



## Establishing the Flow Charts that can be Used in the Design of Irrigation Automation Systems

Selçuk Usta<sup>1,a,\*</sup>, Serpil Gençoğlan<sup>2,b</sup>, Cafer Gençoğlan<sup>3,c</sup>

<sup>1</sup>Department of Construction, Van Vocational School, Van Yüzüncüyıl University, 65090 Van, Turkey

<sup>2,3</sup>Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, 46050 Kahramanmaraş, Türkiye

\*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 28/02/2019 Accepted : 04/06/2019</p> <p><b>Keywords:</b> Flow chart Evapotranspiration Automation Irrigation Soil moisture</p>	<p>Automation is a mechanical, electronic and computer based technology that enables the operation of various devices, systems and programs without the need for human intervention. The irrigation automation system should be planned with less manpower, more controlled and better quality agricultural production considering the environment, water resources and production cost. It should have the ability to implement the irrigation program in greenhouse, field and garden plants cultivation. Irrigation automation system is formed by following some process steps. These are; preparing the irrigation program, selecting the system components, preparing the project, preparing and testing the software and the establishment of the system. The irrigation automation system, which is passed through these stages, ensures the effective use of irrigation water, reduces labour, controls the irrigation program and reduces production costs. In this study, flow charts have been created which can help to design of irrigation automation systems sensitive to crop water consumption and soil moisture level in root region.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 7(7): 1014-1020, 2019

## Sulama Otomasyonu Sistemlerinin Tasarımında Kullanılabilecek İş Akış Şemalarının Oluşturulması

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makale</i></p> <p>Geliş : 28/02/2019 Kabul : 04/06/2019</p> <p><b>Anahtar Kelimeler:</b> Akış şeması Evapotranspirasyon Otomasyon Sulama Toprak nemi</p>	<p>Otomasyon, insan müdahalesine ihtiyaç duyulmadan çeşitli cihaz, sistem ve programların işletilmesini sağlayan mekanik, elektronik ve bilgisayar tabanlı bir teknolojidir. Sulama otomasyonu sistemi; çevre, su kaynakları ve üretim maliyeti dikkate alınarak daha az insan gücü, daha kontrollü ve daha kaliteli tarımsal üretim ile planlanmalıdır. Sulama programını sera, tarla ve bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde uygulama becerisine sahip olmalıdır. Sulama otomasyonu sistemi bazı işlem basamakları takip edilerek oluşturulmaktadır. Bunlar; sulama programının hazırlanması, sistem bileşenlerinin seçilmesi, projenin hazırlanması, yazılımın hazırlanarak test edilmesi ve sistemin kurulmasıdır. Bu aşamalardan geçirilen sulama otomasyon sistemi, sulama suyunun etkin kullanımını sağlar, işçiliği azaltır, sulama programını izler ve üretim maliyetlerini azaltır. Bu çalışmada, bitki su tüketimine ve bitki kök bölgesindeki nem düzeyine duyarlı sulama otomasyonu sistemlerinin tasarımına yardımcı olabilecek iş akış şemaları oluşturulmuştur.</p>

<sup>a</sup> [susta@yyu.edu.tr](mailto:susta@yyu.edu.tr)

<sup>c</sup> [gencođlan@ksu.edu.tr](mailto:gencođlan@ksu.edu.tr)

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8970-7333>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4559-4354>

<sup>b</sup> [sgencoglan@ksu.edu.tr](mailto:sgencoglan@ksu.edu.tr)

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



## Giriş

Türkiye, kurak-yarı kurak iklim kuşağında yer alan ve su zengini olmayan bir ülke konumundadır. Tarım sektörü %70 oranla su tüketiminin en fazla olduğu sektördür (Çakmak ve ark., 2008). Bu oranın neredeyse tamamını sulama amaçlı kullanılan su oluşturmaktadır. Kurak-yarı kurak bölgelerde bitkinin kuraklıktan zarar görmemesi için sulama yapılması zorunludur (Yıldırım, 2004). Su kaynaklarının yetersiz olduğu ve düzensiz yağış altında sabit bir sulama programının yürütülemediği bu tür bölgelerde sulama otomasyonu ile su kaynakları daha etkin kullanılabilir. Sulamada otomasyon kullanımı ile bitki verim ve kalitesinin artırılması yanında, büyük oranlarda su tasarrufu sağlanabilmektedir. Otomasyonun bir sulama programı ile birlikte kullanılması su ve gübre kullanım etkinliğini arttırmakta, işçilik ve enerji giderlerini azaltmaktadır.

Sulama suyu miktarını belirleyen en önemli unsurlar; bitki kök bölgesindeki nem düzeyi ve iklim parametrelerine bağlı olarak değişkenlik gösteren bitki su tüketimidir. Bu unsurlar dikkate alınarak, sulama otomasyonu sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır. Kırnak (2006), bilgisayar kontrollü olarak toprak nemini ölçen otomatik damla sulama sistemi ile aşırı ve gereksiz su kullanımına bağlı sulama problemlerinin çözülebileceğini ortaya koymuştur. Çakır ve Çalış (2008), PIC 16F877 mikro denetleyicili kontrol devresi ile uzaktan kontrollü bir otomatik sulama sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistem, sensörler ile topraktan aldığı nem değerlerini bitkinin ihtiyacı olan nem değerleri ile karşılaştırmakta ve nem değeri düşükse sulamayı başlatmaktadır. Nem, bitkinin ihtiyacı olan düzeye ulaştığında ise sulamayı bitirmektedir. Böylelikle bitkiye ihtiyacından eksik veya fazla su verme problemi ortadan kaldırılarak optimum düzeyde sulama yapılması sağlanmaktadır. Pathak ve ark. (2017), sulama otomasyonu sistemi prototipi kullanarak toprağın nem ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Düzgün (2017), Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) ile yönetilen bir sulama otomasyonu sistemi geliştirmiştir. A sınıfı buharlaşma kabından gerçekleşen buharlaşma miktarına duyarlı sistem Comice armut (*Pyrus communis* L.) çeşidi üzerinde denenmiştir. Buharlaşma kabından günlük buharlaşan su miktarı 35 mm ve üzerinde olduğunda otomasyon sistemi tarafından armut parselleri sulanmıştır. Mantri ve ark. (2018), arazi sulama ve gübreleme işlemlerinin otomatik olarak yapıldığı bir PLC sistemi geliştirmişlerdir. Öter ve Bahar (2018), ortam nem ve sıcaklığına göre sulamayı kendisi başlatan PLC kontrollü bir sulama otomasyonu sistemi geliştirerek, bu sistemin iş gücü kullanımını ve insan kaynaklı sulama hatalarını en aza indirdiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, sulama otomasyonu sistemlerinin projelendirilmesi ve yazılımlarının hazırlanması aşamasında kullanılabilecek iş akış şemalarının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, günlük bitki su tüketimi ve toprak nem düzeyine duyarlı sulama otomasyonu sistemleri için iş akış şemaları oluşturulmuştur.

## İş Akış Şemalarının Oluşturulması

Sulama otomasyonu sistemlerinin projelendirilmesinde “iklim parametrelerine bağlı olarak belirlenen günlük bitki su tüketimi” ve “bitki kök bölgesindeki sulamaya başlanacak kritik toprak nem düzeyi” sulamayı başlatıcı etken (starter) olarak dikkate alınabilmektedir. Otomasyon sistemi bu starterlere duyarlı olacak şekilde, insan müdahalesine gerek kalmadan sulamayı başlatıp bitirebilmektedir.

### Bitki Su Tüketimine Duyarlı Otomasyon İçin İş Akış Şemasının Geliştirilmesi

Sulama suyu miktarı ve sulama aralıklarının belirlenmesinde dikkate alınan temel veri bitki su tüketimidir (Evapotranspirasyon-ET). ET, lizimetre ile doğrudan ölçülebildiği gibi referans bitki su tüketimi (ET<sub>o</sub>) ve bitki büyüme katsayısına (k<sub>c</sub>) dayalı yöntemler ile tahmin edilebilmektedir. ET<sub>o</sub> değerine bağlı olarak ET'nin tahmin edilmesinde, dünya çapında en çok tercih edilen yöntemin Eşitlik 1 ile verilen FAO 56 Penman Monteith yöntemi olduğu belirtilmektedir (ASCE-EWRI, 2004; Çetin ve Ark., 2014). Bu yöntemde hava sıcaklığı, oransal nem, solar radyasyon, topraktan 2 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızı, günlük güneşlenme süresi ve topraktaki ısı akısı değişkenlerine bağlı olarak ET<sub>o</sub> tahmin edilebilmektedir. Bu yöntem ile bir bitkinin ET değeri belirlenmek istendiğinde, ET<sub>o</sub> değerinin Eşitlik 2'de gösterildiği gibi su tüketimi belirlenecek bitkinin k<sub>c</sub> katsayısı ile çarpılarak düzeltilmesi gereklidir (Doorenbos ve Pruitt, 1977).

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T+273} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (1)$$

$$ET = ET_o \cdot k_c \quad (2)$$

Eşitliklerde;

ET<sub>o</sub>: Referans bitki su tüketimi (mm/gün), T: Ortalama hava sıcaklığı (°C)

Δ: Doygun buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa/°C)

R<sub>n</sub>: Bitki yüzeyindeki net radyasyon (MJ/m<sup>2</sup>/gün),

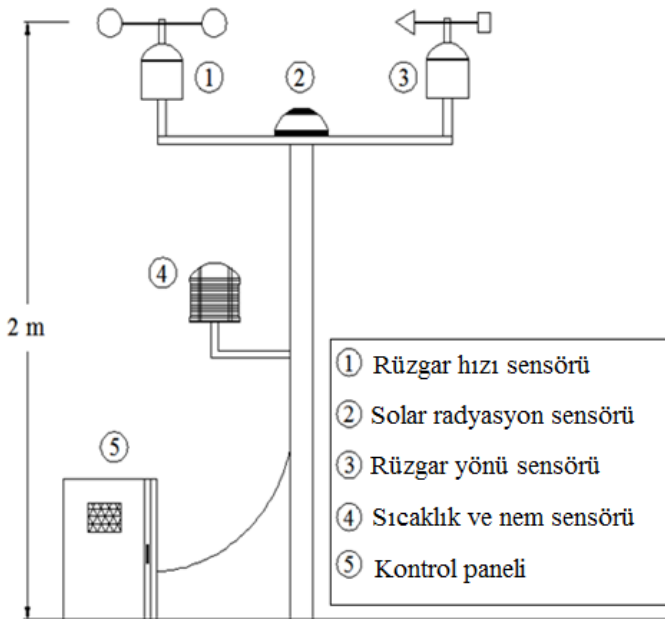
G: Topraktaki ısı akısı (MJ/m<sup>2</sup>/gün) γ: Psikometrik sabite (kPa/°C),

U<sub>2</sub>: Toprak yüzeyinden 2 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızı (m/s)

e<sub>s</sub>: Doygun buhar basıncı (kPa), e<sub>a</sub>: Gerçek buhar basıncı (kPa)

k<sub>c</sub>: Bitki büyüme katsayısı, ET: Bitki su tüketimi (mm/gün)

FAO-56 Penman Monteith eşitliğinde kullanılan iklim parametreleri, otomasyon sistemi tarafından kontrol edilen iklim istasyonları ile ölçülebilmektedir (Şekil 1). Gençoğlan ve ark. (2018), iklim parametrelerinin ölçülmesinde kullanılan sensörleri biraraya getirerek Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) tarafından yönetilen bir iklim istasyonu geliştirmişlerdir. Bu iklim istasyonu, ölçtüğü iklim verilerini kullanarak FAO 56 Penman Monteith eşitliği ile günlük ET<sub>o</sub> değerlerini hesaplayabilmektedir.



Şekil 1 PLC kontrollü iklim istasyonu (Gençoğlan ve ark., 2018)

Figure 1 PLC controlled climate station



Günlük ET miktarlarının belirlenmesinde, güvenilir kaynaklardan elde edilen  $k_c$  katsayıları kullanılmalıdır. ET miktarları sulama aralığı boyunca toplanarak toplam bitki su tüketimi ( $\Sigma ET$ ) belirlenir.  $\Sigma ET$  miktarı, sulamaya başlanacak kritik toplam bitki su tüketimi değeri ( $\Sigma ET_{sınır}$ ) ile karşılaştırılır.  $\Sigma ET \geq \Sigma ET_{sınır}$  olduğunda sulama yapılır. Otomasyon sistemi starteri olarak kullanılacak  $\Sigma ET_{sınır}$  değerinin belirlenmesinde güvenilir kaynaklardan elde edilen ET değerleri dikkate alınmalıdır. Örneğin, Van ili koşullarında 5 günlük sulama aralığı ile sulanması planlanan ceviz bitkisi için projelendirilecek sulama otomasyonu sisteminde  $\Sigma ET_{sınır}$  değeri şu şekilde tespit edilir. Öncelikle cevizin sulama mevsimi belirlenir. Şen (2011), cevizin sulanmasına Haziran ayı başında başlanarak, Eylül ayı sonunda bitirilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Cevizin günlük ET değerleri ise Anonim (2016)'dan Haziran ayı için 6,08-6,64 mm/gün, Temmuz ayı için 6,80-7,49 mm/gün, Ağustos ayı için 6,34-6,57 mm/gün ve Eylül ayı için 3,76-4,62 mm/gün olarak alınmıştır. Su tüketiminin yüksek olduğu Temmuz ayı göz önünde bulundurularak, ortalama günlük ET miktarı 7 mm olarak dikkate alındığında 5 günlük toplam su tüketimi ( $\Sigma ET$ )  $7 \times 5 = 35$  mm olarak elde edilmiştir. Bu değer, sulamaya başlanacak  $\Sigma ET_{sınır}$  değeri olarak dikkate alınmıştır. Sulama aralığı boyunca  $\Sigma ET \geq \Sigma ET_{sınır}$  olduğu durumlarda otomasyon sistemi sulamayı başlatarak,  $\Sigma ET$  miktarına eşit sulama suyunu bitkiye uygulayacaktır.

Sulama aralığı boyunca gerçekleşen  $\Sigma ET$  değerinden, bu aralık boyunca gerçekleşen yağış miktarı (R) çıkartılarak sulama suyu miktarı (I) hesaplanmaktadır (Eşitlik 3). Sulama suyunun tarlaya iletilmesi ve bitkiye uygulanması sırasında bazı kayıplar meydana gelebilmektedir. Su iletim randımanı ( $E_c$ ) beton ile kaplanan kanallarda %85, kanaletli sistemlerde %97 ve basınçlı borulu sistemlerde ise %100 düzeyindedir. Su uygulamaya randımanı ( $E_a$ ), otomasyon sistemleriyle kullanımı tercih edilen basınçlı sulama sistemlerinde %90 düzeyindedir (Salas ve ark., 2006). Bu oranlar ve sulama alanı büyüklüğü (A) dikkate alınarak yükseklik cinsinden sulama suyu miktarı ( $d_T$ ) Eşitlik 4, hacim cinsinden sulama

suyu miktarı (V) ise Eşitlik 5 ile belirlenir. Bu hesaplamaların tamamı sulama otomasyonu kapsamında hazırlanan yazılımlar ile yapılabilmektedir.

$$I = \Sigma ET - R \quad (3)$$

$$d_T = \frac{I}{E_a \cdot E_c} \quad (4)$$

$$V = A \cdot d_T \quad (5)$$

Otomasyon sistemi için belirtilen hazırlık aşamalarından yola çıkılarak, "günlük bitki su tüketimi" miktarına duyarlı sulama otomasyonu sistemlerinin tasarımında kullanılacak iş akış şemaları oluşturulmuştur. Öncelikle iklim parametrelerinin ölçülmesi ve FAO-56 Penman Monteith eşitliği ile günlük  $ET_o$  miktarının belirlenebilmesi amacıyla Şekil 2'de verilen iş akış şeması oluşturulmuştur. Daha sonra sulama otomasyonu sisteminin, sulamayı başlatacağı  $\Sigma ET$  miktarını ve bitkiye uygulayacağı sulama suyu miktarını (I) belirleyebilmesi amacıyla Şekil 3'de verilen iş akış şeması oluşturulmuştur.

#### Toprak Nemine Duyarlı Otomasyon İçin İş Akış Şemasının Geliştirilmesi

Otomasyon sistemlerinde starter olarak, bitki kök bölgesinde ki sulamaya başlanacak kritik nem düzeyi de ( $d_{mr}$ ) dikkate alınabilmektedir. Bu amaçla kök bölgesine sensörler yerleştirilerek, nem düzeyi ( $d_m$ ) sürekli kontrol edilmektedir. Kritik nem düzeyini ( $d_{mr}$ ) belirlemek amacıyla etkili kök derinliği boyunca bir muayene çukuru açılarak her 30 cm yükseklikten (D), hacmi (V) bilinen kaplarla bozulmamış toprak numuneleri alınır. Numuneler hassas terazi ile tartılarak ağırlıkları (W), 105 °C sıcaklıktaki etüvde kurularak kuru ağırlıkları ( $W_s$ ) ve su ağırlıkları ( $W_w$ ) belirlenir. Eşitlik 6, 7 ve 8 kullanılarak toprağın hacim ağırlığı ( $\gamma_T$ ), kuru ağırlığın yüzdesi cinsinden ( $P_w$ ) ve su yüksekliği cinsinden toprak nemi (d) değerleri belirlenir (Güngör ve ark., 2004).

$$V_T = \frac{W_s}{V} \quad (6)$$

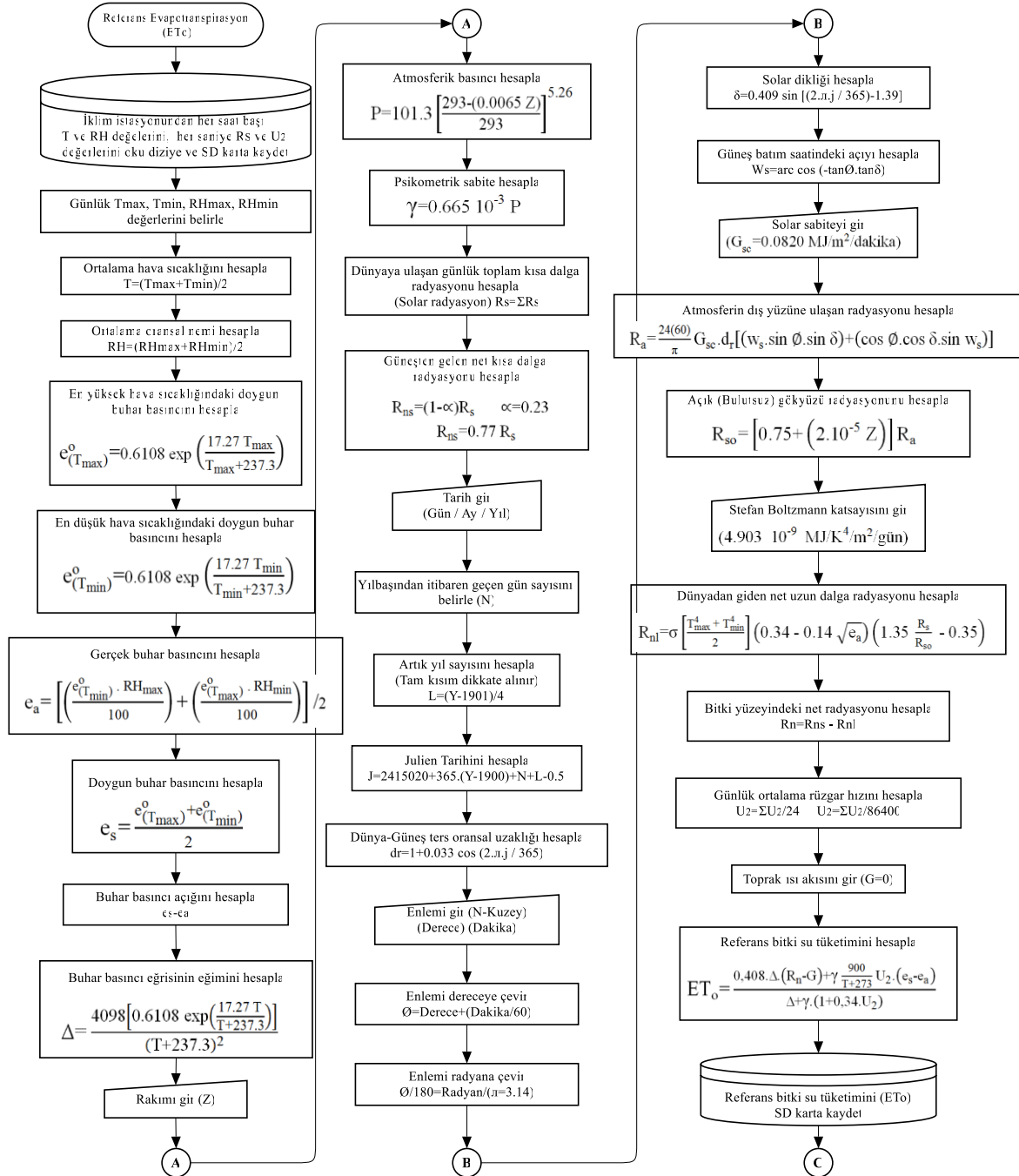
$$P_w = \frac{W - W_s}{W_s} \cdot 100 = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100 \quad (7)$$

$$d = P_w \cdot V_T \cdot D \quad d = P_v \cdot D \quad (8)$$

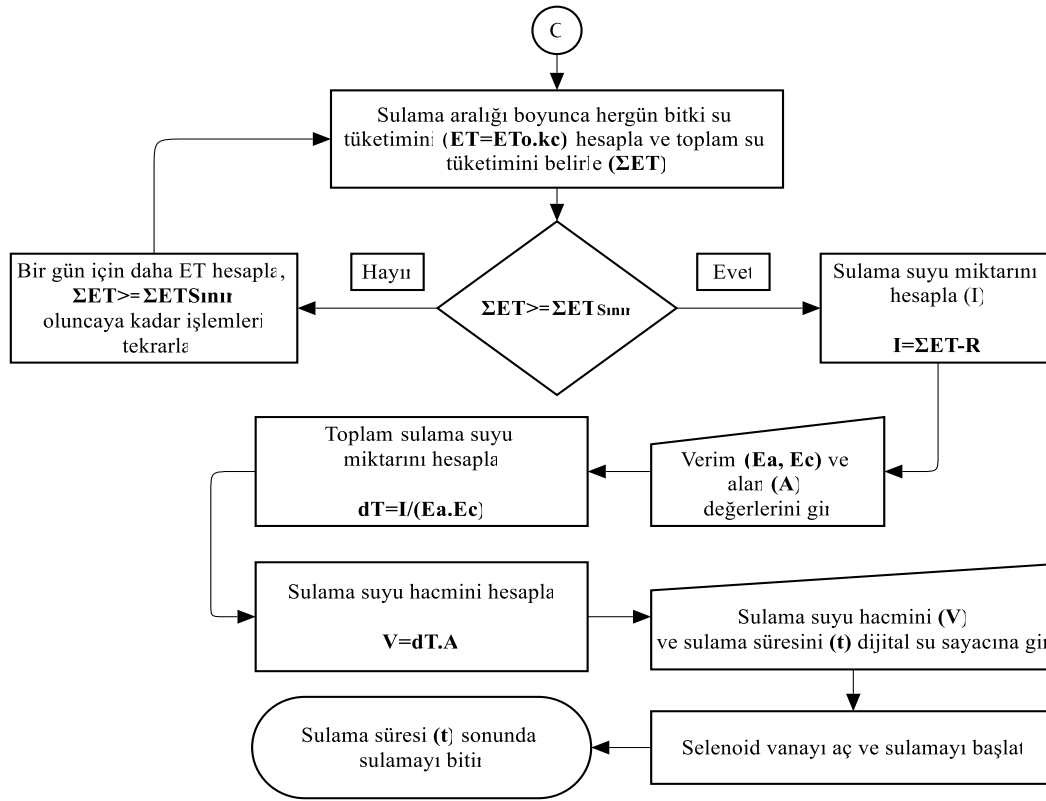
Serbest drenaj koşulları altında bitki kök bölgesindeki nem değişimi Şekil 4'de gösterilen tarla kapasitesi (TK), solma noltası (SN) ve kullanılabilir su tutma kapasitesi (TK-SN) nem sabitlerine bağlı olarak ifade edilmektedir. Sulamanın başlatılacağı kritik nem düzeyini ( $d_{mr}$ ) belirlemek için bu sabitlerin bilinmesi gereklidir. TK ve SN nem sabitlerinin belirlenmesinde basınçlı tencere

sistemi kullanılmaktadır (Yıldırım, 2004).

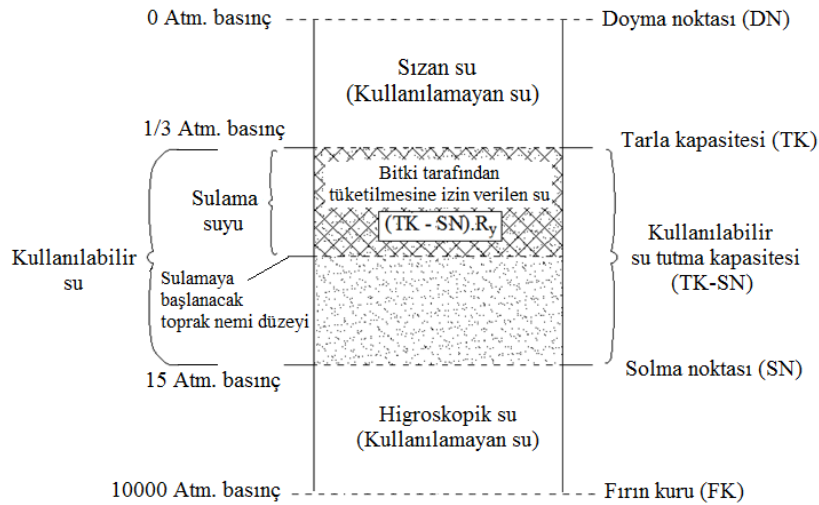
TK ve SN nem sabitlerinin su yüksekliği cinsinden ( $d_{TK}$ ,  $d_{SN}$ ) belirlenmesinde Eşitlik 8 kullanılmaktadır. Bitki,  $d_{TK}$  ve  $d_{SN}$  arasında kalan ve kullanılabilir su ( $d_k$ ) olarak adlandırılan sudan faydalanabilmektedir. Kullanılabilir suyun bitki tarafından tüketilmesine izin verilen orandaki ( $R_y$ ) kısmı tüketildiğinde, bitkinin kök bölgesindeki mevcut nem düzeyi ( $d_m$ ) sulamanın başlayacağı kritik nem düzeyine ( $d_{mr}$ ) düşmektedir. Bu seviyede, bitki tarafından tüketilen su miktarına eşit miktarda sulama suyu ( $d_n$ ) uygulanarak, toprak nemi tekrar tarla kapasitesine yükseltilmelidir (Yıldırım, 2004).



Şekil 2 İklim parametrelerinin ölçümü ve ET<sub>0</sub> hesabı için iş akış diyagramı  
Figure 2 Flow chart for measurement of climate parameters and ET<sub>0</sub> calculation



Şekil 3 Bitki su tüketimine duyarlı sulama otomasyonu sistemi için iş akış şeması  
Figure 3 Flow chart for automation system sensitive to crop water consumption



Şekil 4 Toprak nemi sabitleri (Güngör ve ark., 2004)  
Figure 4 Soil moisture constants

Bitki kök bölgesine yerleştirilen nem sensörleri ile sürekli olarak ölçülen toprak nemi düzeyi ( $d_m$ ) sulamaya başlanacak kritik nem düzeyi ( $d_{mr}$ ) altına düştüğünde ( $d_m \leq d_{mr}$ ) sulama otomasyonu sistemi otomatik olarak sulamayı başlatmaktadır. Toprak nemi düzeyi, uygulanan sulama suyu ile tekrar tarla kapasitesine yükseltilmektedir. Kritik toprak nemi düzeyinin ( $d_{mr}$ ) belirlenmesinde Eşitlik 9-11, sulama suyu miktarının belirlenmesinde ise Eşitlik 12-14 kullanılmaktadır (Güngör ve ark., 2004).

$$d_k = (TK - SN) \cdot V_T \cdot D \quad (9)$$

$$d_n = d_k \cdot R_y \quad (10)$$

$$d_{mr} = d_{TK} - d_n \quad (11)$$

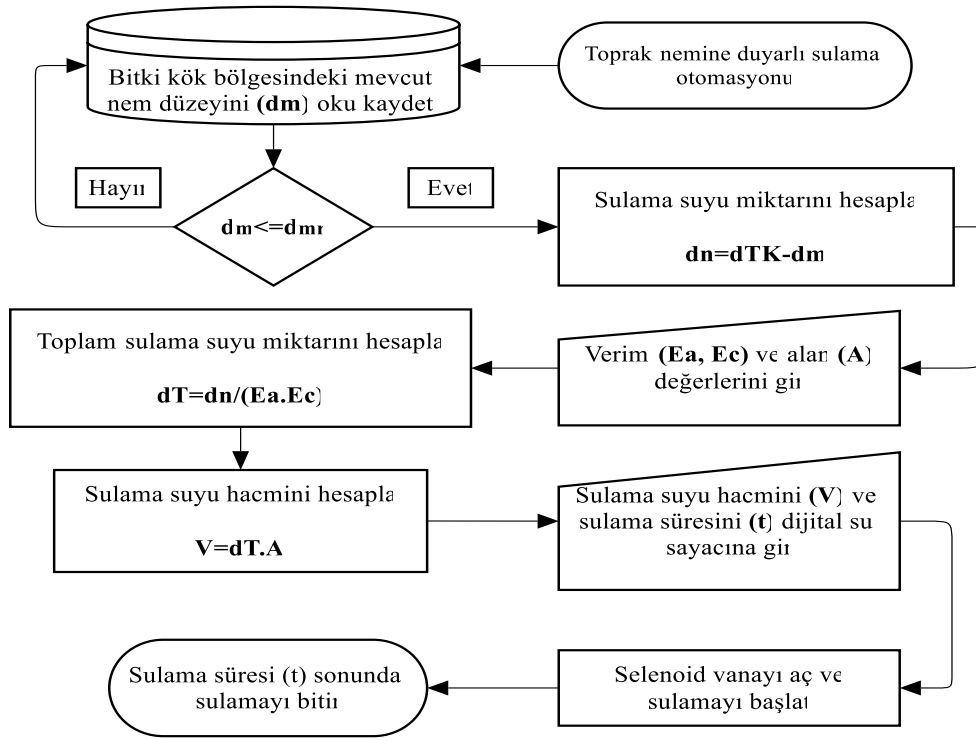
$$d_n = d_{TK} - d_m \quad (12)$$

$$d_T = \frac{d_n}{E_a \cdot E_c} \quad (13)$$

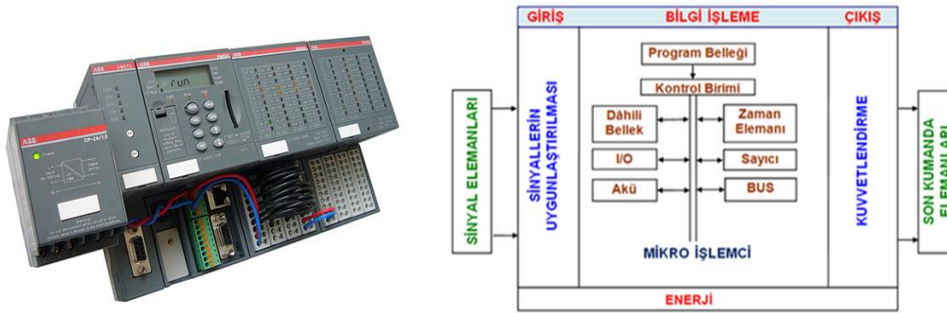
$$V = A \cdot d_T \quad (14)$$

Otomasyon sistemi için belirtilen hazırlık aşamalarından yola çıkılarak, “bitki kök bölgesindeki kritik toprak nemi düzeyine” duyarlı sulama otomasyonu sistemlerinin tasarımında kullanılabilir iş akış şeması oluşturulmuştur (Şekil 5). İş akış şemaları doğrultusunda çeşitli yazılımlar hazırlanarak sulama otomasyonu sistemleri oluşturulabilmektedir. Otomasyon sistemlerinde kontrol cihazı olarak, çoğunlukla Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) kullanılmaktadır (Şekil 6).

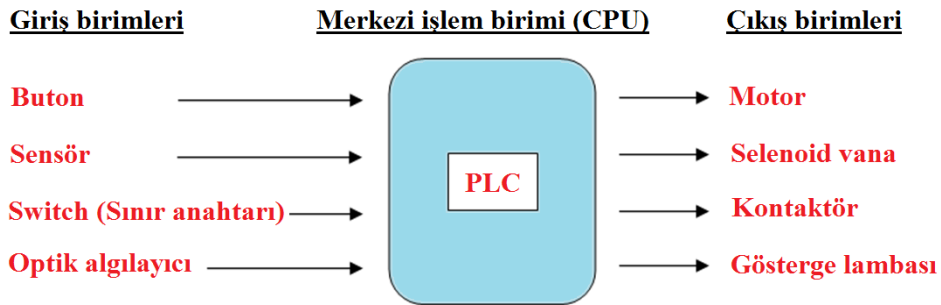




Şekil 5 Toprak nemine duyarlı sulama otomasyonu sistemi iş akış şeması  
Figure 5 Flow chart for automation system sensitive to soil moisture



Şekil 6 Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) ve çalışma prensipleri  
Figure 6 Programmable Logic Controller (PLC) and operating principles



Şekil 7 PLC giriş ve çıkış birimleri  
Figure 7 PLC input and output units

PLC; CODESYS-ST dilinde farklı amaçlar doğrultusunda yazılan programların yüklendiği, çeşitli cihaz ve sistemlerin kontrol edilmesini sağlayan bir otomasyon cihazıdır. PLC temel prensip olarak üç birimden oluşmaktadır (Şekil 7). Bunlar merkezi işlem birimi (CPU), bütün sinyal elemanlarının bağlandığı giriş birimi (Giriş kartı) ve kumanda edilecek elemanların bağlandığı çıkış birimidir (Çıkış kartı) (Eminoğlu, 2013).

PLC kontrollü sulama otomasyonu sistemlerinde; iklim parametrelerinin ölçülmesinde kullanılan sensörler ve bitki kök bölgesine yerleştirilen nem sensörleri sulama otomasyonu yazılımlarında giriş birimleri olarak tanımlanmaktadır. Sulama sistemindeki motor ve solenoid vanalar ise çıkış birimleri olarak tanımlanmaktadır. Belirtilen bütün bu birimler yazılımların yüklendiği PLC tarafından kontrol edilmektedir. Bununla birlikte sulama

programı kapsamında yapılması gereken bitki su tüketimi ve sulama suyu miktarı hesaplamaları da yine iş akış şemaları doğrultusunda hazırlanan yazılımlar tarafından yapılmaktadır. Sulama otomasyonu sistemi, sulamayı başlatıcı startere duyarlı olacak şekilde insan müdahalesine gerek duymadan otomatik olarak sulamayı başlatarak, gerekli sulama suyunu bitkiye uyguladıktan sonra sulamayı sonlandırmaktadır.

## Sonuç

Bitki su tüketiminin belirlenmesi ve sulama programlarının hazırlanması amacıyla çeşitli yazılımlar kullanılmaktadır. Ancak, sulama suyunun bitkiye verilmesi aşamasında daha çok manuel sulama sistemleri tercih edilmektedir. Sulama otomasyonu sistemleri nadiren kullanılmaktadır. Bu nedenle; ilk kurulum maliyetleri ve işletme giderleri düşük, tüm işlem basamaklarının ve bileşenlerinin otomasyon tarafından kontrol edilebildiği sistemlerinin geliştirilmesine ve kullanımının yaygınlaştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Sulama otomasyonu sistemleri bitki, toprak ve su ilişkisine dayalı olarak hazırlanan sulama programları ile birlikte kullanılmalıdır. Otomasyonun bir sulama programı ile birlikte kullanılması çeşitli faydalar sağlamaktadır. Hava sıcaklığı, solar radyasyon, oransal nem, rüzgâr hızı, günlük güneşlenme süresi ve yağış gibi iklim parametreleri ile bitki kök bölgesindeki toprak nemi düzeyi daha kolay takip edilebilmektedir. Su kaynaklarının daha verimli ve etkin bir şekilde kullanılması sağlanmaktadır. Su ve gübre kullanım etkinliği artmaktadır. Ürün kalitesi ve veriminde önemli artışlar sağlanmaktadır. İşçilik ve enerji giderleri ile insan kaynaklı sulama hataları en aza indirilebilmektedir. Damla sulama sistemi gibi sık ve düşük hacimli sulama imkânı sağlayan basınçlı sulama sistemlerinin uygulanabilirliği artmaktadır. Aşırı su kullanımından kaynaklanan tuzlanma ve erozyon gibi olumsuzlukların önüne geçilebilmektedir. Sulama suyu kullanımına bağlı hataları en aza indirmenin yolu, uzman kişilerin bilgi ve tecrübelerini otomasyona aktarmak ve sulamanın sistematik bir biçimde yapılmasını sağlamaktan geçmektedir. Sulama otomasyonu sistemlerinin geliştirilerek, kullanımının yaygınlaştırılması su ve enerji tasarrufunun artırılmasına katkıda bulunarak, sulama bilimi ve teknolojisine ve nihayetinde ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.

## Kaynaklar

Anonim. 2016. Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi Rehberi. T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bak. Tarımsal Araş. ve Pol. Genel Müd. Yayınları, Ankara.

- ASCE-EWRI. 2004. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Technical Committee Report to the Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers from the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration, USA.
- Çakır A, Çalış H. 2007. Uzaktan Kontrollü Otomatik Sulama Sistemi Tasarımı ve Uygulaması. Süleyman Demirel Üni. Fen Bil. Ens. Dergisi, 11(3): 258-261.
- Çakmak B, Yıldırım M, Aküzüm T. 2008. Türkiye’de Tarımsal Sulama Yönetimi, Sorunlar ve Çözüm Önerileri. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 2. Su Politikaları Kongresi, 20-22 Mart, Bildiriler, Cilt 1, 215-224, Ankara.
- Çetin Ö, Köksal ES, Yıldırım YE, Özyayın KA. 2014. Türkiye’de Su Tüketim Rehberi Çalışmaları Kapsamında Bitki Su Tüketimi ve Bitki Katsayılarının Elde Edilmesi. 12. Kültürteknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs, Tekirdağ.
- Doorenbos J, Pruitt WO. 1977. Crop Water Requirements. FAO Irrigation And Drainage: Paper 24, Rome.
- Düvgün M. 2017. Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) Tabanlı Sulama Otomasyonu Sistemi ile Sulanan Comice Armut (Pyrus communis L.) Çeşidi Su-Verim İlişkisinin ve Bitki Su Stres İndeksinin (CWSI) Belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Kahramanmaraş.
- Eminoğlu Y. 2013. PLC Programlama ve S7 1200. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Gençoğlan C, Gençoğlan S, Usta S, Tüysüz M, Karakuş Ö. 2018. Development of a Software for Agricultural Meteorology Stations to Measure Climate Data Used in ET<sub>o</sub> Calculation. Int. Agric. Science Congress, 9-12 May, 130, Van, Turkey.
- Güngör Y, Erözel AZ, Yıldırım O. 2004. Sulama. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Kırnak H. 2006. Automatic Irrigation Based on Soil Moisture for Nursery Crops. V. GAP Müh. Kongresi, Harran Üni. Müh. Fak., 26-28 Nisan, 1540-1547, Şanlıurfa.
- Mantri P, Pandya R, Rudrawar S, Agte KP. 2018. Automated Drip Irrigation Using PLC. International Research Journal of Eng. and Technology, 5(3): 1525-1528.
- Öter A, Bahar MŞ. 2018. Programlanabilir Denetleyici Kontrollü Sulama Sistemi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üni. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(4): 329-333.
- Pathak M, Pandya R, Rudrawar S, Agte KP. 2017. Automated Irrigation Using PLC Programming. International Conference on Ideas, Impact and Innovation in Mechanical Engineering (ICIIME 2017), 5(6): 696-700.
- Salas W, Green P, Froling C, Li C, Boles S. 2006. Estimating Irrig. Water Use in California Agriculture: 1950s to Present. California Energy Commission, Publication NO: CEC-500-2006-057, Sacramento, CA. Available at: <http://www.energy.ca.gov/2006publications/PDF> (Erişim Tarihi: 18.01.2019).
- Şen SM. 2011. Ceviz. ÜÇM Yayıncılık, Ankara.
- Yıldırım O. 2004. Sulama. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.