



## Programlanabilir lojik kontrolör (PLC) tarafından yönetilen bir tartılı lizimetre sisteminin geliştirilmesi

### Development of a weighting lysimeter system operated by a programmable logic controller (PLC)

Cafer GENÇOĞLAN<sup>1</sup>, Selçuk USTA<sup>2</sup>, Serpil GENÇOĞLAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 46040, Kahramanmaraş

<sup>2</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 65090, Van

Sorumlu yazar (*Corresponding author*): S. Usta, e-posta (*e-mail*): susta@yyu.edu.tr

Yazar(lar) e-posta (*Author e-mail*): gencoglan@ksu.edu.tr, sgencoglan@ksu.edu.tr

#### MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi 30 Aralık 2019  
Düzeltilme tarihi 28 Ocak 2020  
Kabul tarihi 05 Şubat 2020

#### Anahtar Kelimeler:

CODESYS  
Evapotranspirasyon  
PLC  
Tartılı lizimetre

#### ÖZ

Bu çalışmada; PLC tarafından kontrol edilebilen bir tartılı lizimetre sistemi geliştirilerek, Kahramanmaraş koşullarında Maraş 18 tipi ceviz bitkisi üzerinde test edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle 3 mm kalınlıklı paslanmaz çelik sac kullanılarak bir lizimetre tankı oluşturulmuştur. Lizimetre tankı 113 cm çapında ve 130 cm derinliğinde olup, 1.5x1.5 m boyutlarındaki bir elektronik kantarın üzerine yerleştirilmiştir. Kantar 5 ton kapasiteli olup, 4 adet yük algılayıcısına ve RS 232 çıkışa sahiptir. Lizimetre tankına yağışla giren su miktarını ve drenaj yoluyla çıkan su miktarını ölçmek amacıyla iki adet plüviyometre kullanılmıştır. Lizimetre tankının altına Ø 25 çaplı bir çıkış koyularak, drenajla çıkan su aynı çaptaki bir boru ile plüviyometreye aktarılmıştır. Günlük evapotranspirasyon miktarının belirlenmesinde su bütçesi eşitliği kullanılmıştır. Sulama sistemi, kantar ve plüviyometreler PLC tarafından kontrol edilmiştir. Bu doğrultuda CODESYS programlama dili kullanılarak lizimetre, yağış ölçümü, drenaj ölçümü ve sulama programları hazırlanmış ve PLC'ye yüklenmiştir. Lizimetre sistemi kullanılarak; ceviz bitkisinin 2018 yılı Haziran-Ekim dönemi boyunca toplam evapotranspirasyon miktarının 261 mm olduğu, günlük evapotranspirasyon miktarının ise 1.25-3.5 mm gün<sup>-1</sup> arasında değiştiği belirlenmiştir.

#### ARTICLE INFO

Received 30 December 2019  
Received in revised form 28 January 2020  
Accepted 05 February 2020

#### Keywords:

CODESYS  
Evapotranspiration  
PLC  
Weighting lysimeter

#### ABSTRACT

In this study; it is aimed to develop a weighting lysimeter system that can be controlled by PLC and tested on Maraş 18 type walnut crop in Kahramanmaraş conditions. For this purpose, a lysimeter tank was formed using 3 mm thick stainless steel sheet. The lysimeter tank has a diameter of 113 cm and a deep of 130 cm and was placed on an electronic weighbridge that 1.5x1.5 m surface dimensions. The weighbridge has 5 tons capacity, 4 load sensors and RS 232 output. Two pluviometers were used to measure the amount of water entering the lysimeter tank by precipitation and the amount of water exiting of the tank through drainage. An outlet with a diameter of Ø 25 was placed under the lysimeter tank and the water exiting of the drainage was transferred to the pluviometer by a pipe of the same diameter. Water budget equality was used to determine the amount of daily evapotranspiration. Weighbridge, pluviometers and irrigation system were controlled by PLC. In this direction, lysimeter, precipitation measurement, drainage measurement and irrigation programs have been prepared by using CODESYS programming language and loaded to PLC. With weighting lysimeter system; the total amount of evapotranspiration of walnut crop was determined 261 mm and the amount of daily evapotranspiration between 1.25-3.5 mm day<sup>-1</sup> during the June-October period of 2018.

## 1. Giriş

Bitki-toprak sistemine sulama ve yağışla giren su sırasıyla yüzey akış, derine sızma, toprak yüzeyinden buharlaşma (Evaporasyon) ve bitki yüzeyinden terleme (Transpirasyon) ile kayıplara uğramaktadır. Buharlaşma ve terleme kayıplarının toplamı bitki su tüketimi (Evapotranspirasyon-ET<sub>c</sub>) olarak adlandırılmaktadır. ET<sub>c</sub> bitki, toprak ve iklim özelliklerine bağlı çok sayıda etmenin etkisiyle gerçekleştiğinden dolayı doğadaki en karmaşık olaylardan birisi olarak kabul edilmektedir (Kamber 2006). ET<sub>c</sub> lizimetre sistemleri ile doğrudan ölçülebildiği gibi bitki, toprak ve iklim özelliklerine bağlı olarak geliştirilen çeşitli ampirik yöntemler ile tahmin edilebilmektedir.

Sulama sistemlerinin projelendirilmesinde dikkate alınan temel veri, bu sistemlerin kurulacağı bölgede yetiştirilen bitkilerin ET<sub>c</sub> miktarlarıdır. Bu miktarların tahmin edilmesinde kullanılan ampirik yöntemlerin güvenilirlikleri, yöreden yöreye hatta aynı yörede yetiştirilen çeşitli bitkiler için farklılıklar gösterebilmektedir. Yöre ve arazi koşullarına uygun olarak oluşturulan ve işletilen lizimetre sistemleri ile gerçeğe en yakın ET<sub>c</sub> miktarları elde edilebilmektedir (Doorenbos ve Pruitt 1977).

Bitki-toprak sistemine yağış ve sulama ile giren, drenaj ve evapotranspirasyon ile çıkan su miktarlarını belirlemek amacıyla, bitki-toprak sisteminin bir bölümü çevresinden izole edilerek sisteme giren ve çıkan su miktarları ölçülebilmektedir. Bu amaçla oluşturulan düzeneklere lizimetre adı verilmektedir. Lizimetre tankı içerisindeki bitki-toprak sistemine yağış ve sulama suyu ile giren su miktarları ve drenajla çıkan su miktarı ölçüldükten sonra, bir boyutlu su bütçesi eşitliği kullanılarak evapotranspirasyon (ET<sub>c</sub>) miktarı belirlenebilmektedir (Aydınsakir ve Büyüktaş 2014).

Lizimetre sistemleri, tartılan ve tartılamayan olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Tartılı lizimetre sistemlerinde, lizimetre tankı ikinci ve daha büyük bir tankın içerisine yerleştirilerek, tartım için serbestçe hareket etmesi sağlanmaktadır. Belirli zaman aralıklarıyla ölçülen lizimetre tankı ağırlıkları arasındaki farklar, toprak suyu içeriğindeki değişimi yani evapotranspirasyon (ET<sub>c</sub>) miktarını büyük bir doğrulukla vermektedir. Ancak, evapotranspirasyon miktarlarının yağış, sulama ve drenaj miktarları göz önünde bulundurularak bir boyutlu su dengesi eşitliği ile kontrol edilmesi gerekmektedir. Tartılamayan lizimetre sistemleri, toprak içerisine yerleştirilen su geçirmez madeni veya beton havuzlar şeklinde oluşturulmaktadır. Bu lizimetre tipinde toprak suyu içeriğindeki değişim direkt olarak ölçülememektedir. Gravimetrik örnekleme, matrik potansiyelin ölçümü, elektriksel direnç ve nötron saçılma yöntemlerinden birisi kullanılarak toprak suyu içeriğindeki değişimin belirlenmesi gerektiğinden dolayı, bu tip lizimetrelere evapotranspirasyon miktarının belirlenmesinde çok fazla tercih edilmemektedirler (Aboukhaled ve ark. 1982; Gençoğlan ve ark. 2019).

Tartılı lizimetre sistemleri daha çok evapotranspirasyon miktarının ölçülmesi ve yağış etkinliğinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca evapotranspirasyon miktarının tahmin edilmesinde kullanılan ampirik yöntemlerin yöre ve arazi koşullarına uygun olarak kalibrasyonlarının yapılmasında tartılı lizimetre sistemlerinden faydalanılmaktadır. Aboukhaled ve ark. (1982), Aydınsakir ve ark. (2003), Benli ve ark. (2006), Ünlü ve ark. (2010), Akpolat (2011), Nur (2019) ve Yıldız (2019) farklı bitki, iklim ve arazi koşullarında ET<sub>c</sub> miktarlarını belirlemek, mikrometeorolojik yöntemler ve lizimetre sistemleri ile belirlenen ET<sub>c</sub> miktarlarını karşılaştırmak ve ET<sub>c</sub> tahmininde

kullanılan çeşitli ampirik yöntemleri kalibre etmek amacıyla yaptıkları çalışmalarda tartılı lizimetre sistemlerini kullanmışlardır. Bu çalışmaların çoğunda insan gücüne dayalı manuel tartılı lizimetre sistemleri kullanılmıştır. Bu tür lizimetre sistemlerinde yağış ve drenaj miktarlarının günlük olarak ölçülmesi, topraktaki su içeriği değişimine bağlı olarak saatlik ve günlük lizimetre tankı ağırlıklarının belirlenmesi ve ayrıca lizimetre tankındaki bitkiye belirli aralıklarla sulama suyunun verilmesi işlemleri ekstra zaman ve işgücü kullanımı gerektirmektedir. Belirtilen bu ölçme ve kontrol işlemlerinin yapılmasında otomasyon sistemleri kullanılarak, zaman ve iş gücünden tasarruf edilebilmekte ve ölçme işlemlerinin hassasiyeti artırılabilir. Bu nedenlerden dolayı, yerli imkânlar kullanılarak otomasyon kontrollü tartılı lizimetre sistemlerinin geliştirilmesine ve kullanımlarının yaygınlaştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

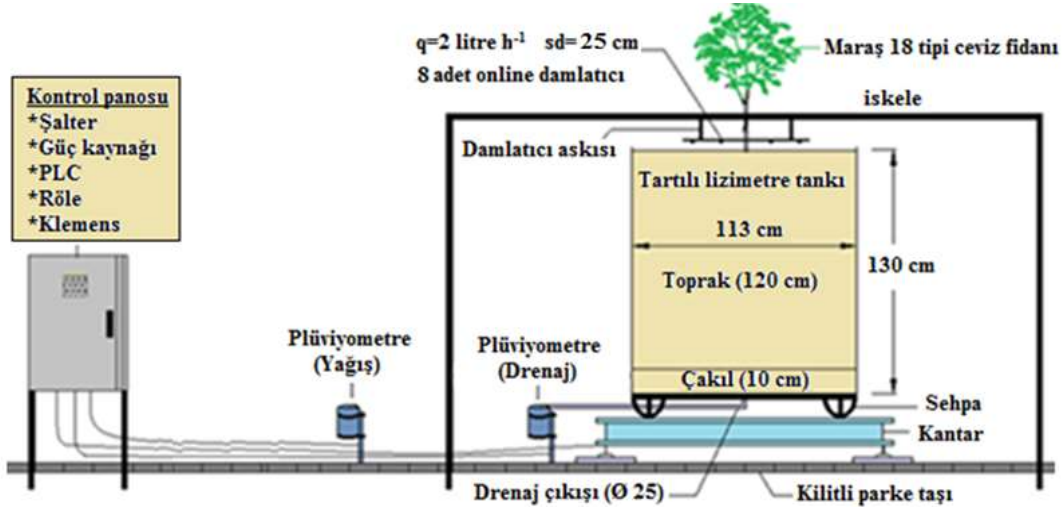
Bu çalışmada; günlük yağış ve drenaj miktarlarını plüviyometrelere, lizimetre ağırlıklarını ise elektronik kantara ölçtürerek kaydeden; bu verileri kullanarak lizimetre tankında bulunan Maraş 18 tipi ceviz bitkisinin günlük evapotranspirasyon miktarlarını ve sulama suyu ihtiyacını hesaplayan ve kaydeden; sulama zamanını belirleyerek sulamayı otomatik olarak başlatan ve suyun tamamı bitkiye verildiğinde otomatik olarak bitiren; PLC tabanlı otomasyon sistemi tarafından kontrol edilen bir tartılı lizimetre sisteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Uygulama Bahçelerinde oluşturulan deneme alanında, 2018 yılının Haziran-Ekim dönemi boyunca yürütülmüştür. Çalışma kapsamında öncelikli olarak tartılı lizimetre tankı, elektronik kantar, plüviyometreler, damla sulama sistemi ve kontrol panosu kısımlarının bir araya getirilmesi ile Şekil 1'de verilen PLC kontrollü tartılı lizimetre sistemi oluşturulmuştur. Tartılı lizimetre tankı 3 mm kalınlığa sahip paslanmaz çelik saçtan imal edilmiştir. Toprak yüzeyi alanının 1 m<sup>2</sup> olabilmesi için çapı 113 cm ve ceviz bitkisinin ortalama etkili kök derinliği dikkate alınarak derinliği 130 cm olarak tasarlanmıştır. Tartılı lizimetre sistemi toprak dışında tesis edildiğinden dolayı, çevresi cam yünü ile kaplanarak hava akımı ve güneş enerjisinin etkisi azaltılmıştır.

Lizimetre tankı, 1.5x1.5 m yüzey boyutlarında, ±200 g hassasiyetle ölçüm yapabilen, 5 ton kapasiteli, 4 adet yük algılayıcısına (load cell) ve dönüştürücü karta sahip RS 232 çıkışlı bir elektronik kantarın üzerine oturtulmuştur. Kantar, bir su düzenci aracılığı ile tesviye edilmiştir. Lizimetre tankından drenajla süzülen su miktarını ölçmek için devrilen kovalı plüviyometre kullanılmıştır. Tankın altına Ø 25 çıkış verilerle, bir boru ile plüviyometreye bağlanmıştır. Drenajla süzülen su miktarını ölçen plüviyometrenin üzeri kapatılarak, yağışla su girişi önlenmiştir. Yağışı ölçmek için başka bir devrilen kovalı plüviyometre kullanılmıştır. Plüviyometrelerin ağız çapları 160 mm, yüzey alanları 20096 mm<sup>2</sup> ve kova hacimleri 4448 mm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir.

Yağış ve sulama suyu ile tanka giren suyun drenajını kolaylaştırmak amacıyla, tankın en alt kısmına 10 cm yüksekliğinde çakıl serilmiştir. Çakılın üzerine paslanmaz krom nikel kaplı 0.5 cm gözenekli elek filtre yerleştirilerek, geriye kalan 120 cm yüksekliğindeki kısım toprakla doldurulmuş ve Maraş 18 tipi ceviz fidanı dikilmiştir. Tartılı lizimetre tankına doldurulacak toprağı temin etmek amacıyla, sistemin kurulduğu



Şekil 1. PLC kontrollü tartılı lizimetre sistemi.

Figure 1. PLC controlled weighting lysimeter system.

alana yakın bir yerde, 1 m<sup>2</sup> yüzey alanı altında 120 cm derinliğindeki toprak profili 10 cm yüksekliğinde tabakalar halinde kazılarak etiketli torbalara doldurulmuştur. Alınan bu topraklar aynı katman sırasına göre, sıkıştırılarak lizimetre tankına doldurulmuştur.

Tartılı lizimetre tankına dikilen ceviz bitkisinin sulanmasında şebeke suyu kullanılmıştır. Ø 32 çaplı PE boru ile şebekeden alınan sulama suyu sırasıyla küresel vana, solenoid vana ve dijital su sayacından geçirilerek, Ø 20 çaplı kangal boru ile oluşturulan damla sulama sistemi aracılığı ile lizimetre tankındaki ceviz bitkisine verilmiştir. Damlatıcı debileri 2 l h<sup>-1</sup> olan sekiz adet online damlatıcı 25 cm ara mesafe ile dairesel olarak ceviz bitkisinin etrafına yerleştirilmiştir. Sulama sistemi bir iskele vasıtasıyla lizimetre tankındaki ceviz bitkisine ulaştırılmıştır.

Solenoid vana paslanmaz çelikten imal edilmiş olup, 0.5 inç çaplı ve BSP dişi bağlantılıdır. Debi faktörü (K<sub>v</sub>) 3.9 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, maksimum çalışma basıncı 10 bar ve çalışma sıcaklığı -10°C ile +100°C aralığındadır. Dijital su sayacı reed sensor okumalı olup, minimum debisi 0.025 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, aşırı yük debisi 3.125 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, geçiş akışı hız debisi 0.04 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, ilk akış hız debisi 0.005 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, kalıcı akış hız debisi 2.5 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, maksimum çalışma sıcaklığı 50°C, nominal çapı 0.5 inç, maksimum çalışma basıncı 16 bar'dır. Su sayacının girişine 24 VDC gerilim uygulanarak, çıkışından 24 VDC gerilim alınmıştır.

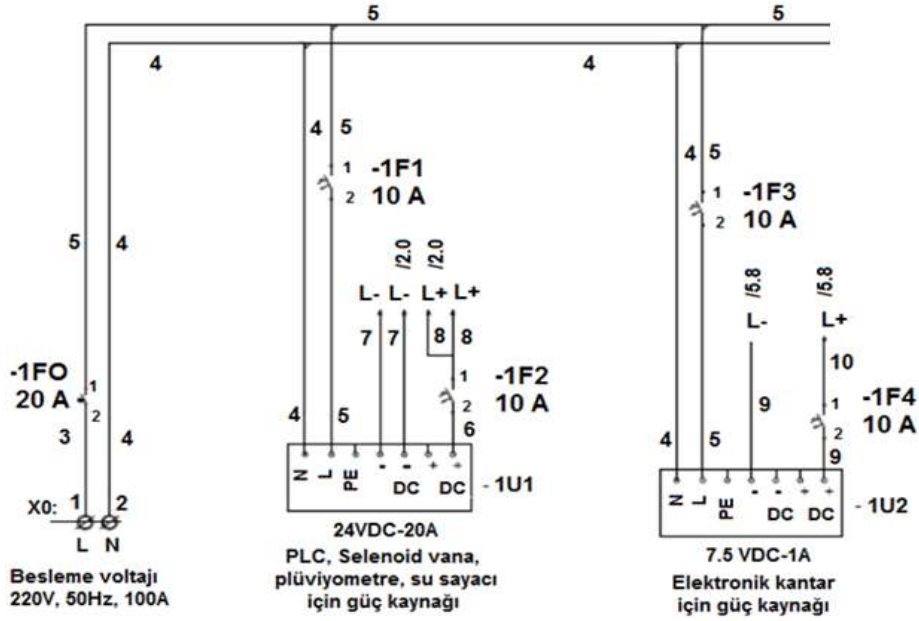
Tartılı lizimetre otomasyon sisteminde merkezi işlem birimi (CPU) olarak PLC cihazı kullanılmıştır. PLC; çeşitli amaçlar doğrultusunda CODESYS dilinde hazırlanan programların yüklendiği, çeşitli cihaz ve sistemlerin kontrol edilmesini sağlayan bir otomasyon cihazıdır. Bu çalışmada kullanılan PLC; 128 KB program hafızasına, ethernet modülüne, hızlı sayıcı modüle, sinyal genişlik modülüne (PWM), 8 dijital girişe (DI), 6 dijital çıkışa (DO), 2 analog girişe (AI), 1 analog çıkışa (AO), gerçek zamanlı saat (RTC) ve SD modüle sahiptir. Girişi 24 VDC ve çıkışı 0.5 A olup, 4-20 mA arasında değişen akıma karşılık 1-27648 arasında sayısal değerler üretmektedir. Dış ortam çalışma sıcaklığı 0-60°C aralığındadır (ABB 2017). Ölçüm sonuçları 2 GB hafızalı SD karta kaydedilmiştir. Otomasyon sistemi kontrol panosu; PLC (CPU.1), iki adet güç kaynağı (1U1, 1U2), beş adet otomatik sigorta (1F0, 1F1, 1F2, 1F3, 1F4), bir adet röle (2R1), RS 232 çıkışlı elektronik kantar paneli ve üç adet klemens grubundan oluşturulmuştur. Pano ana girişi ve güç kaynakları projesi Şekil 2'de verilmiştir.

PLC'nin lizimetre sistemine yağış ve sulama ile giren su miktarlarını ve drenajla çıkan su miktarını ölçebilmesi; bu doğrultuda plüviyometre, elektronik kantar ve dijital su sayacı okumalarını yapabilmesi; solenoid vanayı kontrol ederek sulamayı otomatik olarak başlatıp bitirebilmesi amacıyla bir kontrol projesi hazırlanmıştır. Şekil 3'de verilen bu projede, su sayacı ve plüviyometrelerin girişlerine sırasıyla X11, X13 ve X15 klemens bağlantıları üzerinden 24 VDC akım uygulanarak, bu üç elemanın çıkışları sırasıyla X12, X14 ve X16 klemens bağlantıları üzerinden PLC'nin DI0, DI1 ve DI2 girişlerine bağlanmıştır. Solenoid vananın kontrol edilmesinde 24 VDC gerilim ve 5 A akıma sahip ray tipi röle (2.R1) kullanılmıştır. PLC'nin NQ0 çıkışı rölenin A1 ucuna, ortak ucu (com) ise rölenin A2 ucuna bağlanmıştır. PLC ile elektronik kantarın haberleştirilmesinde D-9 pin konektörü kullanılmıştır. Kantar RS 232 protokolü vasıtasıyla COM1 portu üzerinden PLC'ye bağlanmıştır.

Tartılı lizimetre sisteminin kontrol panosu Şekil 2 ve Şekil 3'de verilen projeler doğrultusunda oluşturulduktan sonra CODESYS dilinde lizimetre, sulama, yağış, drenaj ve SD kart veri yazdırma programları hazırlanarak PLC'ye yüklenmiştir. Lizimetre programı ilk olarak bir günlük dönemin başındaki lizimetre ağırlığını (LZM\_1) tartmıştır. Daha sonra bir günlük süre boyunca yağış (P) ve sulama (I) ile lizimetreye giren su miktarlarını ve drenajla lizimetreden çıkan su miktarını (D<sub>p</sub>) belirleyerek, bir günlük dönemin sonundaki lizimetre ağırlığını (LZM\_2) tartmıştır. Program, bu değişkenleri Eşitlik 1 ile verilen bir boyutlu su dengesi eşitliğinde yerine yazarak milimetre cinsinden günlük evapotranspirasyon (gun\_ET) miktarını belirlemiştir (Young ve ark. 1996). Bir günlük süre boyunca yağış gerçekleşmediyse, sulama yapılmadıysa ve drenajla su çıkışı olmadıysa bu değişkenler sıfır olarak kaydedilmiştir. Bir sulama döngüsü iki sulama arasındaki dönem olarak tanımlanmıştır. Lizimetre programı Eşitlik 2'yi kullanarak bir sulama döngüsünde gerçekleşen toplam evapotranspirasyon miktarını (t\_ET) milimetre cinsinden belirlemiştir.

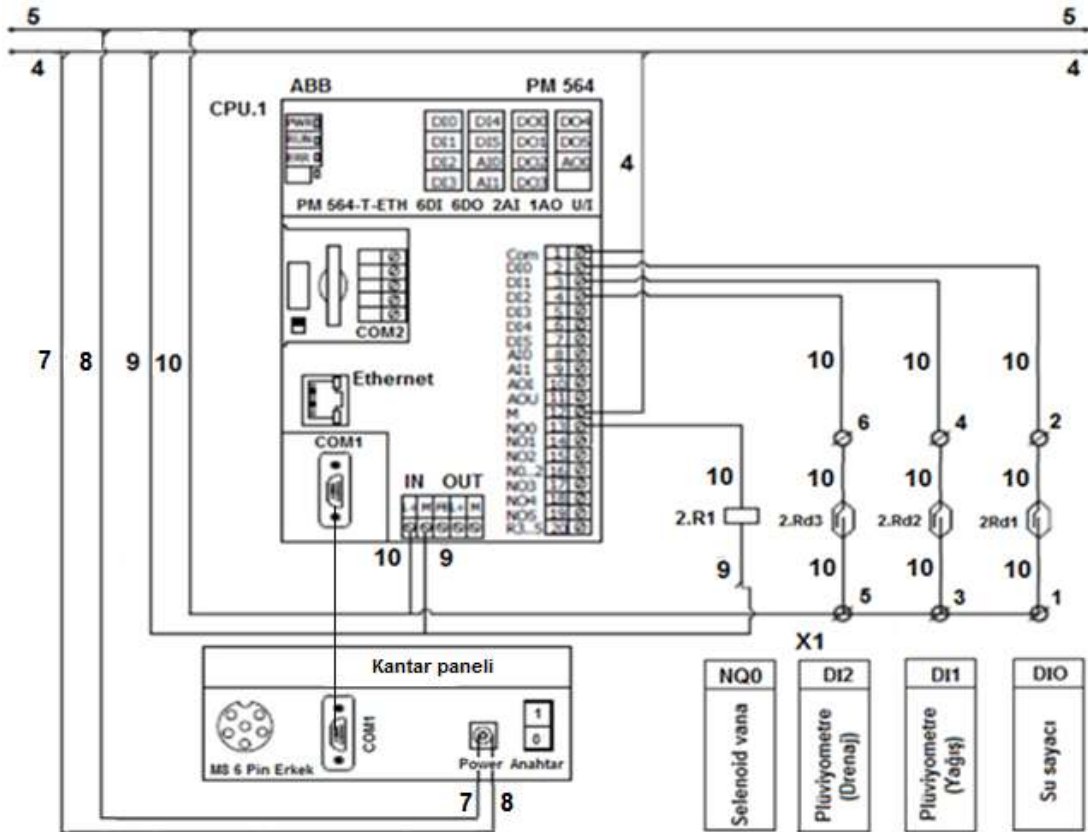
$$\text{gun\_ET} = \text{LZM}_1 + \text{P} + \text{I} - \text{D}_p - \text{LZM}_2 \quad (1)$$

$$t\_ET = \sum \text{gun\_ET} \quad (2)$$



Şekil 2. Pano ana girişi ve güç kaynakları projesi.

Figure 2. Panel main entrance and power supplies project.



Şekil 3. Kantar, pluviometreler, selenoid vana ve dijital su sayacı kontrol projesi.

Figure 3. Weighbridge, pluviometers, solenoid valve and water meter control project.

Sulama zamanı; bir sulama döngüsünde gerçekleşen  $t_{ET}$  miktarının 20 mm'ye eşit veya daha büyük olduğu gün olarak belirlenmiştir ( $t_{ET} \geq 20$  mm). Bu miktarın belirlenmesinde güvenilir kaynaklardan elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu doğrultuda ceviz bitkisinin ortalama günlük evapotranspirasyon

miktarı 3-4 mm, ortalama sulama aralığı ise 4-5 gün kabul edilmiş ve bir sulama döngüsünde gerçekleşebilecek ortalama toplam su tüketimi  $4 \times 5 = 20$  mm olarak belirlenmiştir (Hu ve ark. 2010; Akın 2016; TAGEM 2016). Bu değer, sulamayı başlatan etmen (starter) olarak dikkate alınmıştır. Sıcaklığın

yüksek olduğu günlerde cevizin su stresi yaşamaması için, bir sulama döngüsünde gerçekleşen  $t_{ET}$  miktarının %120'si alınmış ve bu miktar sulama suyu ( $S_{lm\_mkt}$ ) olarak lizimetre tankı toprak yüzeyi alanına (A) uygulanmıştır (Eşitlik 3).  $t_{ET} \geq 20$  mm olduğunda selenoid vana açılarak sulama başlatılmış ve su sayacından geçirilen su miktarı ( $su\_say$ ) sulama suyu miktarına ( $S_{lm\_mkt}$ ) eşit olduğunda selenoid vana kapatılarak sulama bitirilmiştir.

$$S_{lm\_mkt} = 1.2 * t_{ET} * A \quad (3)$$

Günlük yağış ve drenajla süzülen su miktarlarını ölçmek amacıyla kullanılan plüviyometreleri kontrol etmek için yağış ve drenaj ölçümü programları hazırlanmıştır. Yağış ölçümü programı, yağışla dolup boşalan kova sayısını ( $yağis$ ) kova hacmi ( $birim\_hacim$ ) ile çarpmış ve plüviyometre yüzey alanına ( $pluviyometre\_alani$ ) bölerek milimetre cinsinden günlük yağış ( $g\_yağis$ ) miktarını belirlemiştir (Eşitlik 4). Drenaj ölçümü programı, drenajla dolup boşalan kova sayısını ( $drenaj$ ) kova hacmi ( $birim\_hacim$ ) ile çarpmış ve lizimetre tankı yüzey alanına ( $LZM\_tank\_alani$ ) bölerek milimetre cinsinden günlük drenaj ( $g\_drenaj$ ) miktarını belirlemiştir (Eşitlik 5).

$$g\_yağis = (yağis) * (birim\_hacim) * (pluviyometre\_alani)^{-1} \quad (4)$$

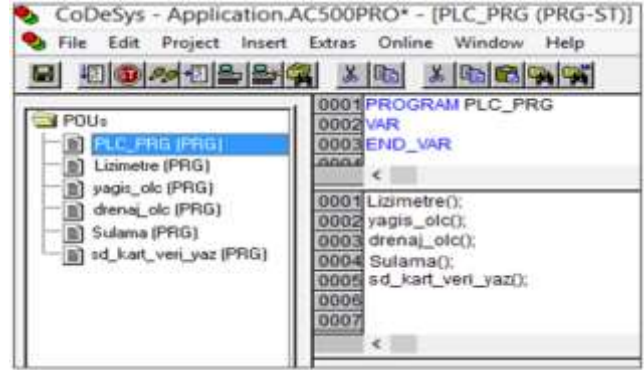
$$g\_drenaj = (drenaj) * (birim\_hacim) * (LZM\_tank\_alani)^{-1} \quad (5)$$

### 3. Bulgular ve Tartışma

Lizimetre tankı ağırlığını okuyan, plüviyometreler aracılığıyla günlük yağış ( $g\_yağis$ ) ve drenajla süzülen su miktarını ( $g\_drenaj$ ) ölçen, bu parametrelere bağlı olarak günlük evapotranspirasyon ( $gun\_ET$ ) ve bir sulama döngüsünde gerçekleşen toplam evapotranspirasyon ( $t_{ET}$ ) miktarlarını belirleyen,  $t_{ET} > 20$  mm olduğunda sulama suyu miktarını ( $S_{lm\_mkt}$ ) hesaplayarak sulamayı başlatan, bu doğrultuda selenoid vanayı, dijital su sayacını ve damla sulama sistemini kontrol eden, sulama suyunun tamamı bitkiye verildiğinde

selenoid vanayı kapatarak sulamayı sonlandıran PLC kontrollü bir tartılı lizimetre sistemi geliştirilmiştir (Şekil 4).

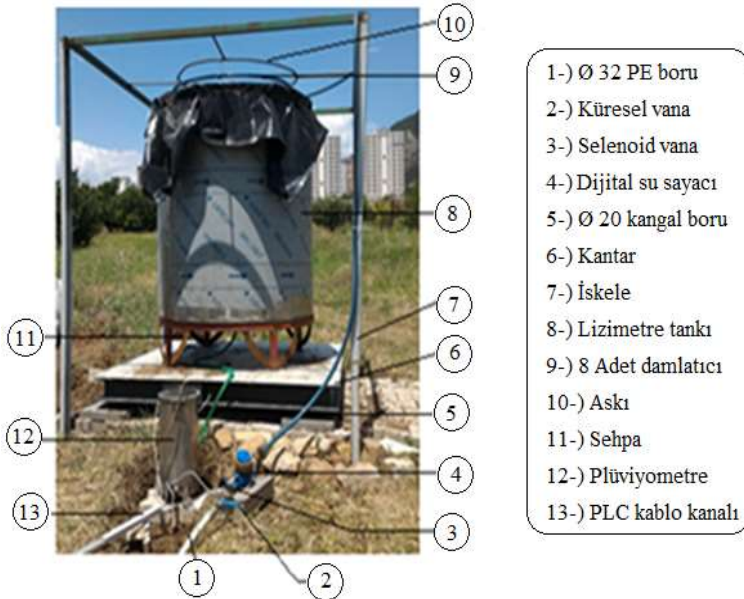
Tartılı lizimetrenin kontrol edilmesini sağlayan otomasyon sistemi için Program Organizasyon Birimi (POU) altında bir PLC programı (PLC\_PRG) oluşturulmuş ve bu programa ek olarak sırasıyla; Lizimetre [PRG], yağis\_olc [PRG], drenaj\_olc [PRG], Sulama [PRG], ve sd\_kart\_veri\_yaz [PRG] programları hazırlanmıştır. Şekil 5'de verilen CODESYS arayüzü vasıtasıyla programlar birlikte çalıştırılmıştır.



Şekil 5. Tartılı lizimetre otomasyonu programları ve CODESYS arayüzü.

Figure 5. Weighting lysimeter automation programs and CODESYS interface.

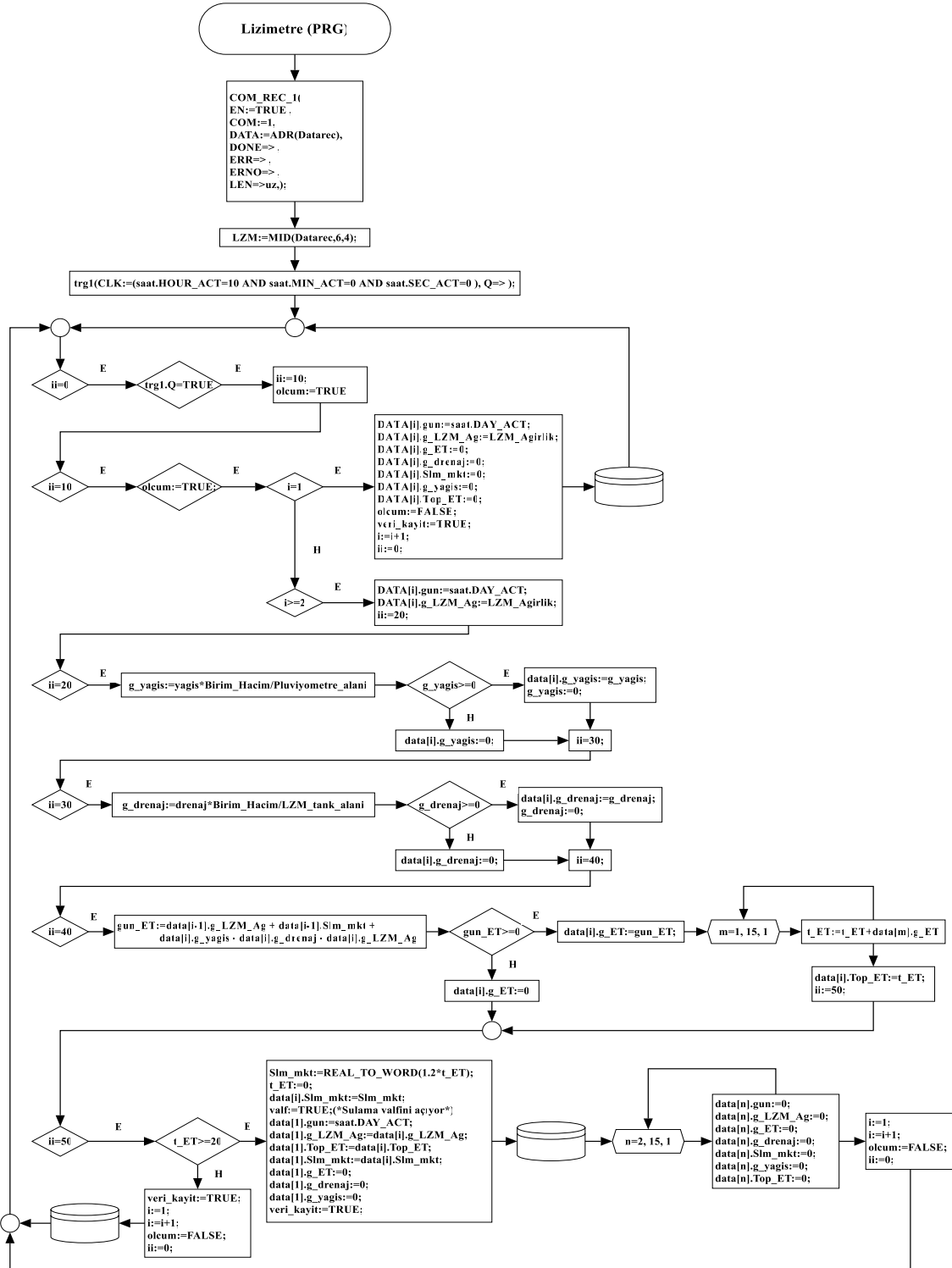
Tartılı lizimetre otomasyon sistemi için, ilk olarak akış diyagramı Şekil 6'da verilen Lizimetre [PRG] programı hazırlanmıştır. Bu programda öncelikle COM\_REC fonksiyon bloğu kullanılarak kantardan lizimetre ağırlığı okunmuş ve "datarec" değişkenine atanmıştır. Daha sonra MID string fonksiyonu kullanılarak "datarec" değişkeni içerisinde lizimetrenin ağırlığı ayıklanmış ve "lzm" değişkenine atanmıştır.



Şekil 4. Tartılı lizimetre sistemi.

Figure 4. Weighting lysimeter system.





Şekil 6. Lizimetre [PRG] programı.

Figure 6. Lysimeter [PRG] program.

Lizimetre [PRG] programının hazırlanmasında “CASE” deyimi kullanılmıştır. Bu deyimin “ii” adım değışkeni 0-50 arasında değışmiştir. İlk adımda (ii= 0), ölçme işleminin başlatılacağı saat “trg.1” değışkeni ile tanımlanmıştır. “trg.1” tetikleyicisi çıkış verdiğinde (Q=>), yani saat 10.00 olduğunda (CLK:=(saat.HOUR\_ACT=10 AND saat.MIN\_ACT=0 AND saat.SEC\_ACT=0)) “ii” adım değışkenine 10 atanarak ölçme

işlemi (olcum:=TRUE) başlatılmıştır. Ölçme işleminin birinci gününde gün (i) değışkenine 1 değeri atanmıştır. Birinci günün tarihi (saat.day\_act) “DATA[i].gun” dizisine, lizimetre tankı ağırlığı (LZM\_agirlik) ise “DATA[i].g\_LZM\_Ag” isimli diziyeye atanmıştır. Birinci gün; günlük evapotranspirasyon miktarına (DATA[i].g\_ET=0), drenaj miktarına (DATA[i].g\_drenaj=0), sulama miktarına (DATA[i].slm\_mkt=0), yağış miktarına

(DATA[i].g\_yagis:=0) ve toplam evapotranspirasyon miktarına (DATA[i].Top\_ET:=0) sıfır değeri atanmıştır. Gün (i) değişkeni 1 artırılarak (i:=i+1) ölçüm sonlandırılmış (olçum:=FALSE) ve dizilere atanan tüm değişkenler (DATA) SD karta kaydedilerek (veri\_kayıt:=TRUE) ölçme işlemi tekrar ii= 0 adımına yönlendirilmiştir. İkinci gün ve daha sonraki günlerde (i>= 2) “trg.1” tetikleyici değişkeni çıkış verdiğinde, yani saat 10.00 olduğunda ölçüm yapılan günün tarihi (saat.day\_act) ve lizimetre ağırlığı (LZM\_agirlik) sırasıyla “DATA[i].gun” ve “DATA[i].g\_LZM\_Ag” dizilerine atanarak, adım değişkeni günlük yağış miktarının (g\_yagis) belirlendiği ii= 20 adımına yönlendirilmiştir.

Günlük yağış miktarını (g\_yagis) ölçmek için, birinci gün saat 10.00’den ikinci gün saat 10.00’a kadar devrilen kovalı plüviyometrede yağış ile dolup boşalan kova sayısı belirlenmiştir (yagis). Kova sayısı (yagis) kova hacmi (Birim\_Hacim) ile çarpılmış ve elde edilen sonuç plüviyometre yüzey alanına (Pluviyometre\_alani) bölünerek “g\_yagis” miktarı belirlenmiştir. “g\_yagis” miktarının sıfırdan büyük olması durumunda, hesaplanan yağış miktarı “data[i].g\_yagis” dizisine atanmıştır. Yağış gerçekleşmemesi durumunda ise diziyeye “g\_yagis” miktarı olarak sıfır değeri atanmıştır (data[i].g\_yagis:=0). Ölçülen değer sıfırlanarak (g\_yagis:=0), adım değişkeni günlük drenaj miktarının (g\_drenaj) belirlendiği ii= 30 adımına yönlendirilmiştir.

Lizimetre tankından süzülerek, plüviyometreye aktarılan drenaj suyu ile dolup boşalan kova sayısı (drenaj) kova hacmi (Birim\_Hacim) ile çarpılmış ve elde edilen sonuç lizimetre tankı yüzey alanına (LZM\_tank\_alani) bölünerek günlük drenaj miktarı (g\_drenaj) hesaplanmıştır. “g\_drenaj” miktarının sıfırdan büyük olması durumunda, drenaj miktarı “data[i].g\_drenaj” dizisine atanmıştır. Drenaj gerçekleşmediğinde ise “g\_drenaj” miktarı olarak diziyeye sıfır değeri atanmıştır (data[i].g\_drenaj:=0). Günlük drenaj ölçümü sonunda ölçülen değer sıfırlanarak (g\_drenaj:=0), adım değişkeni günlük evapotranspirasyon miktarının (gun\_ET) belirlendiği ii= 40 adımına yönlendirilmiştir.

“gun\_ET” miktarının belirlendiği ii= 40 adımında, Lizimetre (PRG) programı bir boyutlu su dengesi eşitliğini kullanarak “gun\_ET” miktarını hesaplamıştır. “gun\_ET” miktarı sıfırdan büyük ise, hesaplanan “gun\_ET” değeri “data[i].gun\_ET” dizisine atanmıştır. Evapotranspirasyon gerçekleşmemesi durumunda ise “gun\_ET” miktarı olarak diziyeye sıfır değeri atanmıştır (data[i].g\_ET:=0). Çalışma boyunca her gün için ayrı ayrı belirlenen “gun\_ET” miktarları 15 günlük veri depolama kapasitesine sahip (m=1, 15, 1) “data[m].gun\_ET” isimli geçici dizide depolanmıştır (m:=m+1). Bu amaçla gün “i” değişkenine “m” değişkeni atanmıştır. “data[m].gun\_ET” geçici dizisinde depolanan “gun\_ET” miktarları yığılımlı olarak toplanmış ve bir sulama döngüsünde gerçekleşen “t\_ET” miktarı belirlenmiştir. “t\_ET” değeri “data[i].Top\_ET” dizisine atanarak, sulama için karar verme adımına (ii= 50) geçilmiştir.

Sulama için karar verme adımında (ii= 50), t\_ET < 20 mm ise o ana kadar ölçülen veriler kaydedilmiş (veri\_kayıt:=TRUE), ölçme işlemi sonlandırılmış (olçum:=FALSE) ve gün (i) değişkeni bir artırılarak (i:=i+1) ölçme işlemi bir sonraki gün için tekrar ii= 0 adımına yönlendirilmiştir. t\_ET >=20 mm olması durumunda ise sulama yapılmıştır. “Slm\_mkt” hesaplanarak (Slm\_mkt:=1.2\*t\_ET) “data[i].Slm\_mkt” dizisine atanmıştır. Selenoid vana açılarak (valf:=TRUE) sulama başlatılmıştır. Lizimetre [PRG] programı tarafından açılan selenoid vana, sulama işleminin sonunda

Sulama [PRG] programı tarafından kapatılmıştır. Sulama işleminin sonunda tüm değişkenler sıfırlanmış, ölçme işlemi sonlandırılmış (olçum:=FALSE) ve gün (i) değişkeni bir artırılarak (i:=i+1) ölçme işlemi bir sonraki gün için tekrar ii= 0 adımına yönlendirilmiştir.

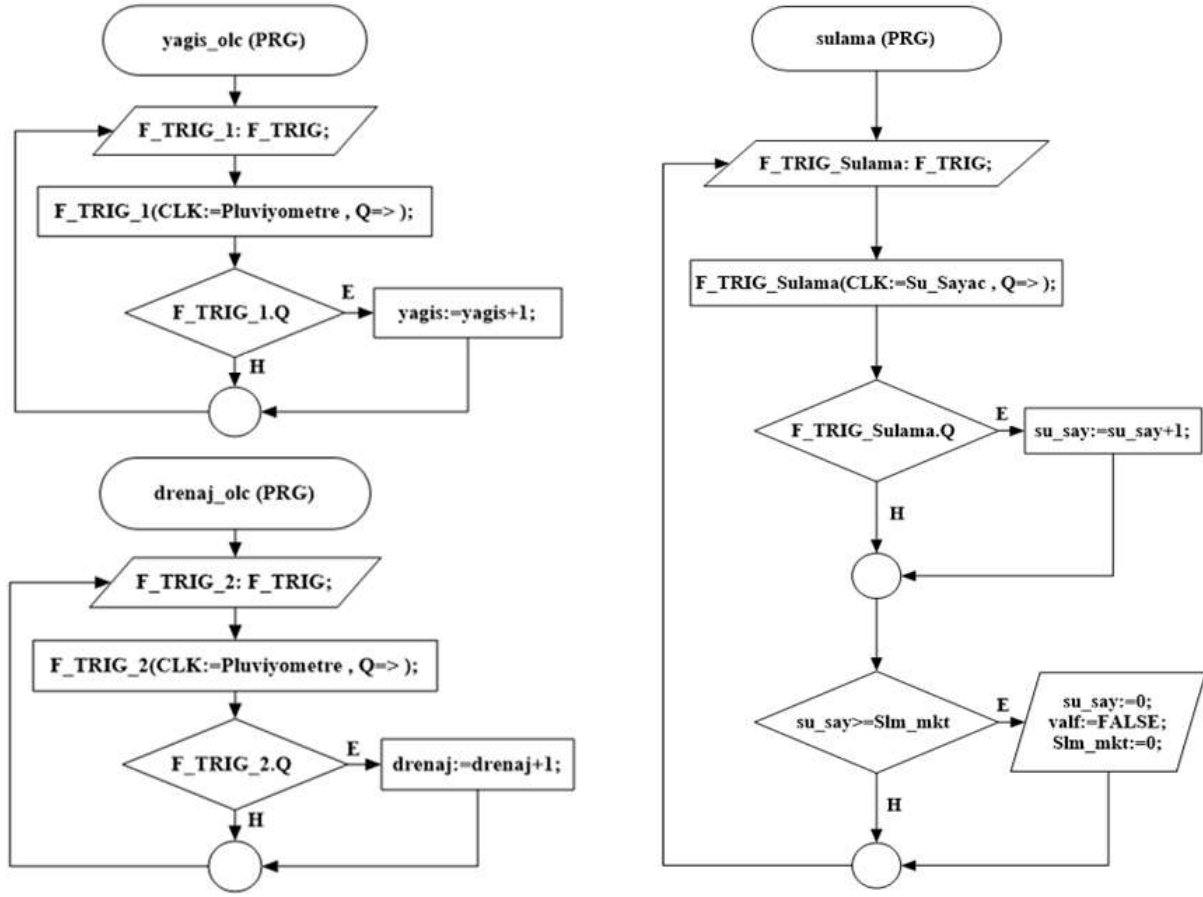
Tartılı lizimetre sistemine giren günlük yağış (g\_yagis) miktarı ile tanktan çıkan günlük drenaj (g\_drenaj) miktarını ölçmek ve sulama sistemini kontrol etmek amacıyla Şekil 7’de verilen yagis\_olc [PRG], drenaj\_olc [PRG] ve Sulama [PRG] programları hazırlanmıştır. Plüviyometreler çıkış verdiğinde (Pluviyometre, Q=>), yani su ile dolan ilk kova boşaldığında “g\_yagis” ve “g\_drenaj” miktarlarının ölçülmesine başlanılmıştır. “F\_TRIG\_1” komutunun tetiklediği “yagis” sayacına yağışla dolup boşalan kova sayısı (yagis), “F\_TRIG\_2” komutunun tetiklediği “drenaj” sayacına ise drenaj suyu ile dolup boşalan kova sayısı (drenaj) saydırılmıştır. Lizimetre [PRG] programı sırasıyla, yagis\_olc [PRG] ve drenaj\_olc [PRG] programlarından saydırılan toplam kova sayılarını (yagis, drenaj) çekerek “g\_yagis” ve “g\_drenaj” miktarlarını belirlemiştir.

Lizimetre [PRG] programının selenoid vanayı açmasıyla birlikte dijital su sayacından su akımı geçmeye başlamıştır. Sulama [PRG] programı tarafından kontrol edilen dijital sayacıdan her 1 litre su geçişinde 1 çıkış üretilmiştir. “F\_TRIG\_Sulama” komutunun tetiklediği “su\_say” (su\_say:=su\_say+1) sayacı ile çıkış sayısı saydırılmıştır. Su sayacından geçirilen su miktarı (su\_say) sulama suyu miktarına (Slm\_mkt) eşit olduğunda (su\_say>=Slm\_mkt), selenoid vana Sulama [PRG] programı tarafından kapatılarak (valf:=FALSE) sulama sonlandırılmıştır.

Lizimetre [PRG] programı tarafından DATA dizilerine kaydedilen bir önceki ve bir sonraki günün lizimetre ağırlıkları, bu iki lizimetre ağırlığı ölçümü arasındaki bir günlük sürede gerçekleşen yağış ve drenaj miktarları ile sulama suyu miktarı ve bu değerlere bağlı olarak hesaplanan günlük ve toplam evapotranspirasyon miktarları sd\_kart\_veri\_yaz [PRG] programı tarafından SD karta yazdırılmıştır.

PLC kontrollü tartılı lizimetre sistemi 2 yaşındaki Maraş 18 tipi ceviz bitkisi üzerinde test edilerek, bu sistem ile 2018 yılının Haziran-Ekim dönemi boyunca ölçülen yağış, drenaj, evapotranspirasyon ve sulama suyu miktarları Çizelge 1’de verilmiştir.

Maraş 18 tipi cevizin günlük evapotranspirasyon miktarı 1.25-3.5 mm gün<sup>-1</sup> arasında değişmiştir. Sulama aralığı 6-16 gün arasında değişmekte olup, toplam 12 defa sulama yapılmıştır. Ceviz bitkisine günlük ortalama 2.50 mm sulama suyu verilmiştir. Sulama mevsimi süresince gerçekleşen toplam evapotranspirasyon miktarı 261 mm olup, ceviz bitkisine bu süre boyunca toplam 293 mm sulama suyu verilmiştir. Akın (2016), Chandler tipi ceviz bitkisinin Tekirdağ koşullarında evapotranspirasyon miktarını belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada, Haziran-Eylül dönemi boyunca günlük evapotranspirasyon miktarının 2.23-5.43 mm gün<sup>-1</sup> arasında değiştiğini belirlemiştir. Hu ve ark. (2010), ceviz ağaçlarının günlük ortalama evapotranspirasyon miktarlarının çiçeklenme aşamasında 2.90 mm gün<sup>-1</sup>, meyve oluşumu aşamasında 3.97 mm gün<sup>-1</sup>, kabuk oluşumu aşamasında 5.55 mm gün<sup>-1</sup> ve meyve olgunluk aşamasında 3.39 mm gün<sup>-1</sup> düzeyinde olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma kapsamında Maraş 18 tipi ceviz bitkisi için elde edilen evapotranspirasyon değerleri, genel olarak Akın (2016) ve Hu ve ark. (2010) tarafından belirtilen değerler ile paralellik göstermektedir.



Şekil 7. yagis\_olc [PRG], drenaj\_olc [PRG] ve Sulama [PRG] programları.

Figure 7. yagis\_olc [PRG], drenaj\_olc [PRG] and Sulama [PRG] programs.

Çizelge 1. LZM\_1, LZM\_2, yağış, drenaj, sulama ve evapotranspirasyon miktarları.

Table 1. LZM\_1, LZM\_2, precipitation, drainage, irrigation and evapotranspiration amounts.

Tarih	LZM_1 (kg)	Yağış (mm)	Drenaj (mm)	Sulama (mm)	Evapotranspirasyon (mm)		LZM_2 (kg)
					Toplam	Günlük ortalama	
15-26 Haziran	2237.40	-	-	-	21	1.91	2216.40
26 Haziran-3 Temmuz	2216.40	9	8	25	20	2.86	2222.40
3-9 Temmuz	2222.40	5	7	24	21	3.50	2223.40
9-17 Temmuz	2223.40	-	6	25	21	2.63	2221.40
17-24 Temmuz	2221.40	-	4	25	20	2.86	2222.40
24 Temmuz-1Ağustos	2222.40	-	5	24	20	2.50	2221.40
1-8 Ağustos	2221.40	-	4	24	20	2.86	2221.40
8-21 Ağustos	2221.40	-	6	24	20	1.54	2219.40
21 Ağustos-2 Eylül	2219.40	-	5	24	21	1.75	2217.40
2-11 Eylül	2217.40	-	6	25	21	2.33	2215.40
11-18 Eylül	2215.40	-	5	25	20	2.86	2215.40
18 Eylül-4 Ekim	2215.40	3	4	24	20	1.25	2218.40
4-14 Ekim	2218.40	2	6	24	16	1.60	2222.40
Toplam	15 Haziran 2237.40	19	66	293	261	-	14 Ekim 2222.40

LZM\_1: Evapotranspirasyon miktarının belirlendiği dönemin başında ölçülen lizimetre ağırlığı.

LZM\_2: Evapotranspirasyon miktarının belirlendiği dönemin sonunda ölçülen lizimetre ağırlığı.



#### 4. Sonuç

Bu alışma kapsamında PLC tabanlı otomasyon sistemi tarafından kontrol edilebilen bir tartılı lizimetre sistemi geliştirilerek, Maraş 18 tipi ceviz bitkisi üzerinde test edilmiştir. Lizimetre sistemi günlük yağış ve drenaj miktarlarını plviyometrelere, lizimetre ağırlıklarını ise elektronik kantara ltrerek kaydetmiştir. Bu verileri kullanarak cevizin günlük evapotranspirasyon miktarını, sulama suyu ihtiyaını ve sulama zamanını belirlemiştir. Sulamayı otomatik olarak başlatıp, suyun tamamı bitkiye verildiğinde sonlandırmıştır. Otomasyon kullanımı zaman ve iş gücünden tasarruf edilmesini sağlayarak, lme işlemlerinin hassasiyetini ve tutarlılığını artırmıştır.

Ceviz bitkisinin tartılı lizimetre sistemi ile elde edilen günlük evapotranspirasyon miktarları 1.25-3.5 mm gün<sup>-1</sup> arasında değerler almıştır. 2018 yılı Haziran-Ekim dönemi boyunca gerçekleşen toplam evapotranspirasyon miktarı ise 261 mm olarak belirlenmiştir. Cevize günlük ortalama 2.50 mm sulama suyu verilmiştir.

#### Kaynaklar

- ABB (2017) Automation Builder 2.1-Basic. ABB Automation Products GmbH Eppelheimer Str. 8269123 Heidelberg, Germany.
- Aboukhaled A, Alfaro A, Smith M (1982) Lysimeters. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 39, Rome.
- Akın S (2016) Tekirdağ koşullarında ceviz ağaçlarının su tüketimlerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Akpolat A (2011) Mikrometeorolojik ve lizimetre yöntemleriyle belirlenen buğday bitki su tüketimlerinin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Aydınşakir K, Baştuğ R, Büyüktaş D (2003) Antalya yöresinde çim kıyas bitki su tüketimini veren bazı ampirik eşitliklerin tarla ve lizimetre koşullarında kalibrasyonu. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 16(1): 107-119.
- Aydınşakir K, Büyüktaş D (2014) Lizimetreler ve bitki su tüketimi çalışmalarında kullanımı. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü DERİM Dergisi 22(1): 49-58.
- Benli B, Kodal S, İlbeyi AA, stn H (2006) Determination of evapotranspiration and basal crop coefficient of alfalfa with a weighing lysimeter. Agricultural Water Management 81: 358-370.
- Doorenbos J, Pruitt WO (1977) Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24, Rome.
- Genoğlan C, Genoğlan S, Usta S (2019) Controlling lysimeter and lysimeter units with a Programmable Logic Controller (PLC). In: International Asian Congress on Contemporary Sciences. Mecca, Saudi Arabia, pp. 180-188.
- Hu Q, Ma Y, He J, Zhang Q, Hong M (2010) Effect of drip irrigation and micro-sprinkler irrigation on water consumption, yields and quality of walnut. Journal of Water Resources and Water Engineering 1: 0-20.
- Kanber R (2006) Sulama. ukurova niversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitapları, Yayın No: A-52, Adana.
- Nur A (2019) Çukurova koşullarında lizimetre yöntemiyle mısır bitki su tüketiminin ve bitki katsayılarının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- TAGEM (2016) Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi Rehberi. T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- nl M, Kanber R, Kapur B (2010) Comparison of soybean evapotranspirations measured by weighing lysimeter and Bowen ratioenergy balance methods. African Journal of Biotechnology 9(30): 4700-4713.
- Yıldız AM (2019) Çukurova koşullarında lizimetre, eddy kovaryans ve su bütçesi yöntemleri ile belirlenen buğday bitki su tüketimlerinin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Young MH, Wierenga PJ, Mancino CF (1996) Large weighing lysimeters for water use and deep percolation studies. Soil Science 161: 491-501.