



## Modeling Soil Hydraulic Conductivity Measurement in Workshop Conditions

Cafer Gençoğlan<sup>1,a,\*</sup>, Serpil Gençoğlan<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup>Department of Biosystem, Faculty of Agriculture, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, 46050 Kahramanmaraş, Turkey

\*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 21/09/2021 Accepted : 01/10/2021</p> <p><b>Keywords:</b> Drainage Auger-hole Hydraulic conductivity PLC Pressure transducer</p>	<p>The aim of this study is to model the system that measures soil hydraulic conductivity using Programmable Logic Control (PLC), pressure transducer and motor pump in workshop conditions. In the study, a plastic pipe with a length of 2 m and a diameter of Ø100 was prepared to simulate an auger hole. In addition, a set was created using PLC and its module. In the hydraulic conductivity measurement system, the auger hole method (the bottom of the auger hole is above the impermeable layer) is used. Using the auger-hole equation, the system's program was written in CODESYS-ST language and uploaded to the PLC. As a result of the regression analysis between the water head in the pipe (auger-hole) measured by hand (ESY) and PLC (PLCSY), an equation as <math>PLCSY = 0,99ESY + 1,69</math> (<math>R^2 = 1</math>) was obtained and the Mean Absolute Percent Error (MAPE) of these two data sets was calculated as 0,41%. Each hydraulic conductivity measurement time is approximately 5, 6 and 8 minutes when the valve is fully open and half open and one-third open. The distance from the pipe base to the static level (d, cm) was measured as averages of 122.83, 123.91 and 123.7 cm on, respectively. In the first quarter section, the average times taken for the water level to rise from 20 to 25, 25 to 30, 30 to 35 and 35 to 40 was determined as 4.4, 6.0 and 26.1 seconds, respectively. The hydraulic conductivity values were calculated as 18.6, 13.2 and 3.1 cm/hour at the valve openings, respectively. The measured data is saved on an SD card. All of these processes are done automatically. The expectation that this system will measure hydraulic conductivity accurately, economically and quickly in field conditions is high and should be tested in field conditions.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9(11): 2027-2034, 2021

## Toprak Hidrolik İletkenlik Ölçümünün Atölye Koşullarında Modellenmesi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 21/09/2021 Kabul : 01/10/2021</p> <p><b>Anahtar Kelimeler:</b> Drenaj Burgu deliği Hidrolik iletkenlik PLC Basınç transduser</p>	<p>Bu çalışmanın amacı, Programlanabilir Lojik Kontrol (PLC), basınç transduseri ve motopomp kullanarak toprak hidrolik iletkenliğini ölçen sistemi atölye koşullarında modellemektir. Çalışmada, uzunluğu 2 m ve çapı Ø100'lük bir plastik boru, burgu deliğine benzetmek amacıyla hazırlanmıştır. Ayrıca PLC ve modülü kullanılarak bir set oluşturulmuştur. Hidrolik iletkenlik ölçüm sisteminde, burgu deliği yöntemi (burgu deliği tabanı geçirimsiz tabakanın üstünde kalan) kullanılmıştır. Burgu deliği eşitliği kullanılarak CODESYS-ST dilinde sistemin programı yazılmış ve PLC'ye yüklenmiştir. Elle (ESY) ve PLC (PLCSY) ile ölçülen boru (burgu deliği) içindeki su yükleri arasında regresyon analizi sonucu <math>PLCSY = 0,99ESY + 1,69</math> (<math>R^2 = 1</math>) şeklinde bir eşitlik elde edilmiş ve bu iki veri setinin Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE)'si %0,41 olarak hesaplanmıştır. Her bir hidrolik iletkenlik ölçüm süresi, vananın tam açık olduğunda yaklaşık 5 dak., yarım açık olduğunda 6 dak. ve üçte bir açık olduğunda ise 8 dakika olarak belirlenmiştir. Boru tabanından statik düzeyine uzaklık (d, cm) 1., 2. ve 3. vana açıklıklarında sırasıyla ortalama 122,83, 123,91 ve 123,7 cm olarak ölçülmüştür. İlk çeyrek bölümde su yükünün 20'den 25'e, 25'den 30'a, 30'dan 35'e ve 35'den 40'a yükselmesi için vana açıklıklarına göre geçen süre ortalaması sırasıyla 4,4, 6,0 ve 26,1 sn olarak tespit edilmiştir. Hidrolik iletkenlik değerleri vana açıklıklarında sırasıyla ortalama 18,6, 13,2 ve 3,1 cm/saat olarak hesaplanmıştır. Ölçülen veriler bir SD karta kaydedilmiştir. Bu işlemlerin tamamı otomatik olarak yapılmıştır. Bu sistemin, hidrolik iletkenliği arazi koşullarında doğru, ekonomik ve hızlı ölçeceği beklentisi yüksektir ve arazi koşullarında test edilmelidir.</p>

<sup>a</sup> [gencoglan@ksu.edu.tr](mailto:gencoglan@ksu.edu.tr)

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4559-4354> | [sgencoglan@ksu.edu.tr](mailto:sgencoglan@ksu.edu.tr)

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7390-8365>



## Giriş

Dren aralıklarının hesaplanmasında kullanılan parametrelerden birisi de hidrolik iletkenliktir (Berkman, 1968). Hidrolik iletkenlik, toprağın su ile doğgun durumda iken birim hidrolik eğimdeki gözenek karakterlerinin etkilediği su akış hızının değeri şeklinde tanımlanmaktadır. Diğer bir ifadeyle Hidrolik iletkenlik, gözenekli bir ortamda akının (su akış hızının) hidrolik eğime oranı veya akı-hidrolik eğim doğrusunun eğimi olarak tanımlanmaktadır (Hillel, 1980). Hidrolik iletkenliğin ölçülmesinde birçok yöntem geliştirilmiş olmakla birlikte drenaj sistemlerinin projelendirilmesinde kullanılacak değerin arazide yerinde yapılan ölçümlerle saptanması istenir. Arazi hidrolik ölçüm yöntemleri iki gruba ayrılabilir. Bunlardan birincisi su tablasının yukarısında hidrolik iletkenlik ölçüm yöntemleri ve ikincisi ise su tablasının altında hidrolik iletkenlik ölçüm yöntemleridir. Bu yöntemler de çok çeşitli olmakla birlikte burada birinci gruba ilgili olarak kuyu permeametri ve silindirik permeametre yöntemleri, ikinci gruba ilgili olarak da burğu deliği ve boru-oyuk (piezometre) yöntemleridir. Burğu Deliği Yönteminde su tablası altında istenen derinliğe kadar 8-10 cm çapında bir burğu deliği açılır. Suyun deliğe dolarak statik düzeye erişmesi beklenir. Bir pompa veya bailer (boşaltma kovası) yardımıyla bu suyun boşaltılmasından hemen sonra delik içerisindeki yükselmekte olan su düzeyi eşit ve uygun zaman aralıklarıyla belli bir başvuru noktasına göre ölçülerek kaydedilir. Hidrolik iletkenlik eşitlikleri, burğu deliği geçirimsiz tabakaya oturma ve geçirimsiz tabakaya oturmama koşullarına göre geliştirilmiştir. Verilen koşullara bağlı olarak bu iki eşitlikten biri kullanılarak hidrolik iletkenlik belirlenmektedir. Su düzeyinin ölçülmesinde ya şamandıralı bir göstergeden yararlanılır ya da elektrikli ölçme aleti kullanılır. Yöntemde kullanılan su, taban suyu olup arazide taşınması gereken ekipman miktarı da diğer yöntemlere bakılarak daha azdır (Gemalmaz, 1993; Bahçeci, 2008).

Burğu Deliği Yönteminin uygulanmasında deliğin açılması sırasında çeperlerdeki gözeneklerin tıkanmamasına özen gösterilmesi gerektiği; çeperlerin göçme olasılığı varsa denemeye başlamadan önce deliğe uygun çapta bir filtre borusu yerleştirilmesi gerektiği; ölçümlerin deliğin tabanından itibaren ilk 1/4' de tamamlanması gerektiğini aksi takdirde bulunacak sonuçların doğruluğunun azalacağı bildirilmiştir (Gemalmaz, 1993; Güngör ve Erözel, 1994; Van Beers, 1983).

Su düzeyinin ölçülmesinde son yıllarda basınç ve ultrasonik transduserler de kullanılmaya başlanılmıştır. Bunlar bir fiziksel büyüklüğü başka bir fiziksel büyüklüğe çeviren cihazlardır. Gençoğlan ve ark. (2013) ultrasonik transduser kullanarak A sınıfı buharlaşma kabındaki su yüksekliğini hem dalgasız hem de dalgalı koşullarda 1 mm altında bir mutlak hata ile ölçülebileceğini belirlemiştir. Gençoğlan ve ark. (2015a) basınç transduseri kullanarak su kaynağındaki su seviyesinin kontrol edilebileceğini belirtmişlerdir. Gençoğlan ve Gençoğlan (2016) basınç transduseri ve PLC kullanarak A Sınıfı Buharlaşma Kabındaki su yüksekliğini atölyede koşullarında ölçmek amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Elle ve PLC ölçümü arasında ortalama 0.21 mm fark bulunmuştur. Bu sonuca

göre PLC, buharlaşma kabındaki su yüksekliğini doğruya yakın ölçülebileceği bildirilmiştir. Buharlaşma kabında ölçülen su yüksekliği ölçümlerini olumsuz etkileyen en önemli etmenin suyun dalgalanması olduğunu belirtmişlerdir. Gençoğlan ve Tüysüz (2018), basınç ve ultrasonik transduser ile anahtar eğrisi kullanılarak açık kanaldan geçen debiyi ölçmüşlerdir. Basınç ve ultrasonik transduserlerle ölçülen debi ile mevcut ölçülen debi arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığını belirlenmişlerdir. Gençoğlan ve ark. (2021), PLC tabanlı A Sınıfı Pan otomasyon sistemi (CAPAS)'ni tasarlamışlar ve basınç transduseri aracılığı ile otomatik olarak ölçülen A sınıfı buharlaşma kabındaki su seviyesini ve derinlik ölçerle ölçülen su seviyesini kullanarak test etmişlerdir. Otomatik olarak ölçülen A sınıfı buharlaşma kabındaki su seviyesinin ve derinlik ölçerle ölçülen su seviyesinin ortalama  $\pm$  standart hatası sırasıyla  $172,4 \pm 1,79$  ve  $173,5 \pm 1,66$  olarak bulunmuşlardır. Araştırmacılar, regresyon belirleme katsayısı ( $R^2$ ) ve eğimi, 0.992 ve 0.99 olarak belirlenmişler ve CAPAS'ın performansının arazi koşullarında A sınıfı buharlaşma kabındaki su seviyesinin otomatik ölçümünde çok iyi olduğunu göstermişlerdir.

Yapılan bu çalışmalar burğu deliği (auger-hole) içerisindeki su seviyesinin basınç transduseri ile ölçülebileceğini göstermektedir. Gündoğdu (1988), arazide doğgun koşullarda hidrolik iletkenliğin belirlenmesinde burğu deliği, piezometre, dren verdisi yöntemleri ve laboratuvar yöntemiyle (Hollanda tipi permeametre) elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır. Elde edilen yöntemlerle elde edilen ortalama doğgun hidrolik iletkenlik değeri sırasıyla 0,58, 0,37, 0,67 ve 0,37 cm/saat'dir. Arazi koşullarını en uygun sonucu çok büyük bir toprak hacmini temsil eden dren verdisi yöntemi vermiş ve bunu burğu deliği yöntemi takip etmiştir. Gençoğlan ve Çatalkaya (2014), Harran Ovası VI. kısımda kurulan kapalı drenaj sahasında yürüttükleri çalışmada hidrolik iletkenliğin 1,67-15,4 cm/saat arasında değişebileceğini belirtmişlerdir.

Burğu deliğinde hidrolik iletkenlik ölçümlerinde yüzen bir cisim, şeritmetre, kronometre ve bailer/pompa kullanılmaktadır. Genellikle verilerin toplanmasında belirli zaman aralıklarına karşılık gelen su yükselmeleri ölçülmektedir. Hidrolik iletkenlik ölçümlerinde bu konuda yetişmiş insanlara gereksinim vardır. Yetişmiş insanlar tarafından kronometre ile belirli zaman aralıklarına karşılık gelen su seviyeleri tam olarak ölçülemeyebilir. Kumlu topraklarda hidrolik iletkenlik yüksek olduğu için işlemleri kısa sürede yapılması gerekir. Bu durum hidrolik ölçümlerinde hataları daha da arttırabilir. Diğer yandan ölçüm yapan insanlar zamanla yorulabilir ve bu yorulmanın sonucunda ölçümlerde maddi hata yapabilir. Bunlara ek olarak bu konuda yetişmiş eleman eksikliği vardır ve işçilik maliyetleri çok yüksektir. Diğer yandan burğu deliği içerisinde su seviyesi ile beraber yükselen yüzücü cisim burğu deliği duvarındaki engellere takılarak yükselmesi engellenebilir. Toprağı ağır bünyeli olan kuyuda arka arkaya yapılan testler sonucunda delik duvarında cilalama oluşabilmekte, deliklerin kapanmasına neden olmakta ve bu istenmeyen bir durumdur. Ortaya çıkabilecek bu olumsuzluklar hidrolik iletkenliğin doğru ölçülmesini engelleyebilir. Tüm bu olumsuzlukları en aza

indirecek ve günümüz otomasyon teknolojisini de kullanarak hidrolik iletkenliği ölçecek bir sistemin geliştirilmesine gereksinim vardır.

Bu çalışmanın amacı, Programlanabilir Lojik Kontrol (PLC) ve basınç transduseri kullanarak toprak hidrolik iletkenlik ölçüm sistemini atölye koşullarında modellenmesidir.

## Materyal ve Yöntem

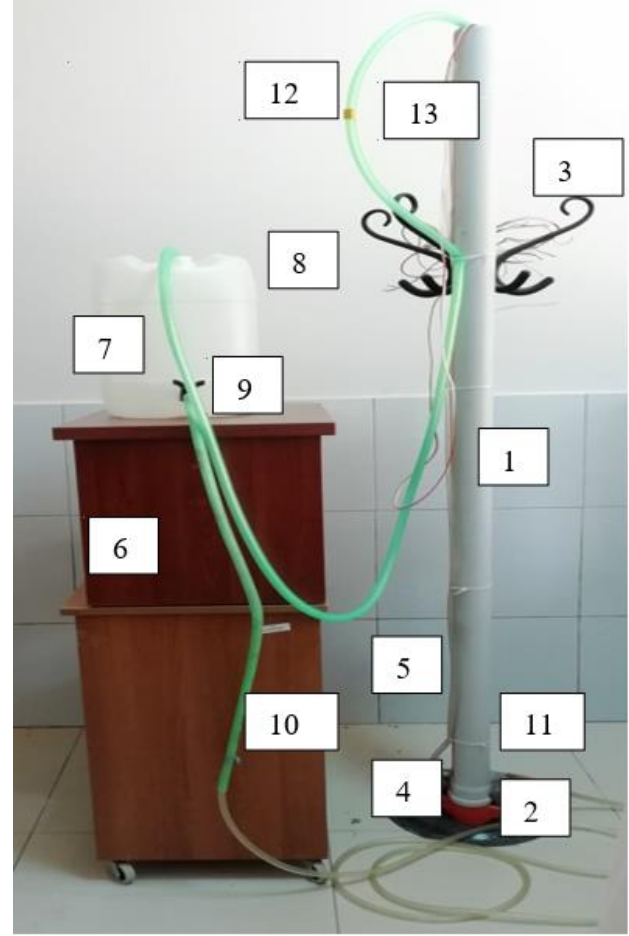
Bu çalışmanın amacı, Programlanabilir Lojik Kontrol (PLC), basınç transduseri ve motopomp kullanarak bir boruda toprak hidrolik iletkenliğini ölçen sistemi atölye koşullarında modellemektir.

Hidrolik iletkenliği ölçen modelleme sistem, genel olarak 3 kısımdan oluşmuştur. Bunlardan birincisi; boru sistemi, ikincisi; PLC (CPU ve modülü), basınç transduseri ve motopomp, üçüncüsü ise yazılımdır.

Hidrolik iletkenliği belirleme sisteminin geliştirilmesinde Van Beers, (1983) ve Gemalmaz'ın (1993) ortaya koydukları Burgu Deliği Yönteminin su tablası altında kalan yaklaşımı kullanılmıştır. Hidrolik iletkenlik ölçümleri değişken su yüküne göre yapılmıştır. Hidrolik iletkenlik belirlenme sisteminin geliştirilmesinde Burgu-deliği ve plastik boru arasında bazı benzeşimler yapılmıştır. Plastik boru, burgu deliğine; kör tapa geçirimsiz tabakaya; boru içerisinde belirli bir miktar su yükü bırakılarak burgu deliğinin geçirimsiz tabakaya oturmama koşuluna; su deposundan plastik borunun belirli bir seviyesine kadar su ile doldurulması, burgu deliği içindeki statik su seviyesine ulaşmasına; plastik borunun alt ucundan itibaren su yükünün yavaş yavaş yükseltilmesi burgu deliğine toprak profilinden yatay akışa; plastik boruya su doldurarak ölçümlerin yapılması su tablası altında kalan bölgede ölçümlerin yapılmasına benzetilmiştir. Bu amaçla 2 m uzunluğunda ve Ø100'lük çapında bir plastik boru (1) hazırlanmış, alt ucu Ø100'lük kör tapa (2) ile kapatılmış ve bir askıya tutturulmuştur (3) (Şekil 1). Boruya su doldurmak ve boru içindeki su yükünü izlemek için kör tapanın hemen üstünden iki delik açılmış ve birer adet Ø10'lük nipel (4) yerleştirilmiştir. Boru içerisindeki su yüksekliğini fiziksel olarak ölçmek için 2 metrelik şeffaf Ø10'lük gözlem hortumu (5), nipelin birine geçirilmiş ve boruya tutturulmuştur. Boruya su dolunda su yükü oluşturmak için 2 sehpa (6) üst üste ve üzerine de 20 litrelik bir su deposu (7) konmuştur. Su deposundaki suyun yerden yüksekliği yaklaşık 150 cm'dir. Su deposunda sabit su yükü oluşturmak için su deposu tahliyesi (8) yapılmıştır. Boruya, sabit su yükü altında su doldurmak için 2 metrelik Ø10'lük besleme hortumunun (10) bir ucu diğer nipele (4), diğer ucu ise su deposu çıkış vanasına (9) bağlanmıştır. Borunun içerisine bir motopomp ve bir de basınç transduseri (11) yerleştirilmiştir. Bunların yanında boru içerisindeki suyu boşaltmak için uzunluğu 4 m olan Ø12'lik tahliye hortumu (12), motopompun vericisine geçirilmiştir. Motopomp ve basınç transduserine güç, besleme kablosu (13) ile sağlanmıştır (Şekil 1).

Çalışmada Ø100'lük boru kullanıldığından Eşitlik 1'deki yarıçap (r) 5 cm olarak alınmıştır. Geçirimsiz tabakanın 200 cm derinlikte olduğu varsayılmıştır. Burgu deliğinin geçirimsiz tabakaya oturmama koşulunu sağlamak için boru içerisinde 20 cm'lik su yükü

bırakılmıştır. Hidrolik iletkenlik ölçümleri su yükü 20 cm'ye eşit ve büyük olduğunda ölçümlere başlanılmıştır. Oluşturulan sistem çalıştırılmış ve yazılan yazılımla, borunun içinde 20 cm su yükü kalacak şekilde su otomatik olarak boşaltılmıştır. Hidrolik iletkenlik değeri, boru içerisindeki su seviyesinin birim zamanda yükselme hızına bağlı olarak, diğer parametrelerle birlikte, azalmakta veya artmaktadır. Hidrolik iletkenlik ölçümü, borunun tabanından itibaren ilk 1/4'lük bölümün 20-25, 25-30, 30-35 ve 35-40 cm'lik su seviyelerinde yapılmış ve bunların ortalaması alınmıştır. Ölçümler, su deposu musluğunun tam, yarım ve 1/3 oranında açarak boruda 3 farklı su hızında yapılmıştır.



Şekil 1. Hidrolik iletkenliğin ölçümünde kullanılan model plastik boru ve elemanları

(1-plastik boru, 2-kör tapa, 3-askı, 4- nipel, 5-gözlem hortumu, 6-sehpa, 7-su deposu, 8-su deposu tahliyesi, 9-çıkış vanası, 10-besleme hortumu, 11-basınç sensörü ve motopomp (boru içinde), 12-tahliye hortumu ve 13-besleme kablosu)

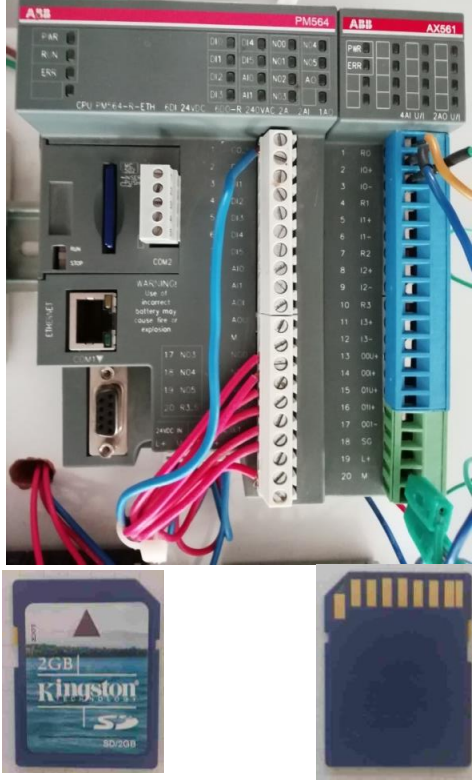
Figure 1. Model plastic pipe and its elements used in the measurement of hydraulic conductivity

(1-plastic pipe, 2-plug, 3- iron pole, 4- nipple, 5- transparent hose, 6- stand, 7-water tank, 8-water tank drain, 9-outlet valve, 10-supply hose, 11-pressure sensor and motor pump (inside pipe), 12-discharge hose and 13-power cable)

Çalışmada kullanılan PLC (CPU); 128 kB program hafızasına, COM1 ve COM2 portuna, internete, hızlı sayıcı modüle, PWM çıkışına, 8 dijital giriş (DI)'e, 6 dijital çıkış (DO)'a, 2 analog giriş (AI)'e, 1 analog çıkış (AO)'a, gerçek zamanlı saat (RTC)'e ve SD modüle sahiptir. Besleme gücü 24 VDC'dir. Dijital giriş ve çıkışları 24 VDC ve 0,5 A'dir. PLC'nin dış ortamda çalışma sıcaklığı 0°C ile



60°C'dir. Çalışmada kullanılan PLC'nin yazılım dili CODESYS'tir. SD kart 2 GB hafızalıdır. Zamanı belirlemek için RTC kullanılmıştır. PLC, 4-20 mA akıma veya 0-10 VDC karşılık sırasıyla 1 ve 27648 sayısal değerini üretmektedir. Basınç transduserinin çıkışı, 4-20 mA olduğundan ve PLC'nin 4-20 mA lik girişi olmadığından analog modül kullanılmıştır. Analog modül, 4AI, 2AO çıkışa sahiptir (Şekil 2).



SD Kart

Şekil 2. PLC, analog modül, role, SD yuvası ve kartı  
Figure 2. PLC, analog module, relay, SD slot and its card



Şekil 3. Basınç transduseri, motopomp ve role  
Figure 3. Pressure transducer, motor pump and relay

Denemede boru içindeki su yükünü ölçmek için çalışma aralığı 0-4 m H<sub>2</sub>O sütunlu, daldırma tipli ve iki telli basınç transduseri kullanılmıştır. Algılayıcının, enerji beslemesi 10-32 VDC, çıkışı ise 4-20 mA, çalışma sıcaklığı -40°C ile 70°C ve hassasiyeti <±%0,5 (Şekil 3)

Boru içerisindeki suyu dışarı boşaltmak için 24 VDC bir küçük motopomp kullanılmıştır. Motopompu kontrol etmek için bir role kullanılmıştır. Role 24 VDC'lik enerji ile çalışmakta ve soketi ray tiplidir (Şekil 3).

PLC, basınç transduseri ve motopomp kontrol projesi Şekil 4'de verilmiştir. Projede bir PLC ve analog modül kullanılmıştır. Şekilden görüldüğü gibi PLC'nin L ve M enerji girişlerine sırasıyla 24 ve 0 VDC bağlanmıştır. Dijital ve analog okuma yapabilmek için Com ve M girişine sıfır bağlantısı yapılmıştır. Boru içerisindeki tahliye motopompu role üzerinden kontrol etmek için rolenin A1'i, PLC'nin NO0 kanalına bağlanmış ve adresi %QX4000.0'dır. Tahliye motopompu enerji de rolenin normalde açık (NO) çıkışına bağlanmıştır. Basınç transduseri, analog modülün giriş olan 0. kanalına (AI0) bağlanmış ve adresi %IW0'dir. Analog modül konfigürasyonunda AI0, 4-20 mA olarak seçilmiştir.

Hidrolik iletkenlik, burğu deliği geçirimsiz tabakaya oturmadığı varsayılarak Eşitlik 1'den hesaplanmıştır (Gemalmaz, 1993; Bahçeci, 2008).

$$K = \frac{rS}{(2d+r)t} \ln \frac{y_1}{y_2} \quad (1)$$

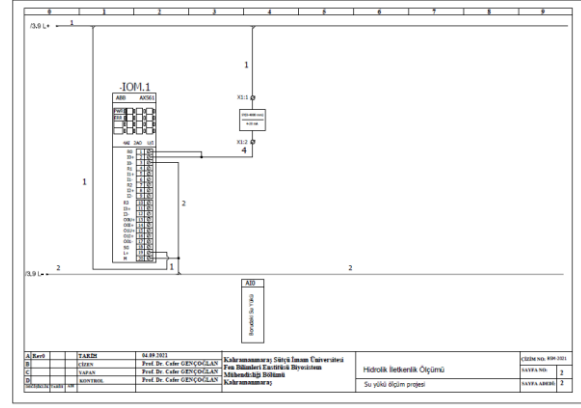
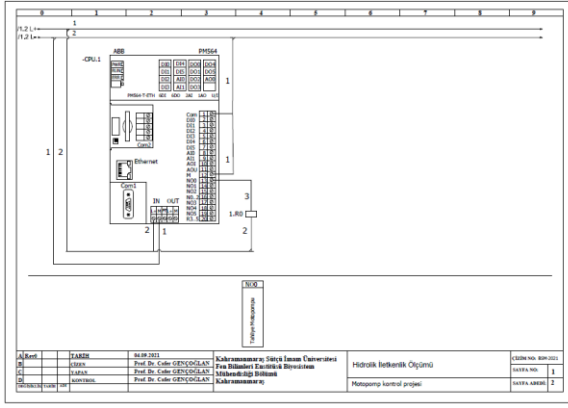
Burada;

K;hidrolik iletkenlik, (cm/saat), r; deliğin yarıçapı (cm), d; boru (delik) tabanından statik düzeye uzaklık (cm), t;delik içerisindeki su yüzeyinin statik düzeye göre y<sub>1</sub>'den y<sub>2</sub>'ye yükselmesi için geçen süre (saat), S: Şekil etmeni (S=rd/19) (cm). Ölçümde Ø100'lük plastik boru kullanıldığından yarıçap (r) 5cm olarak alınmıştır.

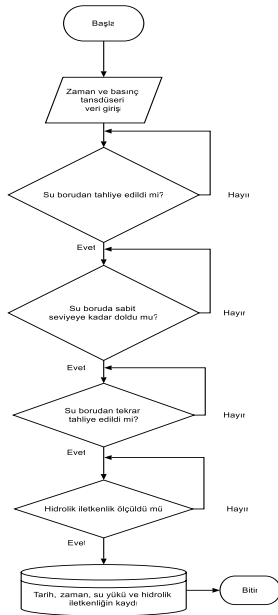
Toprak hidrolik iletkenliğini ölçen sistemin akış diyagramı, Gemalmaz (1993) ve Bahçeci (2008) tarafından verilen Eşitlik 1 ve hidrolik iletkenliği ölçme yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil 5). Hidrolik iletkenlik ölçme yazılımı, bu akış diyagramından ve kontrol projesinden yararlanarak CODESYS-ST dilinde yazılmıştır.

Yazılımı başlatmak, su yükü ve hidrolik iletkenlik değerlerini gözlemek için bir arayüz oluşturulmuştur (Şekil 6). Arayüz üzerindeki "başla" butonuna basıldığında Şekil 5'de verilen akış diyagramında işlemleri gerçekleştirmektedir. Akış diyagramının ve yazılımın detayları aşağıda verilmiştir.

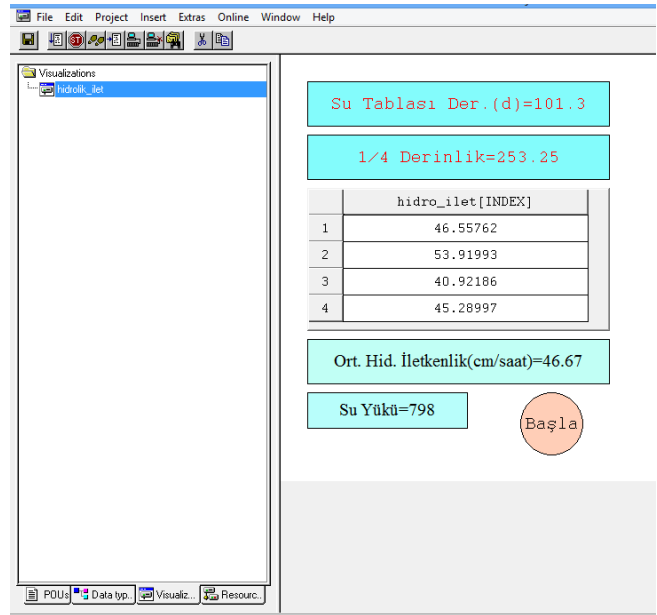
Akış diyagramında ifade edildiği gibi, PLC'ye önce basınç transduseri veri girişi sağlanmıştır. PLC, basınç transduserinden aldığı en düşük amper değerini (4 mA) 0, en yüksek amper değerini (20 mA) ise 27648 dijital değere çevirmektedir. lin\_trafo fonksiyon bloğu, basınç transduserinin ölçtüğü boru içerisindeki su yükü dijital değerlerini su yükü desimal değerlere dönüştürmüştür. Bundan sonra lin\_trafo fonksiyon bloğu çıkışı 0-4000 mm arasında değişecektir. Hidrolik iletkenlik ölçümlerinde lin\_trafo fonksiyon bloğunun çıkışı kullanılmıştır. Su yükü ölçümü milimetre biriminden cm birimine ve süre ise milisaniye biriminden saat birimine çevrilmiştir.



Şekil 4. Basınç transduseri ve motopomp kontrol projesi  
Figure 4. Pressure transducer and motor pump control project



Şekil 5. Toprak hidrolik iletkenliğini ölçen sistemin akış diyagramı  
Figure 5. Flow diagram of the system measuring soil hydraulic conductivity



Şekil 6. Hidrolik iletkenliği belirlenme sistemini kontrol eden arayüz  
Figure 6. Interface page controlling the hydraulic conductivity determination system

PLC'nin ölçtüğü borudaki su yükü değerleri kullanılarak, borudaki su yükü 20 cm seviyesine kadar boşaltılmıştır. Boruda boşalan su tekrar sabit bir seviyeye gelene kadar beklenmiştir. Bunun için iki değişken (m1 ve m2) tanımlanmış ve bu iki değişkenin birincisine su yükü atanmış ve ikincisine ise de 25 saniye sonra atanmıştır. Bu iki değişkene atanan su yükü değerleri 25 saniye içinde 1 cm'den küçük ise boru içerisindeki su yünün sabit seviyeye geldiği varsayılmıştır. Bu işlemde süre ölçümünde PLC'nin "tümer" dan yararlanılmıştır. Kör tapadan statik su seviyesine kadar su olan seviyesi Eşitlik 1'de verilen d olarak tanımlanmıştır. Su yükü ölçümlerine (y1, y2...), 20 cm'lik su seviyesinden itibaren başlanmıştır. Borudaki su seviyesi 20 cm su seviyesine kadar tahliye edilmiştir. Bundan sonra hidrolik iletkenlik ölçümleri ilk 1/4 bölümünde başlatılmıştır. Bu bölümde 20-25 (y1), 25-30 (y2),30-35 (y3) ve 35-40 (y4) cm'lik katmanlar sabit alınmış ve bu katmanların dolum süreleri PLC tarafından timer fonksiyon bloğunu kullanarak milisaniye olarak belirlenmiştir. Arka arkaya 4 hidrolik iletkenlik ölçümü alınmış ve bu ölçümler bir diziyeye atanmıştır. Diziyeye atanan bu 4 verinin ortalaması alınarak ortalama

hidrolik iletkenlik cm/saat olarak belirlenmiştir. Tarih, zaman, borudaki su yükleri, ölçüm süreleri, hidrolik ve ortalama hidrolik iletkenlik değerleri Şekil 2'de verilen SD karta kaydedilmifitir. Yukarıda verilen hidrolik iletkenlik ölçüm işlemi 3 farklı vana açıklığında yapılmıştır. Debiler, su deposu çıkış vanası tam, yarım ve üçte bir açılarak oluşturulmuştur. Hidrolik iletkenlik ölçümleri her bir debi için bir sayıcı (counter) aracılığı ile 15 kez tekrarlanmıştır. Hidrolik iletkenlik ölçümü, toplam (4×3×5) 180 adet yapılmıştır.

Elle ve PLC ile ölçülen boru içindeki su yükleri arasında regresyon analizi yapılmıştır. Diğer yandan boru içerisindeki elle ölçülen su yükünün PLC tarafından ölçülen su yükünden olan sapma miktarlarının bir ifadesi olan Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE:Mean Absolute Percentage Error, Lewis, 1982), Eşitlik 2'den hesaplanmıştır.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{|ESY_i - PLCSY_i|}{ESY_i} \times 100 \right) \quad (2)$$

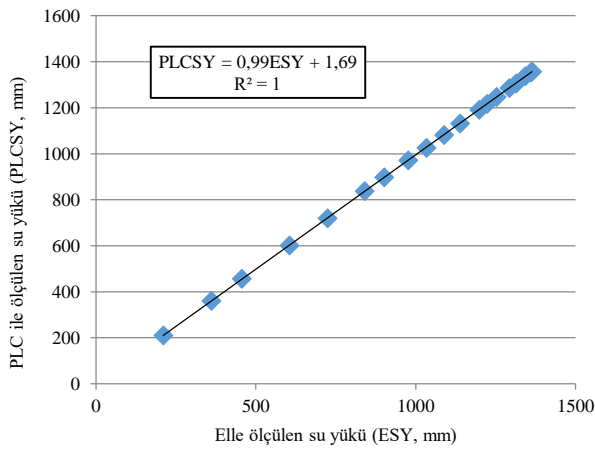
Eşitlikte;

ESY; elle ölçülen su yükü (mm), PLCSY; PLC ile ölçülen su yükü (mm), n; gözlem sayısıdır.

## Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, Programlanabilir Lojik Kontrol (PLC), basınç transduseri ve motopomp kullanarak bir boruda toprak hidrolik iletkenliğini ölçen sistem atölye koşullarında modellenmiştir.

Elle ve PLC ile ölçülen boru içindeki su yükleri arasında regresyon analizi sonucu Şekil 7’de verilmiştir. Bu iki değer kümesi arasında  $PLCSY = 0,99ESY + 1,69$  ( $R^2 = 1$ ) şeklinde bir eşitlik elde edilmiştir. Bu eşitliğin hem eğimi hem de y eksenini kesme değeri ile belirleme katsayısı 1’e yakındır. Ayrıca belirleme katsayısı  $R^2 = 1$  değeri, bağımlı değişken olan PLCSY değerlerinin %100’ünün bağımsız değişken olan ESY değerleri tarafından tahmin edildiğini göstermektedir. Otomatik olarak ölçülen A sınıfı kaptaki su seviyesi ve derinlik ölçerle ölçülen su seviyesi değerleri arasındaki regresyon belirleme katsayısı ( $R^2$ ) 0,992 olarak belirlenmiştir (Gençoğlan ve ark., 2021). Elle ve PLC ile ölçülen boru içindeki su yükleri arasındaki uyum düzeyi MAPE %0,41 olarak hesaplanmıştır. İki veri seti arasındaki uyum düzeyi; MAPE %10’un altında ise “çok iyi”, %10-20 arasında ise “iyi”, %20-50 arasında ise “kabul edilebilir”, %50’nin üzerinde ise “uyumsuz” olarak değerlendirilmiştir (Lewis, 1982). Hem  $R^2$  ve hem de MAPE, PLC kullanarak basınç transduseri ile boru içindeki su yükünün çok yüksek doğrulukla okunabileceğini göstermektedir. Karakoç (2019), PLC ve basınç transduseri kullanarak lizimetreden sızan suyu ölçmek için sayısal değerler ve su yükü arasında yapılan regresyon analizi sonucunda yüksek belirleme katsayısı ( $R^2=0,99$ ) bulunmuştur. Yürütülen diğer çalışmalarda su yükünün, basınç transduseri kullanılarak ölçülebileceği bildirilmiştir (Gençoğlan ve ark., 2013; Gençoğlan ve ark., 2015a; Gençoğlan ve Gençoğlan, 2016; Gençoğlan ve Tüysüz, 2018; Gençoğlan ve ark., 2021). PLC ile basınç transduseri kullanılarak hidrolik iletkenlik ölçümlerinde, önemli parametrelerden biri olan boru (burgu deliği) içerisindeki su seviyesinin doğru okunmasıdır. Yukarıda verilen çalışmaların sonuçları da PLC ile basınç transduseri kullanılarak boru (burgu deliği) içerisindeki su seviyesinin doğru okunduğunu göstermektedir.



Şekil 7. Elle ve PLC ile ölçülen boru içindeki su yükleri arasındaki ilişki

Figure 7. The relationship between the water heads in the pipe measured by manual and PLC

Hidrolik iletkenliği ölçen sistemin Şekil 6’da verilen arayüzünde “Başla” butonuna basılınca motopomp aktif etmiş ve boru içerisindeki suyu 20 cm’ye kadar boşaltmıştır. Boru içerisindeki su seviyesi, statik su seviyesine gelene kadar beklenmiştir. Bunun için her 25 saniyede bir  $m1-m2 \leq 1$  cm koşulu kontrol edilmiştir.  $m1-m2 \leq 1$  cm koşulu sağlandığında statik su seviyesine geldiği varsayılmıştır. Statik su seviyesine geldikten sonra yine motopomp aktif edilerek 20 cm su seviyesine kadar boşaltmıştır. İlk 1/4 bölümde (statik su seviyesi-20 cm) su yükünün 20’den 25’e, 25’den 30’a, 30’dan 35’e ve 35’den 40’a yükselmesi için geçen 4 adet süre (t) ölçülmüştür. Eşitlik 1’de verilen r, S, d, t, y1 ve y2 parametrelerine veriler atanmıştır. Her bir katman için bu değişkenleri kullanarak Eşitlik 1 aracılığı ile 4 katmanın hidrolik iletkenlik değerleri hesaplanmış ve bu hidrolik iletkenlik değerleri 4 elemanlı bir dizinin her elemanına atanmıştır. Sonunda da 4 hidrolik iletkenlik değerlerinin ortalamasını alarak ortalama hidrolik iletkenlik değeri hesaplanmıştır. Tarih, zaman ve hidrolik iletkenlik hesaplamasında kullanılan tüm değerleri bir SD karta kaydetmiştir. Hidrolik iletkenliği ölçüm sistemi başa dönmüş ve bu işlemleri 15 kez tekrarlayarak ortalama hidrolik iletkenlik değerleri hesaplanmıştır. Bu işlemler tamam otomatik olarak yapılmıştır.

Her bir hidrolik iletkenlik ölçüm süresi, vanaın tam açık olduğu 1. koşulda yaklaşık 5 dak., yarım açık olduğu 2. koşulda 6 dak. ve üçte bir açık olduğu 3. koşulda ise 8 dakika olarak belirlenmiştir. Timerı ve basınç transduserini kullanarak PLC tarafından 3 vana açıklığında 4 tekrarlamalı (ortalaması alınmış) 15 adet ölçülen d, t ve i değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Boru (burgu deliği) tabanından statik düzeyine uzaklık (d, cm) 1., 2. ve 3. vana açıklıklarında sırasıyla ortalama 122,83, 123,91 ve 123,7 cm olarak ölçülmüştür. PLC, d değerini biri birine çok yakın ölçmüştür. İlk çeyrek bölümde su yükünün 20’den 25’e, 25’den 30’a, 30’dan 35’e ve 35’den 40’a yükselmesi için geçen 4 adet süre (t) ölçülmüş ve bunların vana açıklıklarına göre ortalaması sırasıyla 4,4, 6,0 ve 26,1 sn olarak tespit edilmiştir. Hidrolik iletkenlik değerleri 1., 2., ve 3. vana açıklıklarında sırasıyla ortalama 18,6, 13,2 ve 3,1 cm/saat olarak hesaplanmıştır. Hidrolik iletkenlik, ilk çeyrek bölümün 20-25 cm’lik katmanında en büyük, son katmana (35-40 cm) doğru yükseldikçe azalmıştır. Her 3 vana açıklığında da aynı eğilim gözlenmiştir. Örneğin hidrolik iletkenlik azalımı 20-25, 25-30,30-35 ve 35-40 cm’lik katmanlarda 1. vana açıklığında sırasıyla 25,9, 20,7, 14,0 ve 12,1; 2. vana açıklığında sırasıyla 17,3, 13,8, 11,7 ve 10,1; 3. vana açıklığında sırasıyla 3,8, 3,2, 2,5 ve 2,2 şeklinde değerler hesaplanmıştır. Darcy yasasına göre, borudaki içindeki su seviye arttıkça hidrolik eğim azalmakta, buna bağlı olarak boruya giren suyun debisi azalmaktadır (Baver, 1966). Bu debi azalımı hidrolik iletkenliğin azalmasına neden olmaktadır. PLC otomasyon sistemi ile bulunan hidrolik iletkenlik değerleri toprağın gerçek hidrolik iletkenlik değerlerinden çok büyüktür. Ancak burgu deliği geçirimsiz tabakaya oturmadığı varsayılarak yazılan yazılımla, PLC, basınç transduseri ve motopomp kullanılarak burgu-deliği yöntemini tam uyguladığı belirlenmiştir.

Tarımsal alanların ıslah edilmesinde ve drenaj projelerinin hazırlanmasında en önemli verilerinden birisi olan hidrolik iletkenlik (Oğuzer ve ark., 1982) insan işgücüne gereksinim duyulmadan ekonomik ve doğru ölçülmesi çok önemlidir. Hidrolik iletkenlik ölçüm sistemi tüm bu gereksinimleri yerine getirdiği düşünülmektedir.

Bu sonuçlar, bu sistemin ümit var olduğunu göstermektedir. Bu sistem arazide açılacak burğu deliğine

kurulmalı ve hidrolik iletkenlik ölçüm değerleri alınmalıdır. Sistemin ölçüm yaptığı burğu deliklerinin hemen yanında açılacak burğu deliklerinden elle ölçümler yapılmalı ve hidrolik iletkenlik değerleri hesaplanmalıdır. Elle ölçülen hidrolik iletkenlik değerleri ile sistemin ölçtüğü hidrolik iletkenlik değerleri arasından istatistiksel anlamda fark yoksa bu sistem önerilmelidir.

Çizelge 1. Üç farklı vana açıklığında yapılan hidrolik iletkenlik ölçümleri

Table 1. Hydraulic conductivity measurements at three different valve openings

	Vana tam açık			Vana yarım açık			Vana üçte bir açık		
	d (cm)	t (sn)	i(cm/saat)	d (cm)	t (sn)	i(cm/saat)	d (cm)	t (sn)	i(cm/saat)
	118,1	4,5	18,2	115,1	6	13,2	127	24,0	3,3
	121,3	4,25	18,9	116,8	6	13,2	127,8	24,3	3,3
	121,3	4,5	17,6	127,1	6	13,2	126,4	25,0	3,2
	119,9	4,5	18,2	125,5	6	13,2	125,1	25,5	3,1
	127,5	4,25	19,0	126,8	6	13,2	125,7	25,5	3,1
	124,7	4,5	18,2	125,7	6	13,2	123,8	26,3	3,0
	120,4	4,25	18,9	125,2	6	13,2	122	26,0	3,0
	123,5	4,5	17,6	125,4	6	13,2	123,9	26,0	3,1
	127,1	4	19,8	123,6	6	13,2	124,8	26,3	3,0
	124,9	4	19,8	123,9	6	13,2	123,5	26,8	3,0
	123,3	4,25	19,1	122,6	6	13,2	123	27,8	2,9
	125,4	4,5	18,2	125,2	6	13,2	124,2	26,8	3,0
	118,3	4,25	19,0	124,3	6	13,2	119,7	27,0	2,9
	123,5	4,75	17,1	126,7	6	13,2	117,8	26,8	3,0
	123,2	4,25	19,1	124,7	5,75	13,7	120,4	28,0	2,9
En düşük	118,1	4	17,1	115,1	5,75	13,2	117,8	24,0	2,9
En yüksek	127,5	4,75	19,8	127,1	6	13,7	127,8	28,0	3,3
Ortalama	122,8	4,4	18,6	123,9	6,0	13,2	123,7	26,1	3,1

## Sonuç ve Öneriler

Hidrolik iletkenliği ölçüm sistemi, PLC ile basınç transduseri kullanılarak boru (burğu deliği) içerisindeki su seviyesinin doğru okunduğu belirlenmiştir. Bu sistemin akış diyagramı, burğu-deligi yöntemine göre hazırlanmıştır. Sistem, basınç transduserini, timeri ve motopompu akış diyagramında verilen ilkelere göre kontrol etmiş ve hidrolik iletkenliği hesaplamıştır. Elde edilen veriler bir SD karta kaydedilmiştir. Bu işlemlerin tamamı otomatik olarak yapılmıştır. Bu sistemin, hidrolik iletkenliği arazi koşullarında doğru, ekonomik ve hızlı ölçeceği beklentisi vardır.

Arazi koşullarında bu sistemin ölçtüğü hidrolik iletkenlik değerleri ile elle ölçülen hidrolik iletkenlik değerleri karşılaştırılmalı ve değerler arasında fark yoksa bu sistem önerilmelidir.

## Kaynaklar

- Bahçeci İ. 2008. Drenaj Mühendisliği Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü 2008/1 340s. Şanlıurfa.
- Berkman İ. 1968. Toprak Fiziği Ders Notları. Atatürk Üniversitesi Yayınları. Erzurum 114 s.
- Baver I D. 1966. Soil Physics. John Wily & Sons. Inc., USA 489 s.
- Gemalmaz E. 1993. Drenaj Mühendisliği I. Cilt Atatürk Üniversitesi Yayınları No:746, Ziraat Fakültesi No:317, Ders Kitapları Serisi No:68. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, Erzurum.

- Gençoğlan C, Gençoğlan S, Küçüktopcu E, Uçak AB, Kırac AM. 2013. Ultrasonik Algılayıcı Kullanarak A Sınıfı Buharlaştırma Kabındaki Su Yüksekliğinin Ölçülmesi III. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, s:391-398, 22-24 Ekim 2013, Tokat.
- Gençoğlan C, Çatalkaya V. 2014. Şanlıurfa Harran Ovası VI. Kısım Kapalı Drenaj Sistemi Etkinliğinin Belirlenmesi. 12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu. 21-23 Mayıs 2014, Tekirdağ.
- Gençoğlan C, Gençoğlan S, Başpınar A, Uçak AB. 2015a. Programlanabilir Kontrol Cihazı (PLC)'nin Sulama Otomasyonunda Kullanımı. 2. İç Anadolu Bölgesi Tarım ve Gıda Kongresi, s:676, 28-30 Nisan 2015, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Nevşehir.
- Gençoğlan C, Gençoğlan S. 2015b Basınç Transduseri ve Programlanabilir Lojik Kontrol (PLC) Kullanarak Buharlaştırma Kabındaki Su Yüksekliğinin Ölçülmesi ve Elle Ölçülen Değerlerle Karşılaştırılması. 1. Biyosistem Mühendisliği Kongresi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü 9-11 Haziran 2015 Bursa-Türkiye.
- Gençoğlan C, Gençoğlan S. 2016. Basınç transduseri ve programlanabilir lojik kontrol (PLC) kullanarak buharlaştırma kabındaki su yüksekliğinin ölçülmesi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 30(2): 35-43.
- Gençoğlan C, Tüysüz MD. 2018. Using Programmable Logic Control (PLC), Flow Key Curve, pressure and Ultrasonic sensors to measure water flow in open channel. (In Edi: Binici, T., Sakin, E., Çopur, O., Özbakır, G.Ö., Odabaşoğlu, İ., Şimşek E.), 1st International GAP Agriculture and Livestock Congress Proceedings Book, 25-27 April 2018 Şanlıurfa-Turkey.

- Gençoğlan C, Gençoğlan S, Usta S. 2021. Designing Class A Pan Automation System (CAPAS) Based on Programmable Logic Control (PLC) And Testing. Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University. 38(1) 1-10.
- Gündoğdu KS. 1988. Doygun koşullarda hidrolik iletkenlik belirleme yöntemlerinin karşılaştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü Kültürteknik Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Güngör Y, Erözel Z. 1994. Drenaj ve Arazi Islahı. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Ankara.
- Hillel D. 1980. Fundamentals of Soil Physic. Academic Press, USA.
- Karakoç A. 2019. Programlanabilir Lojik Kontrol (Plc) Kullanarak Tartılı Lizimetrenin Kontrolü Ve Ceviz Su Tüketiminin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı , Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- Lewis CD. 1982. Industrial and business forecasting methods: A practical guide to exponential smoothing and curve fitting. Butterworths Scientific. ISBN: 978-0-408-00559-3, London, England, 144s.
- Van Beers WFJ. 1983. The auger hole method. International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI, P.O. Box 45,6700 AA Wageningen, The Netherlands.