119,73	18,225101
117,09	45,77	105,05	19,694389
117,4	44,43	105,27	26,816562
123,85	45,83	110,8	20,896584
65,88	29,25	61,64	26,807398
72,97	31,38	68,35	19,767021
74,27	43,64	71,17	18,952670

Tasarlanan toprak nem sensörü ile gravimetrik yöntem için alınan toprak derinliğine batırılarak ölçülen toprak nem değerleri Çizelge 4.2’ de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Tasarlanan sensör ile ölçülen değerler

Nem değerleri (bit)	
531	538
525	533
533	534
535	531
537	536
529	531
535	533
527	536
528	535
532	537
529	539
532	534
535	535
531	536

Deneme parselinde gömülü watermark problemlerinden toprak nem değerleri okunmuştur. Okunan değerler Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Watermark toprak nem sensörü ile ölçülen değerler

Nem değerleri (cb)	
56	35
74	45
43	49
35	52
26	23
57	52
41	51
71	30
67	24
38	27
62	22
51	36
43	37
61	24

Toplamda yedi farklı günde toplam 28 ölçüm alınmıştır. Çizelge 4.4'te bu ölçümlere tanımlayıcı istatistikler görülmektedir. Her bir yöntem için count (veri sayısı), mean (ortalama),

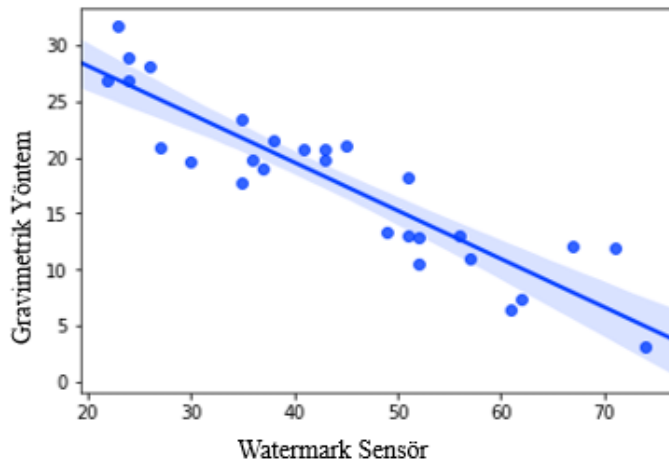
std (standart sapma), min (en düşük değer), %25 (yüzdelik), %50 (medyan), %75 (yüzdelik) ve max (en yüksek değer) hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4. Ölçümlere ait istatistikler

	Watermark	Gravimetrik yöntem	Tasarlanan sensör
count	28,000000	28,000000	28,000000
mean	44,000000	17,856050	533,107143
std	15,143756	7,165480	3,424739
min	22,000000	3,203956	525,000000
25%	33,750000	12,693604	531,000000
50%	43,000000	19,323530	533,500000
75%	53,000000	21,201492	535,250000
max	74,000000	31,669519	539,000000

Gravimetrik yöntem, watermark nem sensörü ve tasarlanan toprak nem sensörünün ölçülen nem değerleri bakımından ilişkileri karşılaştırılmıştır. Lineer regresyon grafikleri çizilmiştir. Aralarındaki ilişkiler lineer regresyon formülü ile ortaya konmuştur.

Gravimetrik yöntem ile tespit edilen toprak nem değerleri ve watermark marka toprak nem sensörü ile ölçülen toprak nem değerlerinin lineer regresyon grafiği Şekil 4.1' deki gibidir.

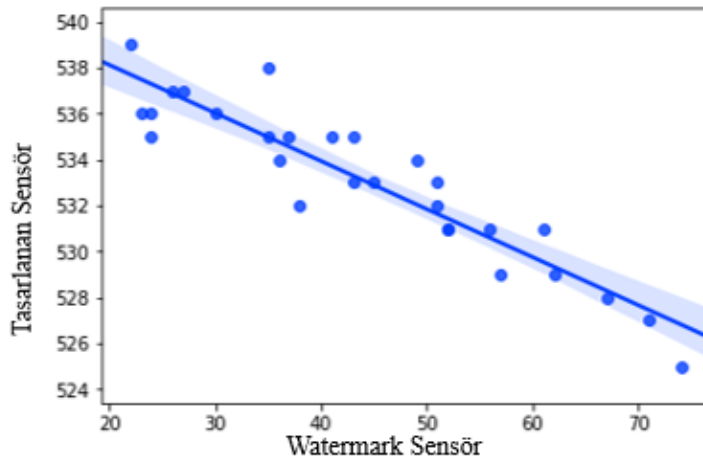


Şekil 4.1. Gravimetrik yöntem ve watermark sensörü arasındaki lineer regresyon

Aralarında negatif bir ilişki yani ters orantı görülmüştür. Bundan dolayı da eğim katsayısı negatif bir değer almıştır. Eğim katsayısı 0,43'tür. Determinasyon katsayısı %91'dir. Bu da değerlerin birbiri ile uyumlu olduğunu ve ilişkinin doğruluğunu ifade etmektedir. Aralarındaki ilişkiyi ortaya koyan lineer regresyon formülü aşağıda verilmiştir.

$$y = x * (-0,4307019420772658) + 36,80693567021358 \quad R^2 = \%91 \quad (4.1)$$

Tasarlanan sensör ve watermark marka toprak nem sensörü değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren lineer regresyon grafiği Şekil 4.2'deki gibidir.

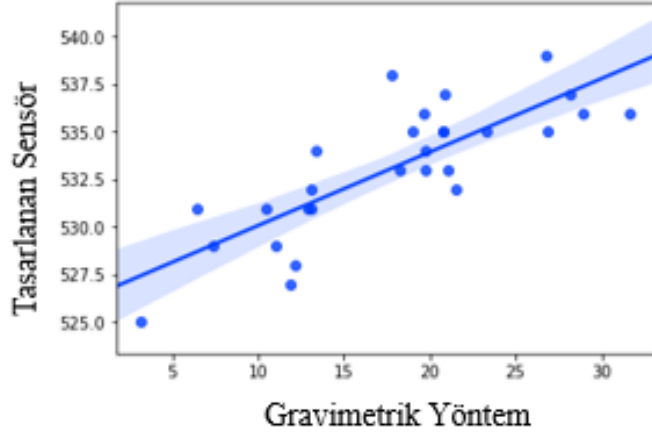


Şekil 4.2. Tasarlanan sensör ve watermark sensörü arasındaki regresyon

Aralarında negatif bir ilişki görüldüğünden eğim katsayısı negatif bir değer almıştır. Eğim katsayısı 0,21'dir. Determinasyon katsayısı %92,6'dır. Karşılaştırılan değerlerin birbiri ile uyumu ve aralarındaki ilişkinin doğruluğu determinasyon katsayısı değerinden anlaşılmaktadır. Aralarındaki ilişkiyi ortaya koyan lineer regresyon formülü aşağıda verilmiştir.

$$y = x * (-0,2094638242894057) + 542,3235511258767 \quad R^2 = \%92,6 \quad (4.2)$$

Tasarlanan toprak nem sensörü ile gravimetrik yöntem ile tespit edilen toprak nem değerlerinin lineer regresyon grafiği Şekil 4.3'deki gibidir.



Şekil 4.3. Tasarlanan sensör ve gravimetrik yöntem arasındaki lineer regresyon

Eğim katsayısı pozitif bir değer olduğundan aralarında doğru orantı olduğu saptanmıştır. Eğim katsayısı 0,39'dir. Determinasyon katsayısı yaklaşık olarak %81'dir. Bu karşılaştırmanın lineer regresyon formülü aşağıdaki gibidir. Hesaplanan %81 oranı, değerlerin birbiri ile uyumlu olduğunu ve ilişkilerinin doğruluğunu ifade etmektedir. Ayrıca, Tülin (2005) yürüttüğü yüksek lisans tezinde bir TDR aletinin kalibrasyonunu yapmış, bu kalibrasyon sonucunu grafiksel olarak değerlendirip, toprak su içeriği ile TDR ölçümlerinin uyumunu saptamıştır.

$$y = x * 0,38656242027440624 + 526,2046648680168 \quad R^2 = \%80,8 \quad (4.3)$$

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma içerisinde piyasadaki toprak nem sensörlerine alternatif olarak kullanılabilir, tasarımı basit ve ekonomik bir toprak nem sensörü geliştirilmiştir. Bu yeni geliştirilen sensör, toprak nemini ölçmekte en doğru sonuçları veren gravimetrik yöntem ve piyasada yaygın olarak kullanılan tasarladığımız toprak nem sensörü ile benzer bir mantıkta çalışan Watermark toprak nem sensörü ile karşılaştırılmıştır.

Gravimetrik yöntem her ne kadar en doğru sonuçları verse de gerek örnek toplamanın zorlukları, gerek sonuçların alınması için gerekli olan süreden dolayı dezavantajları bulunmaktadır. Ayrıca örneklerin taşınması sırasında nem kaybı yaşanması ve sonuç ertesi gün çıktığı için sulama zamanı veya miktarında hata yapılma olasılığı artmaktadır. Bu nedenle gerçek zamanlı doğru sonuç veren sensörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Piyasada gerçek zamanlı ölçüm yapabilen watermark sensör gibi yabancı firmalara ait sensörler bulunmaktadır. Ancak çalışmamızda görüldüğü üzere yerli ve milli olarak geliştirilecek sensörler benzer doğrulukla ölçüm yapabilmelerinin yanı sıra daha ekonomik olabilmektedirler.

Tasarımını ve testlerini yapılan nem ölçer Arduino Nano, HL-69 Toprak nem sensörü, Mikro SD Kart modülü ve bağlantı kablolarından oluşmaktadır. Sensör probu toprağa batırıldığında ekranda değerleri 0,5 sn aralıklarla gösterecek bir kod yazılmıştır.

Watermark sensör ve geliştirilen sensör regresyon analizi ile karşılaştırıldığında aralarında determinasyon katsayısı %92.6 olan güçlü bir lineer ilişki bulunmuştur. Gravimetrik yöntem ile geliştirilen sensör arasında ise determinasyon katsayısı %80,8 olan güçlü bir lineer ilişki bulunmaktadır. Bu güçlü lineer ilişkiler, geliştirdiğimiz sensörün toprak neminin tespitinde kullanılabilirliğini bize göstermektedir.

Geliştirilen sensör ile yapılacak daha sonraki çalışmalarda şunlar dikkate alınmalıdır:

- Tüm ölçümler tek bir büyüme döneminde yapıldığı için farklı yıllarda yapılacak ölçümler neticesinde sensörün kalibrasyonu daha yüksek hassasiyet ile yapılabilir
- Farklı toprak tiplerinin bulunduğu ve farklı bitkilerin yetiştirildiği arazilerde denemeler yapılarak sensörün daha genel bir şekilde kullanılması sağlanabilir.
- Sensör yapısından ötürü nispeten yüzeye daha yakın ölçümler yapılabilmektedir. Sensörün yerleştirileceği prob ile ilgili yapılacak çalışmalarla farklı derinliklerden ölçümler alınabilecek şekilde bir tasarım üzerine çalışılabilir.

- Ölçüm yapılırken sensör bağlantılarından kaynaklanan elektriksel parazitler sonucu ölçümlerde zorluklar yaşanmıştır. Bu nedenle ileriki çalışmalarda daha kaliteli iletkene ve parazit önleyici koruyucu kılıfa sahip kablolar uygun şekilde lehimlenerek yalıtılmalı böylece ölçümlerin tekrarlanabilirliği kolaylaştırılmalıdır.



KAYNAKLAR

- Akın, A. İ., Ünlünen, L.A. (2017). Patatete hassas damla sulama programlarının yapılmasında toprak nem sensörlerinin kullanılması, *Toprak Su Dergisi*, Özel sayı, 8-12.
- Anonim, (2019). Toprak nem ölçümü. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, e-Bülten, <https://www.mgm.gov.tr/genel/buharlasma.aspx?s=6>
- Aubert, D., Loumagne, C., Oudin, L. (2003). Sequential assimilation of soil moisture and streamflow data in a conceptual rainfall–runoff model, *Journal of Hydrology*, (280)1-4, 145-161.
- Aydın, G, B., Yorulmaz, A., Atatanır, L., Kurucu, Y. (2011). Nirs (Near Infrared) Yansıma Tekniği ile Toprak Parametrelerinin Belirlenebilirliği, Prof. Dr. Nuri Munsuz Ulusal Toprak ve Su Sempozyumu.
- Başkan, O., Köşker, Y., Tekeli, Ş., Güvendik, G., Güntürk, A. (2009). Toprak Nem Kapsamının Konumsal ve Zamansal Değişiminin Jeostatistik Analizi, I. Ulusal Kuraklık ve Çölleşme Sempozyumu. 574-582, Konya.
- Bayramoğlu, Z. (2010). Tarımsal verimlilik ve önemi, *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(3), 52-61.
- Büyükçekic, G., Büyüktaş, D., Karaca, C., Baştuğ, R., Aydınşakir, K., Büyüktaş, K. (2017). Laboratuvar Koşullarında Farklı Toprak Bünyesi ve Tuzluluğuna Göre 10HS Toprak Nem Sensörünün Kalibrasyon Eğrilerinin Belirlenmesi, Kırklareli: 5, Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi.
- Calamita, G., Perrone, A., Brocca, L., Onorati, B., Manfreda, S. (2015). Field test of a multi-frequency electromagnetic induction sensor for soil moisture monitoring in southern Italy test sites, *Journal of Hydrology*, (529)1, 316-329.
- Coşkun, Z. (2013). *Asmada TDR ile gövde su içeriği ve elektriksel iletkenlik ölçümleriyle su stresinin ve sulama zamanının belirlenmesi*, (Doktora Tezi), Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Çay, A., Aydoğdu, A., Kocabıyık, H. (2018). Toprak neminin belirlenmesinde infrared teknolojisinin kullanımı, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, (1)6, 9-15.

- Demirel, K. (2014). Toprak nem değişiminin HYDRUS programı yardımıyla modellenmesi, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(2), 1-8.
- Dingman, S.L. (1994). *Physical Hydrology*. 575, New York.
- Eller, H., Denoth, A. (1996). A capacitive soil moisture sensor, *Journal of Hydrology*, (185)1-4, 137-146.
- Entekhabi, D. (1995). Recent Advances İn Land-Atmosphere interaction research. *Rev. Geophys.*33; 995–1003.
- Ferreyra, R.A., Apeztequia, H.P., Sereno, R., and Jones, J.W. (2002). Reduction Of Soil Water Spatial Samling Density Using Scaled Semivariograms And Simulated Annealing, *Geoderma*, 110; 265-289.
- Göçmen, E. (2017). *Tekirdağ koşullarında farklı sulama uygulamalarının ceviz ağaçlarının su kullanımı ve vejetatif gelişme unsurlarına etkisinin belirlenmesi*, (Doktora Tezi), Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Güler, C., Coşkun, Z. (2016). Sulama uygulamaları için TDR ölçümlerinde kalibrasyonun önemi, *DSİ Teknik Bültenleri*, 122, 61-69,
- Huang, J., van den Dool, H.M., Georgakakos, K.P. (1996). Analysis of model-calculated soil moisture over the united states (1931–93) and applications to long-range temperature forecasts. *J. Climate*, 9; 1350–1362.
- Hupet, F., & Vanclooster, M. (2002). Intraseasonal dynamics of soil moisture variability within a small agricultural maize cropped field. *Journal of Hydrology*, 261(1–4); 86–101.
- Karaca, C., Tekelioğlu, B., Büyüктаş, D. (2017). Sürdürülebilir tarımsal üretim için toprak nem sensörlerinin etkin kullanımı, *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2017 Cilt 2 Sayı 3, 33-41.
- Klute, A. (1986). *Method of Soil Analysis. Part 1: physical and mineralogical methods*, second edition, *American Society of Agronomy and Soil Science Society of America*, Madison, Wisconsin.
- Mishra, V., Cruise, J.F., Mecikalski, J.R., Hain, C.R., Anderson, M.C. (2013). A remote-sensing driven tool for estimating crop stress and yields. *Remote Sensing*, 5;3331-3356.

- Moore, I.D., Burch, G.J., and Mackenzie, D.H. (1988). Topographic effects on the distribution of surface soil and the location of ephemeral gullies, *Trans. Am. Soc. Ag. Eng.*, 31;1098-1107.
- Noilhand, J., Planton, S. (1989). A simple parameterization of land surface processes for meteorological models. *Mon. Wea. Rev.*, 117;536-549.
- Prichard, Terry L., (2003). Soil Moisture Measurement Technology. University of California, Davis (<http://ucce.ucdavis.edu/files/files/library/40/975.pdf>).
- Quiring, S.M., Papakryiakou. (2003). An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies. *Agric. For. Meteor.*, 118; 49-62.
- Rehber, E., Çetin, B. (1999). Organic Farming in EU and Turkey, Proceedings XXVII COASTA-CIGR V Congress; Work Science in Sustainable Agriculture, Horsens Denmark, 14-17.
- Rodriguez-Iturbe I. (2000). Ecohydrology: a hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics. *Water Resources Research* 36(1): 3–9.
- Scheberl, L., Scharenbroch, B, C., Werner, L, P., Prater, J, R., Fite, K, L. (2019). Evaluation of soil pH and soil moisture with different field sensors: Case study urban soil, *Urban Forestry & Urban Greening*, (38), 267-279.
- Turhan, Ş. (2005). Tarımda sürdürülebilirlik ve organik tarım, *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 11(1), 13-24.
- Tülün, Y. (2005). *Toprak su içeriğinin ve yarayışlı su düzeylerinin TDR (time domain reflectometry) ile ölçülmesi ve aletin çeşitli toprak bünye sınıflarında kalibrasyonu*, (Yüksek lisans tezi), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Uytun, A., Pekey, B., Kalemci, M. (2013). Toprak Nemi Ölçümleri, VIII, Ulusal Ölçüm bilim Kongresi, Gebze-Kocaeli.
- Wagner, W., Lemoine, G., Rott, H. (1999). A Method for Estimating Soil Moisture from ERS Scatterometer and Soil Data, *Remote Sensing of Environment*, v,20, n,2, 191-207.
- Walker, S., Rowntree, P.R. (1977). Effect of soil moisture on circulation and rainfall in tropical model. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 103; 29-46.

Williams, A.G., Ternan, J.L., Fitzjhon, C., de Aalba, S., and Perez-Gonzales, A. (2003). Soil moisture variability and land use in a seasonally arid environment. *Hydrological processes*, 17; 225-235.

World Meteorological Organization, (1992). *Remote Sensing for Hydrology: Progress and Prospects* (R. Kuittinen). Operational Hydrological Report No. 36, WMO-No. 773, Geneva.

World Meteorological Organization, (1993). *Executive Council Panel of Experts on Satellites: Final Report*. 9–10 March, Geneva.

Yegül, U. (2010). *Traktörle çekilir elektromanyetik (em) elektriksel iletkenlik sensörü ile bazı toprak özelliklerinin belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

İstanbul'un Kadıköy ilçesinde 02/01/1995 tarihinde doğdu, İlk, orta ve lise eğitimini Beykoz-Ümraniye'de tamamladı, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine 2013 yılında başladı ve eğitimini 2017 yılında tamamladı, 2017 yılı içerisinde Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı, 2019 yılı bahar dönemi boyunca Tekirdağ Mektebim Koleji'nde Kodlama ve Robotik eğitmenliği yaptı, 2019 güz döneminde Tekirdağ Bahçeşehir Koleji'nde Kodlama ve Robotik öğretmenliğine başladı ve hala bu kurumda öğretmenliğe devam etmektedir.

