

TARIMSAL SULAMA FAALİYETLERİNDE OTOMASYON KULLANIMI

Öğr. Gör. Selçuk USTA

Van – Nisan, 2018

Sulama Kavramı

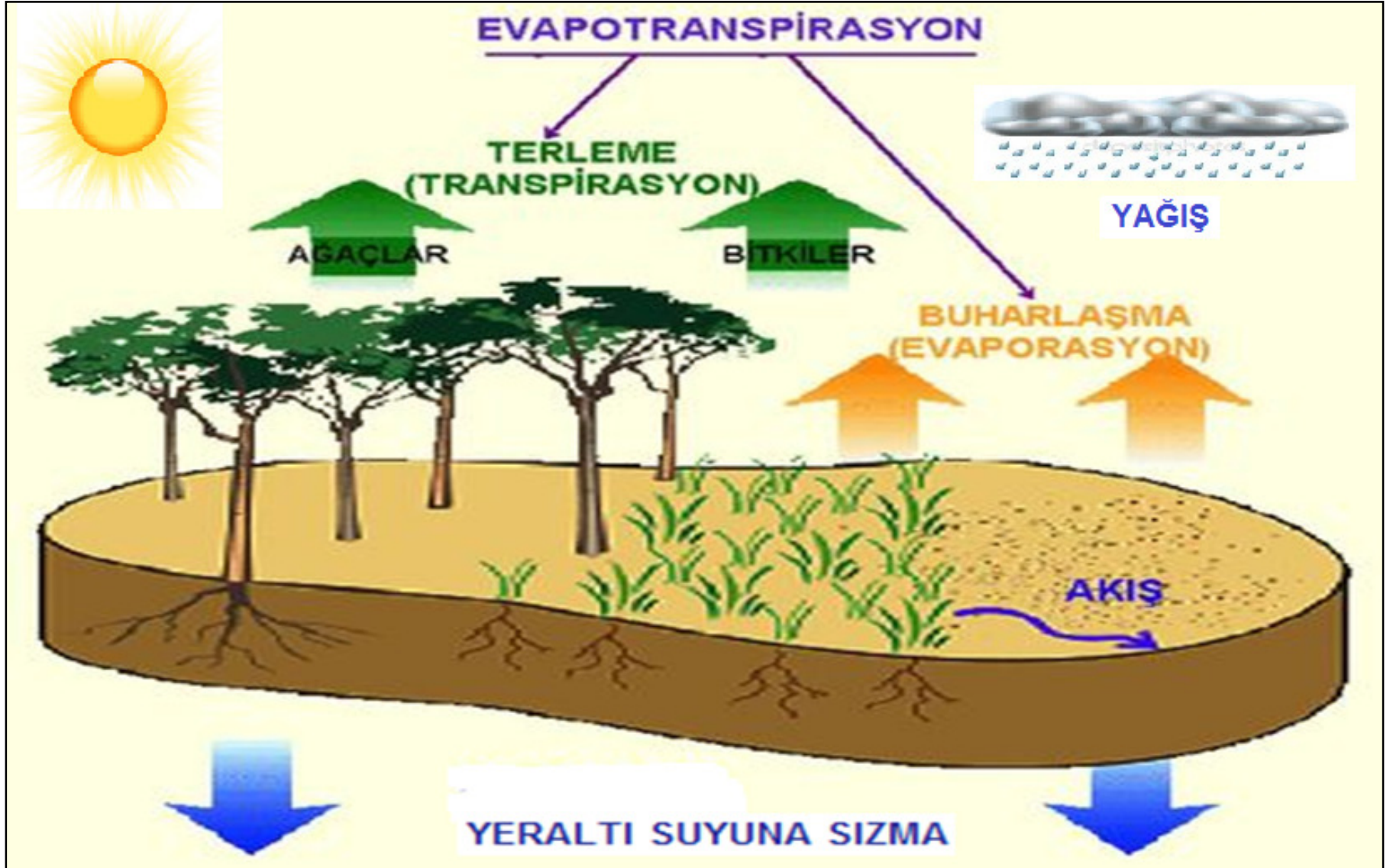
Yağışla yeryüzünü düşen suyun bir kısmı toprağa sızmadan direkt olarak yüzeysel akışa geçmektedir. Bir kısmı da toprağa sızmaktadır. Toprağa sızan suyun bir kısmı bitki tarafından kök bölgesinde depolanmaktadır. Diğer kısmı ise topraktan buharlaşma (**Evaporasyon**) yoluyla, bitki yapraklarından ise terleme (**Transpirasyon**) yoluyla atmosfere geri dönmektedir. Geriye kalan kısmı da yer altı suyuna sızmaktadır (Şekil 1).

Bitki kök bölgesinde depolanan su (Nem) miktarının bitki gelişimi için yeterli olmadığı durumlarda sulamaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Bitkinin yağışla karşılayamadığı kök bölgesindeki nem eksikliğinin sulama suyu olarak toprağa verilmesi işlemine **sulama** adı verilmektedir.

Bitkinin gelişimi için gerekli olan ancak doğal yollarla karşılanamayan suyun çevre ve doğaya zarar verilmeden bitkiye verilmesine **sulama** adı verilmektedir.

Bitki Su Kayıpları



Şekil 1. Bitki Su Kayıpları

Bitki Su Tüketimini Etkileyen Faktörler

Evapotranspirasyon kayıpları ve bitki su tüketimi toprak, bitki ve iklim özellikleri ile ilişkilidir.

Toprak özelliklerinin su tüketimine etkisi

- İşlenmiş topraklarda taneler arasındaki nem daha kolay buharlaşmaktadır.
- Bitki büyümesi ve taç çapı ile doğru orantılı olarak bitki tarafından gölgelenen toprak yüzeyi de büyümektedir. Gölgelenen alan büyüdükçe buharlaşma ile gerçekleşen su kaybı azalmaktadır. Dolayısıyla bitki su tüketimi de azalmaktadır.
- Toprak nemi arttıkça topraktan gerçekleşen buharlaşma miktarı da artacaktır.
- Toprağın infiltrasyon hızının yüksek olması yüzeysel akış kayıplarını azaltmakta, yer altı suyuna sızma yoluyla gerçekleşen su kayıplarını ise arttırabilmektedir.
- İri taneli toprakların geçirgenliği ince taneli topraklara göre daha fazladır. Geçirgenliğin fazla olması yüzeysel akış kayıplarını azaltır. Fakat yer altı suyuna sızma yoluyla gerçekleşen su kayıplarının artmasına neden olabilir.

Bitki özelliklerinin su tüketimine etkisi

- Yaprığın büyüklüğü ve birim alanındaki gözenek sayısı bitki su tüketimini etkilemektedir.
- Yaprak yüzey alanı arttıkça terleme ile su kaybı artmaktadır.
- Ekim-dikim zamanında su tüketimi minimum olup, vejetatif gelişme arttıkça su tüketimi de artmaktadır. Gelişme döneminde maksimum değerlere ulaşmaktadır.

İklim özelliklerinin su tüketimine etkisi

- Hava sıcaklığı, solar radyasyon, güneşlenme süresi ve rüzgar hızı arttıkça evapotranspirasyon kayıpları artmaktadır. Dolayısıyla bitki su tüketimi de artmaktadır.
- Oransal nem arttıkça hava sıcaklığı azalmakta ve dolayısıyla evapotranspirasyon kayıpları ile bitki su tüketimi de azalmaktadır.

Sulama Kavramı

Sulamanın temel amacı, bitki büyümesini ve verimini sınırlandıran topraktaki nem eksikliğini gidermektir.

Aşırı sulama, yüzey suyu seviyesini, topraktaki tuzluluk oranını ve erezyon ile toprak kaybını arttırarak ürün kalitesinin ve veriminin azalmasına neden olmaktadır.

Yetersiz sulama, bitkinin su stresine girmesine neden olarak gelişiminin yavaşlamasına ve verimin düşmesine neden olmaktadır.

En yüksek ve kaliteli verim, sulama suyunun bitkinin ihtiyaç duyduğu dönemlerde ve yeterli miktarlarda bitki kök bölgesine verilmesi ile sağlanabilmektedir.

Otomasyon Kavramı

Otomasyon kelimesinin İngilizcesi “Automation” olup Fransızca kökenli bir kelimedir. Eski Yunan dilinde kendi kendine hareket eden anlamına gelen “Automatos” kelimesinden gelmektedir.

Otomasyon, bir işin insan ile makine arasında uygun şekilde paylaşılması durumudur. Yapılacak işin paylaşım yüzdesi, otomasyonun düzeyini belirlemektedir.

İnsan gücünün yoğun olarak kullanıldığı hastane otomasyonu gibi otomasyon sistemlerine yarı otomasyon, otomobil üretimi gibi makine gücünün yoğun olarak kullanıldığı otomasyon sistemlerine ise tam otomasyon adı verilmektedir.

Otomasyon, bir imalatın başlatılması ve kontrolü için mekanik, elektronik ve bilgisayar tabanlı uygulamalarla ilişkili bir teknolojidir.

Otomasyonun Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları:

- Verimliliğinin arttırılması
- Ürün kalitesinin arttırılması
- İmalat süresinin azaltılması
- Birim zamanda yapılan imalat miktarının arttırılması
- İşçilik giderlerinin azaltılması
- Enerji tasarrufunun arttırılması
- Optimum sağlık ve güvenlik şartlarının sağlanması
- İnsan kaynaklı hataların minimuma indirilmesi

Dezavantajları:

- En büyük dezavantajı ilk kurulum maliyetinin yüksek oluşudur. Bu maliyet de uzun vadede çoğu otomasyon sistemlerinde kendini amorti etmektedir.

Sulama Otomasyonu

Sulama otomasyonunun amacı; su stresinin bitki üzerindeki olumsuz etkisini önlemek, bitki suya ihtiyaç duyar duymaz su verilmesini sağlamak, maksimum düzeyde su tasarrufu sağlamak ve ayrıca zamandan ve işgücünden tasarruf edilmesini sağlamaktır.

Bitkilerde belirli bir sürede terleme (Transpirasyon) ile kaybedilen suyun, kök bölgesinden alınan su miktarından fazla olması durumunda **su stresi** oluşmaktadır. Bitkisel üretimi doğrudan etkileyen su stresi, tam sulanan bitkilerde az, su kısıntısı yapılan bitkilerde ise yüksektir.

Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki bitkisel üretimde en önemli girdilerden birisi sulamadır. Tüm tarımsal girdilerin sağlanması koşuluyla kurak veya yarı kurak iklim kuşağında bitkinin kuraklıktan zarar görmemesi için sulama yapılması zorunludur. Karadeniz Bölgesi kıyı şeridi dışında tüm bölgeleri kurak ve yarı kurak iklim kuşağında bulunan Türkiye’de sulama bitkisel üretim çok önemlidir.

Yarı kurak bölgelerde düzensiz yağış altında sabit sulama programı yürütülmesi çok zordur. Üreticiler sulanacak arazinin başında sürekli bulunamamaktadırlar. Sulama otomasyonu kullanımı bu tür iklim koşullarında çok uygun ve faydalı olmaktadır.

Sulama Otomasyonu Çeşitleri

Sulama otomasyonu sistemleri iki şekilde planlanmaktadır.

1) Açık devre sulama otomasyonu

İklim parametreleri ile toprak ve bitki ihtiyaçlarının dikkate alınmadığı, sulama zamanına ve verilecek sulama suyu miktarına sulayıcının karar verdiği, zamana duyarlı olarak sulama yapan insan kontrollü bir otomasyon sistemidir. Sulama randımanı çok düşük olduğundan dolayı bitkisel üretim için uygun değildir. Ülkemizde yaygın olarak çim alanlarının sulanması amacıyla kullanılmaktadır.

2) Kapalı devre sulama otomasyonu

Sensorler vasıtasıyla iklim parametreleri ve toprak nemi düzeyini ölçüp kaydedebilen, bitki su tüketimi ve sulama suyu miktarlarını hesaplayabilen, sulama zamanı ve süresini belirleyebilen, genellikle toprak nemi düzeyini veya iklim parametrelerine göre belirlenen kıyas bitki su tüketiminden yola çıkılarak belirli sulama aralığı için hesaplanan toplam bitki su tüketimi değerini sulama otomasyonu başlatıcısı (Starter) olarak kullanan, otomatik olarak sulamayı başlatıp bitirebilen, insan müdahalesine ihtiyaç duymayan otomasyon sistemidir.

Türkiye’de Sulama Otomasyonu Kullanımı

Kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1519 m³ olan Türkiye su azlığı yaşayan ve bilinenin aksine su zengini olmayan bir ülkedir.

Ülkemiz topraklarının yarısından fazlasının tarımsal faaliyetler için uygun olmayan dağlık alanlardan meydana gelmesi ve kullanılabilir su kaynaklarının azlığı, mevcut tarım arazileri ile su kaynaklarının en verimli şekilde daha etkin ve ekonomik kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Tarım sektörü % 70 oranla su tüketiminin en fazla olduğu sektördür.

Sulama yöntemi olarak daha çok toprakta tuzlanma ve erozyona neden olan ve aşırı su kullanımı gerektiren geleneksel sulama yöntemleri kullanılmaktadır. Maksimum düzeyde su tasarrufu sağlayan basınçlı sulama yöntemleri ile sulama otomasyonu kullanımı çok düşük seviyelerdedir.

Sulama otomasyonu olarak daha çok park-bahçe sulamasında bitki, toprak ve iklim özellikleri dikkate alınmadan, belirli zaman aralıkları ile insan kontrollü sulama yapılan açık devre sulama otomasyonu kullanılmaktadır. Bitkisel üretimde sulama otomasyonu çok nadir kullanılmaktadır.

Ülkemizde bitki su tüketiminin belirlenmesi ve sulama programlarının hazırlanmasında çeşitli yazılımlar kullanılmaktadır. Fakat suyun bitkilere verilmesi aşamasında sulama otomasyonu kullanımı yeterli düzeyde değildir.

Bu olumsuzluklar; kurulum ve işletme giderleri düşük, su uygulama randımanı yüksek, maksimum düzeyde su ve enerji tasarrufu sağlayan, insan kaynaklı hataları en aza indirebilen basınçlı sulama sistemi şeklindeki kapalı devre sulama otomasyonu sistemlerinin geliştirilmesini ve kullanımının yaygınlaştırılmasını zorunlu kılmaktadır.

Sulama Otomasyonunun Faydaları

- Sulama otomasyonu; su ve gübre kullanım etkinliği arttırmakta, işçilik ve enerji giderleri azaltmakta, insan kaynaklı hataları en aza indirmekte, damla sulama gibi sık ve düşük hacimli sulama sistemlerinin uygulanabilirliği arttırmaktadır.
- Bitki sulama suyu ihtiyacını belirleyen; toprak nemi düzeyi, rüzgar hızı, hava sıcaklığı, solar radyasyon, oransal nem, güneşlenme süresi ve yağmur parametreleri kolaylıkla izlenebilmekte ve su kaynakları daha verimli bir şekilde kullanılabilmektedir.
- Sulama otomasyonu, damla sulama yöntemi ile birlikte kullanıldığında aşırı ve gereksiz su tüketimi önlenerek, tuzlanma ve erozyon gibi toprak kaybına neden olan olumsuzlukların önüne geçilebilmektedir.
- Sulama otomasyonu, damla sulama yöntemi ile birlikte kullanıldığında aşırı ve gereksiz su kullanımından kaynaklanan bitki kök boğazı çürüğü sorunu önlenebilmektedir.
- Sulama otomasyonu, damla sulama yöntemi ile birlikte kullanıldığında su sadece bitki kök bölgesine verilmektedir. Böylece yabancı ot oluşumu önlenerek ayrıca bir ilaçlı mücadeleye gerek kalmamaktadır.
- Ülkemizde kendi sulama otomasyonumuzu kurma, oluşturulan bu otomasyon ile yapılacak sulama programını takip ettirme, sulama otomasyonu bileşenlerini denetleme, uzaktan bir bilgisayar aracılığı ile bitkiye verilen ve bitkinin tükettiği su miktarlarının bilinmesi sulama bilimine ve teknolojisine katkı sağlayacaktır. En önemlisi de tüm bunlar ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.

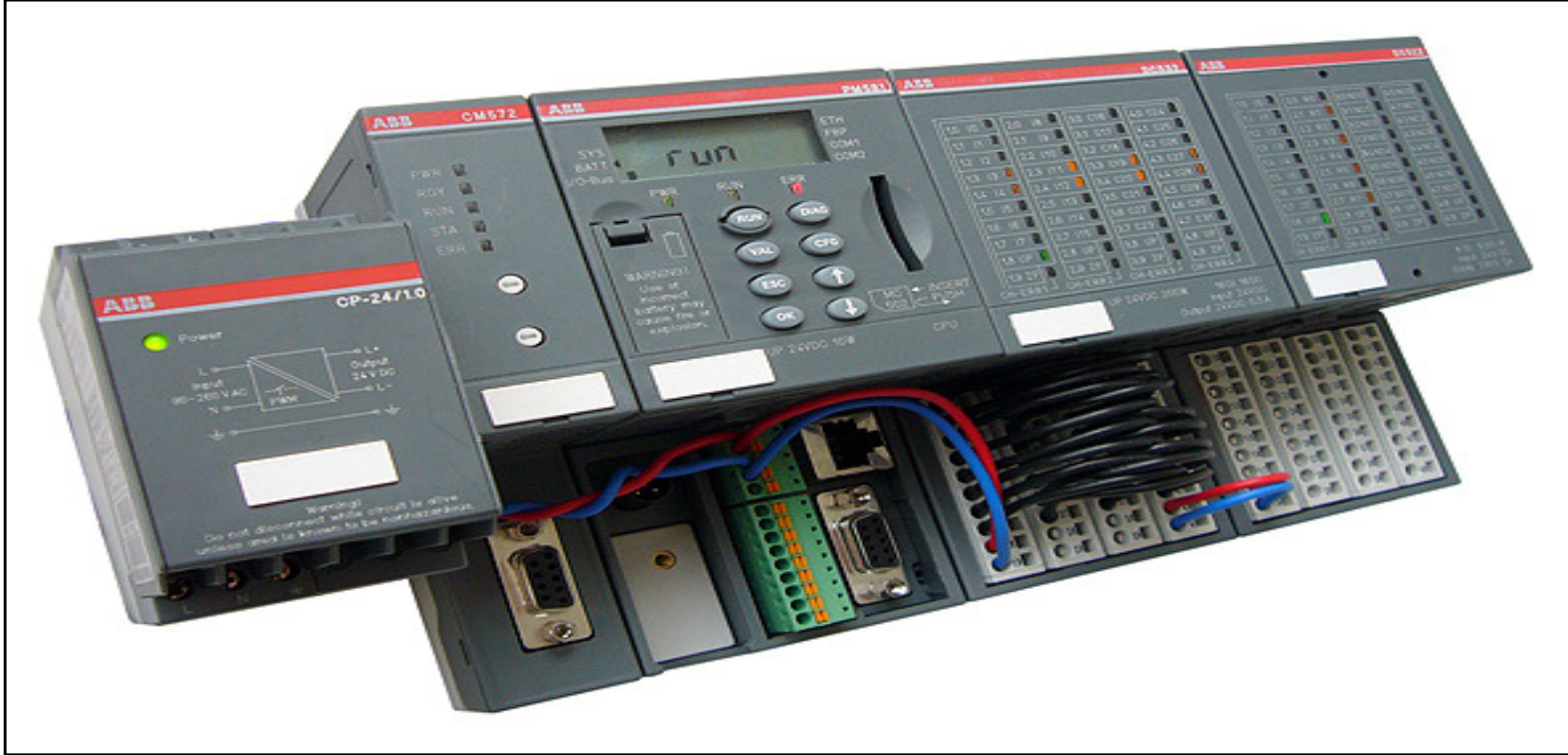
Sulama Otomasyonu ile İlgili Yapılan Bazı Önemli Bilimsel Çalışmalar

- “Nem Algılayıcı Otomatik Sulama Sistemi” isimli çalışma ile aynı cins ürün ve rekolte değeri için % 50 su tasarrufu sağlandığı bildirilmiştir [1].
- Karık sulamada işçiliği azaltmak ve su tasarrufu sağlamak amacıyla geliştirilen bir sulama otomasyonu sisteminin işçiliği azalttığı, suyu daha homojen dağıtarak kayıpları da azalttığı belirtilmiştir [2].
- Bodur kiraz bahçelerinde oluşturulan sulama otomasyon sisteminin yalnız su stresini ve tuzluluğu önlemeyeceği aynı zamanda tatlı su kaynaklarının optimum kullanımını sağlayacağı ve yüzey sulamada işçilik ihtiyacını ortadan kaldıracacağı belirtilmiştir [3].
- Bilgisayar kontrollü olarak toprak nemini ölçen otomatik damlama sulama sistemi ile doğru zamanda doğru miktarda sulamayla aşırı veya yetersiz sulama problemlerinin çözülebileceği ortaya koyulmuştur [4].
- Bitki gövdesindeki sıvı akışını akustik sensor ile ölçme esasına dayanan bilgisayar kontrollü bir otomatik sulama sistemi gerçekleştirilmiştir [5].
- Mikroişlemci tabanlı kızılötesi algılayıcısı ile etkin sulama ve erozyon önleme sistemi tasarlanmıştır [6].
- Bulanık mantık algoritmaları kullanılarak, uzaktan kontrol ünitesi bulunmayan “Akıllı Sulama Sistemi” gerçekleştirilmiştir [7].
- Yabancı ülkelerde damla sulama otomasyon teknolojisinin son 20-30 yıldan beri kullanıldığı ve günümüzde damla sulama otomasyonunun daha güçlü ve ucuz olduğu ifade edilmektedir [8].

Sulama Otomasyonu Sistemlerinde PLC Kullanımı

Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC)

PLC, farklı amaçlar doğrultusunda CODESYS programlama dilinde yazılan programların yüklendiği, çeşitli cihaz ve sistemlerin kontrol edilmesini sağlayan bir otomasyon cihazıdır.

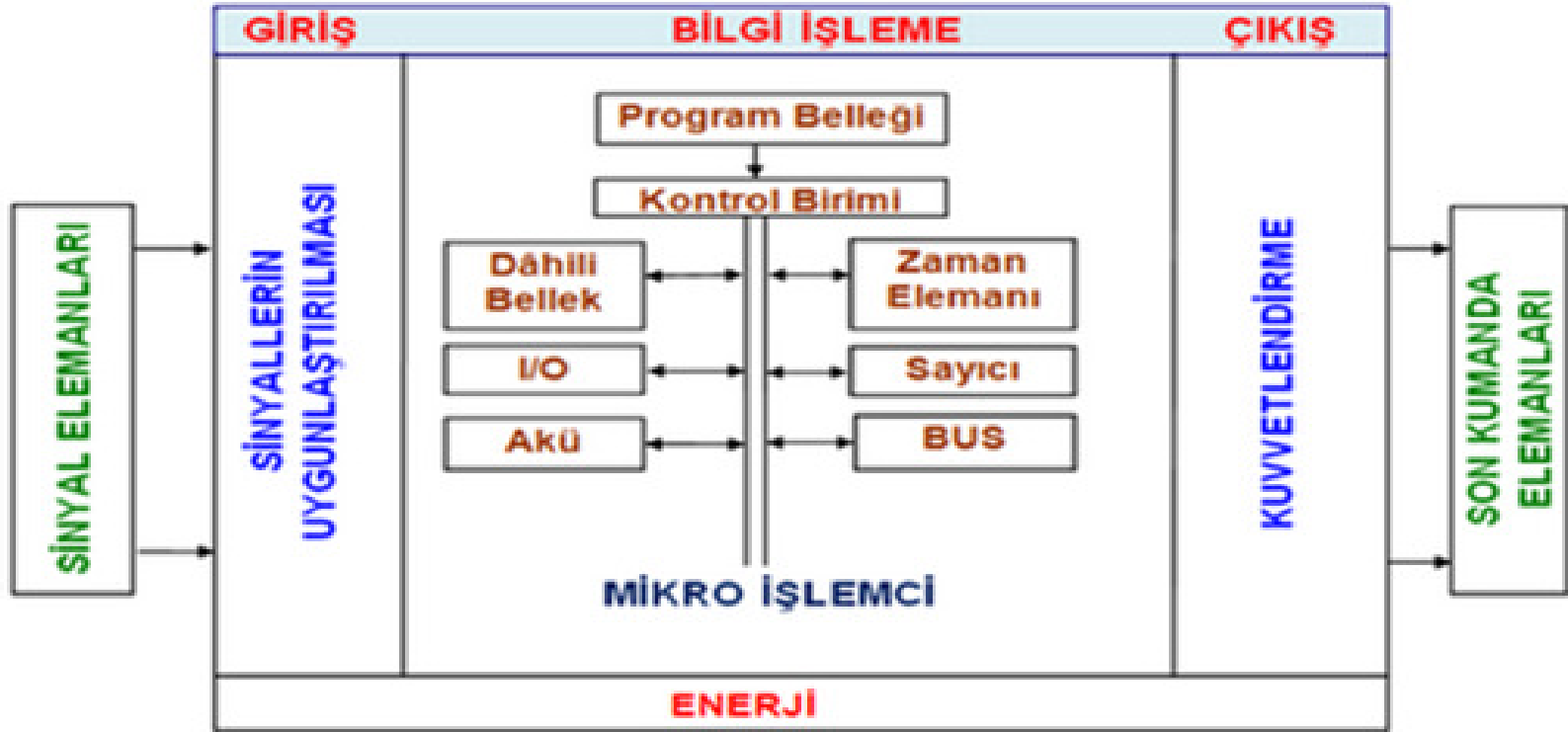


Şekil 2. Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC)

Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) Birimleri

Bir PLC temel prensip olarak üç birimden oluşur;

1. Merkezi işlem birimi (CPU)
2. Bütün sinyal elemanlarının bağlandığı giriş birimi (Giriş kartı)
3. Kumanda edilecek elemanların bağlandığı çıkış birimidir (Çıkış kartı)



Şekil 3. Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) Birimleri

Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) Birimleri

1-) Merkezi İşlem Birimi (CPU)

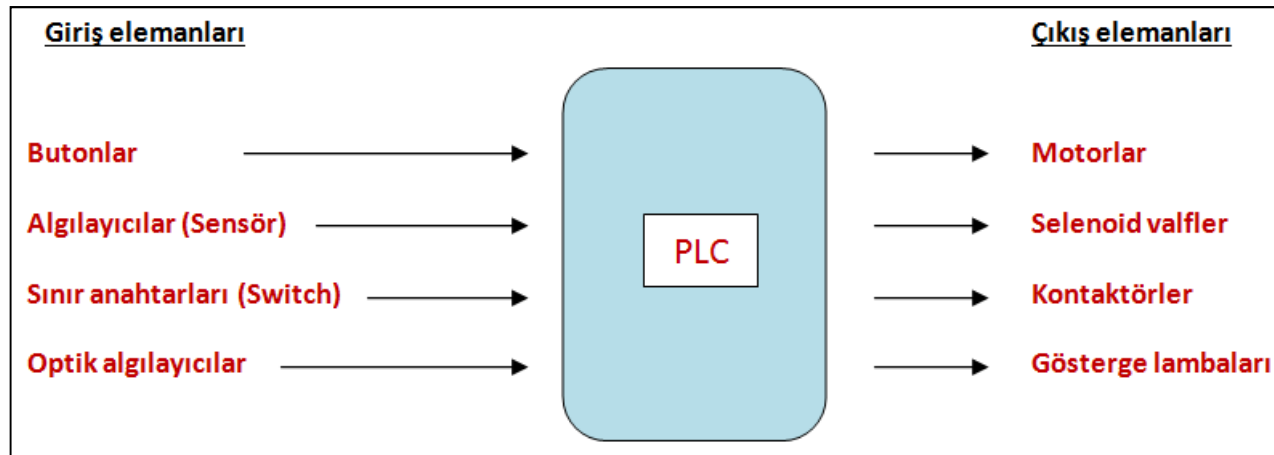
Giriş elemanlarını okuyarak program içerisindeki istenilen çıkışları çıkış kartına yazar. Yazılımın derlendiği ve uygulandığı kontrol kısmıdır.

2-) Giriş Birimi

Kontrol edilen sisteme ait analog ve dijital sinyalleri Merkezi İşlem Birimine (Mikro İşlemci-CPU) aktaran birimdir.

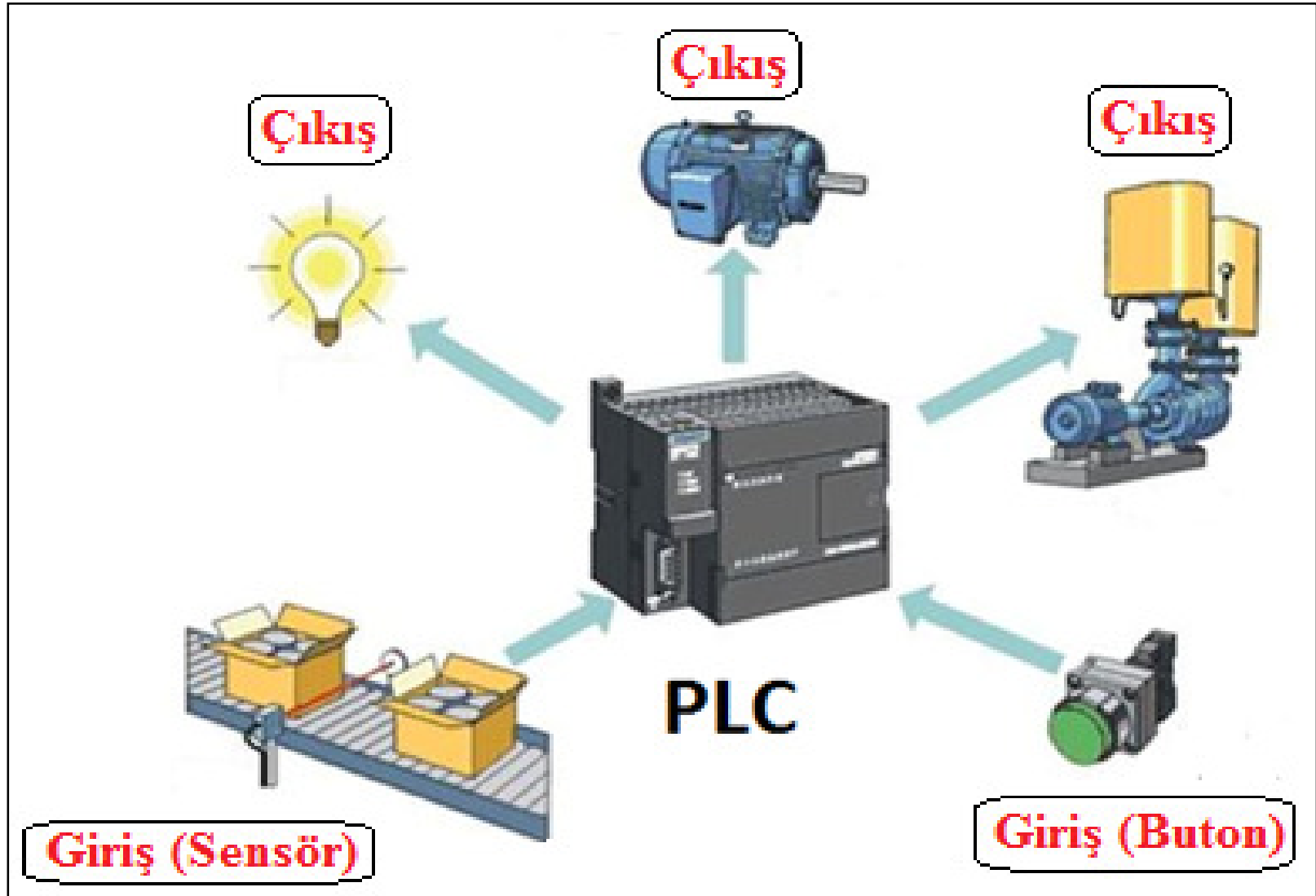
3-) Çıkış Birimi

Kontrol edilen sistemdeki analog ve dijital sinyalleri elektriksel işaretlere dönüştüren birimdir.



Şekil 4. PLC Giriş ve Çıkış Birimleri

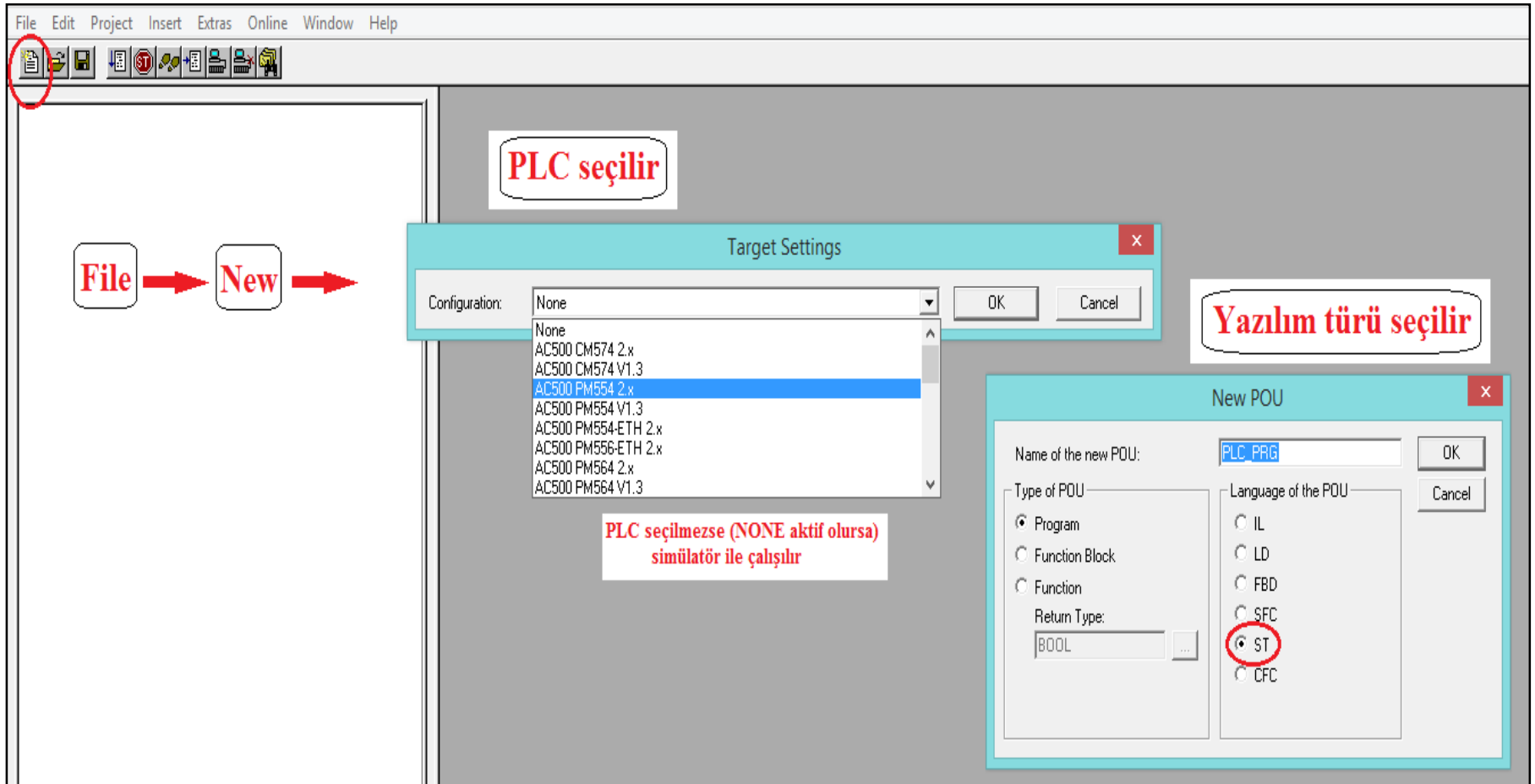
Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) Birimleri



Şekil 5. PLC Giriş ve Çıkış Birimleri

CODESYS Programlama Dili

Codesys ile çok fazla sayıda marka PLC programlanabilmektedir. Bu amaçla ilk olarak programlanacak PLC markasının ve devamında Codesys yazılım türünün tanıtılması gerekmektedir. ABB PLC tarafından üretilen **ABB Builder Yazılımı** ile donanım ve haberleşme tanıtılmakta ve kodlama Codesys dilinde yapılmaktadır (Şekil 6).

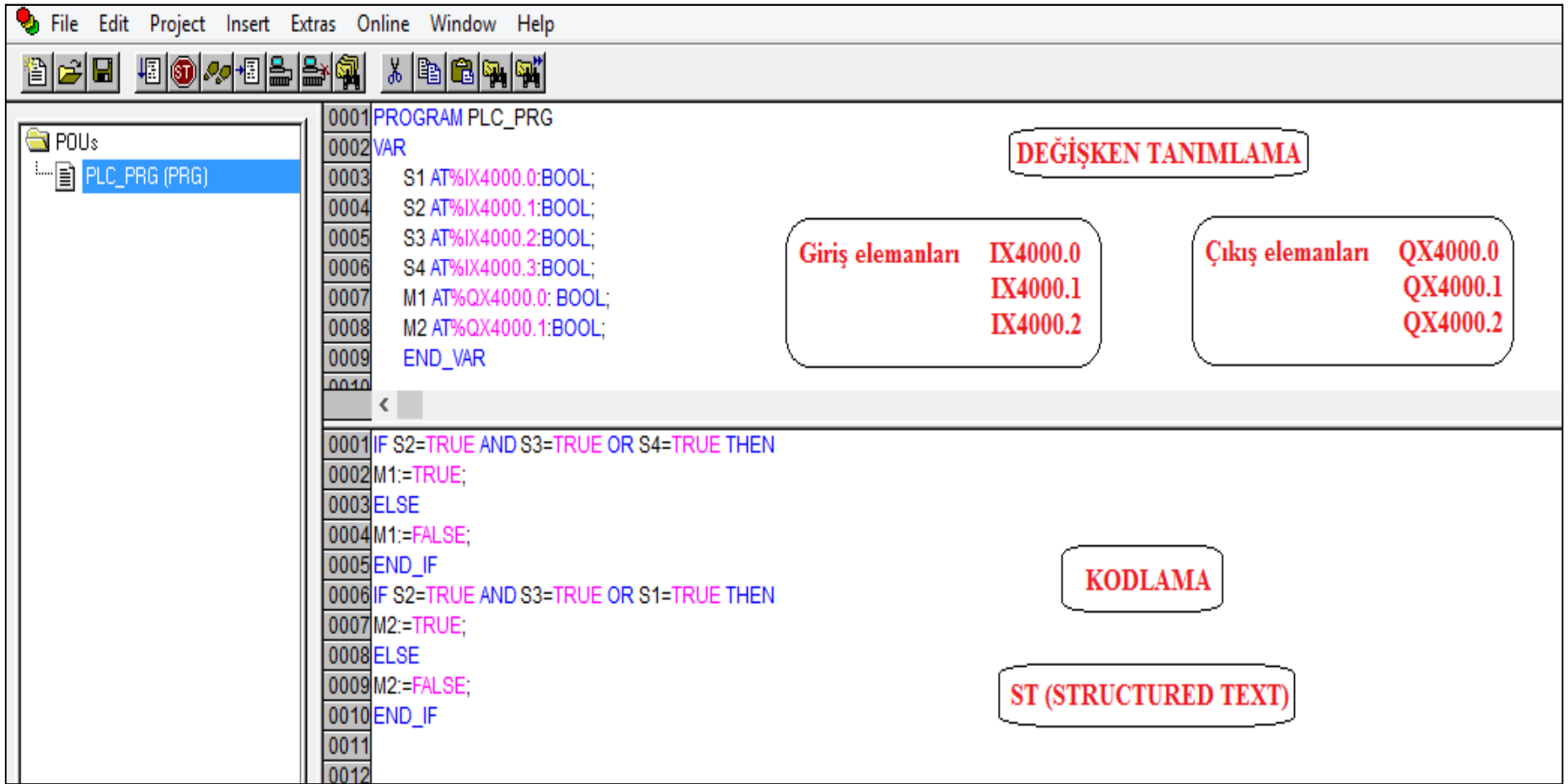


Şekil 6. ABB Builder Yazılımı ile PLC Tipi ve Yazılım Türünün Tanıtılması

CODESYS Programlama Dili

ABB Builder Yazılımında giriş ve çıkış elemanları 4000 nolu BYTE adresinden tanımlanmaktadır. Her BYTE 8 BİT'ten oluşmaktadır (Şekil 7).

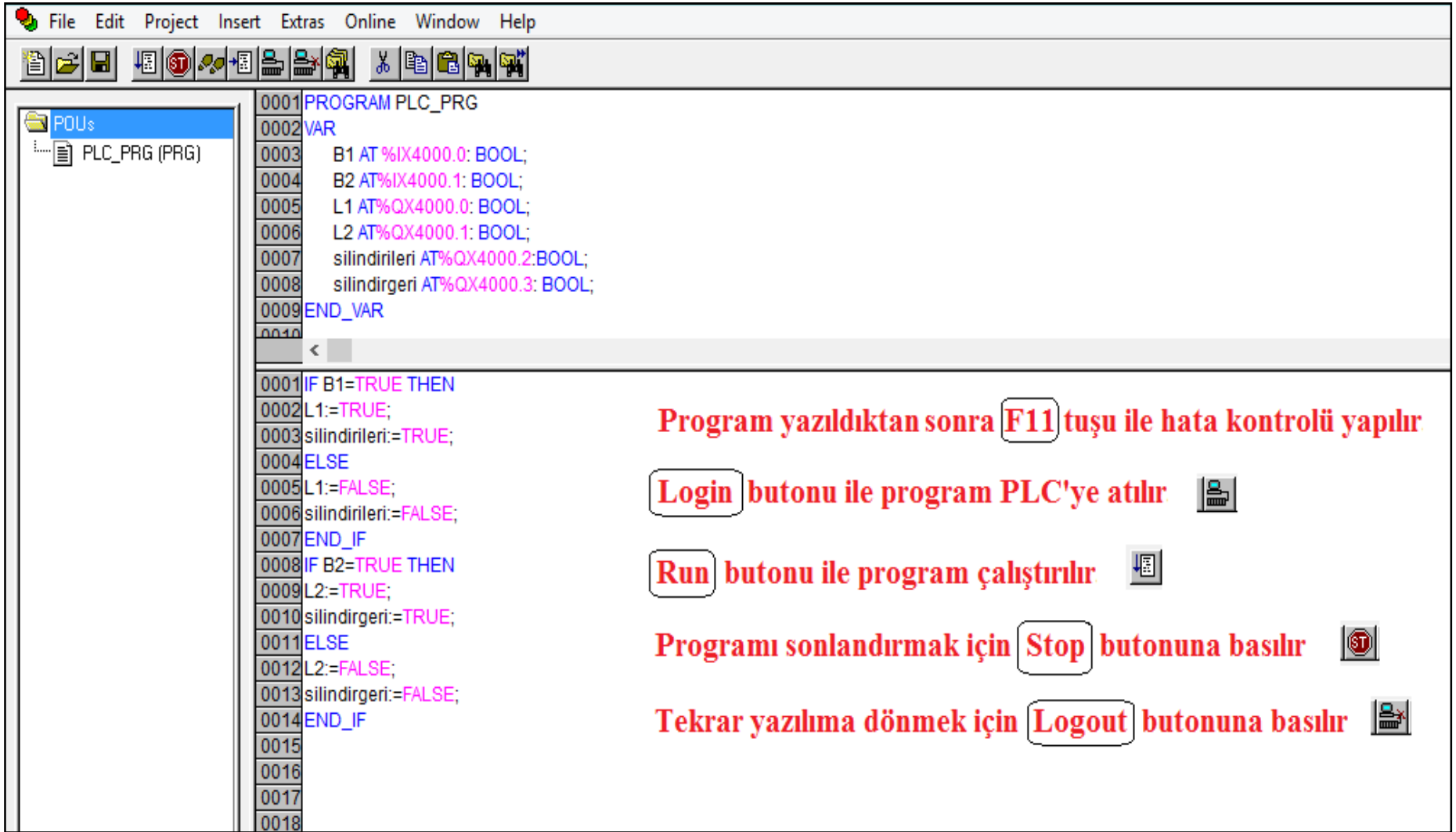
BİT: 1 / 0 – Açık / Kapalı – True / False anlamındaki bilgilere verilen isimdir. PLC sistemlerinde girişlere bağlanan sinyallerin uyarılması ile o girişe ait değer “1” lojik 1 olur.



Şekil 7. ABB Builder Yazılımı ile Değişken Tanımlama ve Kodlama

CODESYS Programlama Dili

ABB Builder Yazılımında hazırlanan bir programın hata kontrolü, PLC'ye yüklenmesi, çalıştırılması ve durdurulması işlemleri şekil 8'de verilen uygulamalar ile yapılmaktadır.



The screenshot displays the ABB Builder software interface. The left pane shows the project structure with 'POUs' and 'PLC_PRG (PRG)'. The main editor shows the following code:

```
0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003     B1 AT %IX4000.0: BOOL;
0004     B2 AT %IX4000.1: BOOL;
0005     L1 AT %QX4000.0: BOOL;
0006     L2 AT %QX4000.1: BOOL;
0007     silindirileri AT %QX4000.2: BOOL;
0008     silindirgeri AT %QX4000.3: BOOL;
0009 END_VAR
0010
0001 IF B1=TRUE THEN
0002     L1:=TRUE;
0003     silindirileri:=TRUE;
0004 ELSE
0005     L1:=FALSE;
0006     silindirileri:=FALSE;
0007 END_IF
0008 IF B2=TRUE THEN
0009     L2:=TRUE;
0010     silindirgeri:=TRUE;
0011 ELSE
0012     L2:=FALSE;
0013     silindirgeri:=FALSE;
0014 END_IF
0015
0016
0017
0018
```

Program yazıldıktan sonra **F11** tuşu ile hata kontrolü yapılır

Login butonu ile program PLC'ye atılır 

Run butonu ile program çalıştırılır 

Programı sonlandırmak için **Stop** butonuna basılır 

Tekrar yazılıma dönmek için **Logout** butonuna basılır 

Şekil 8. ABB Builder Yazılımı ile Programın Çalıştırılması

Bitki Su Tüketiminin Belirlenmesi

Sulama zamanı ve aralıklarının belirlenmesinde, sulama ve drenaj sistemlerinin projelendirilmesi ve işletilmesinde, kuraklığın izlenmesi ve hidrolojik modellerin oluşturulmasında temel veri bitki su tüketimidir **(Evapotranspirasyon) (ET)**.

Bitki su tüketiminin tahmin edilmesinde bitki, iklim ve toprak özelliklerine dayalı olarak çok sayıda matematiksel yöntem geliştirilmiştir.

Bu yöntemlerin başlıcaları; Penman Monteith, Pan Evaporation, Hargreaves ve Blaney Criddle yöntemleridir.

Bu yöntemlerde;

Bitki özellikleri olarak; bitkinin cinsi, büyüme mevsimi, bitki büyüme katsayısı, etkili kök veya toprak derinliği dikkate alınmaktadır.

Toprak özellikleri olarak; toprağın birim hacim ağırlığı , su alma (İnfilitrasyon) hızı, sulama yönünden toprak nemi sabitleri olarak adlandırılan: doyma noktası, tarla kapasitesi, solma noktası ve fırın kuru değerleri ile kullanılabilir su tutma kapasitesi ve sulamaya başlanacak toprak nemi düzeyi dikkate alınmaktadır.

İklim parametreleri olarak; hava sıcaklığı (T), solar radyasyon (Rs) , güneşlenme süresi (n), oransal nem (RH), etkili yağış (R) ve rüzgar hızı (U) değerleri dikkate alınmaktadır.

Bitki Su Tüketiminin Belirlenmesi

Sulama otomasyonları bir sulama programı kapsamında çalıştırılırlar. Kapalı devre sulama otomasyonlarında sulamayı başlatıcı **(Starter)** etken olarak aşağıda verilen değişkenler kullanılabilmektedir.

- Güvenilir kaynaklardan elde edilen ve iklim verilerine dayalı olarak belirli bir sulama aralığı için belirlenen bitki su tüketimi değeri
- Bitki kök bölgesindeki sulamaya başlanacak kritik nem düzeyi

Sulama otomasyonu sistemi bu starterlere duyarlı bir şekilde insan kontrolüne gerek kalmadan sulama sistemini kontrol ederek sulamayı başlatıp bitirebilmektedir.

Sulama programlarının hazırlanmasına sulama yönünden bitki, toprak ve su ilişkisinin ortaya koyulması ile başlanmaktadır. Bu amaçla;

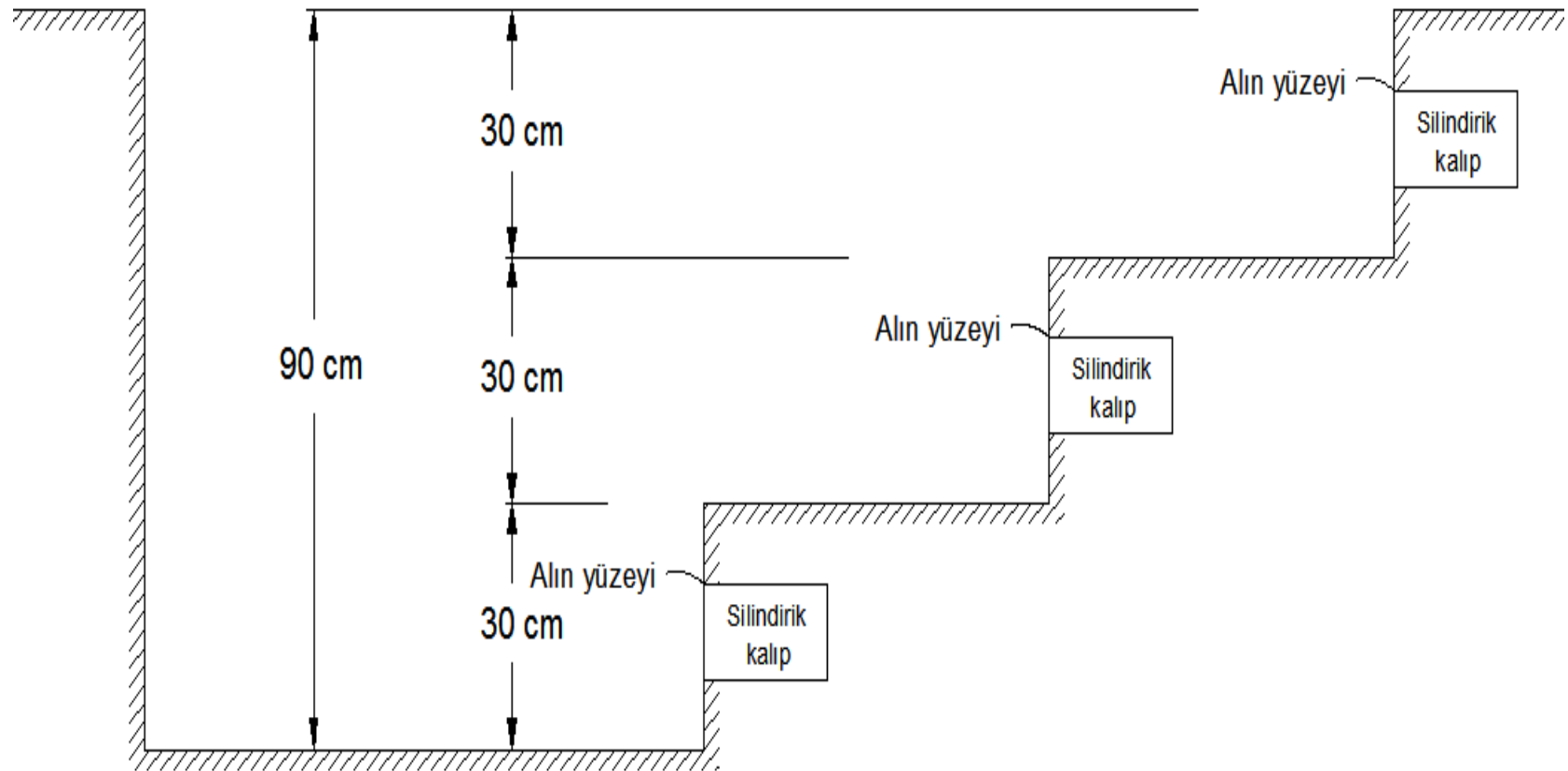
- ❖ İlk olarak bitki kök bölgesindeki toprağın fiziksel özellikleri ve bu özelliklere bağlı olarak toprak nemi sabitleri (Tarla kapasitesi, solma noktası) belirlenmektedir.
- ❖ Zamana bağlı olarak bitki su tüketiminin belirlenmesinde ise bitkisel üretimin gerçekleştirileceği bölgenin iklim verileri dikkate alınmaktadır.

Toprağın Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Sırasıyla aşağıda verilen işlemler yapılarak toprağın fiziksel özellikleri belirlenmektedir.

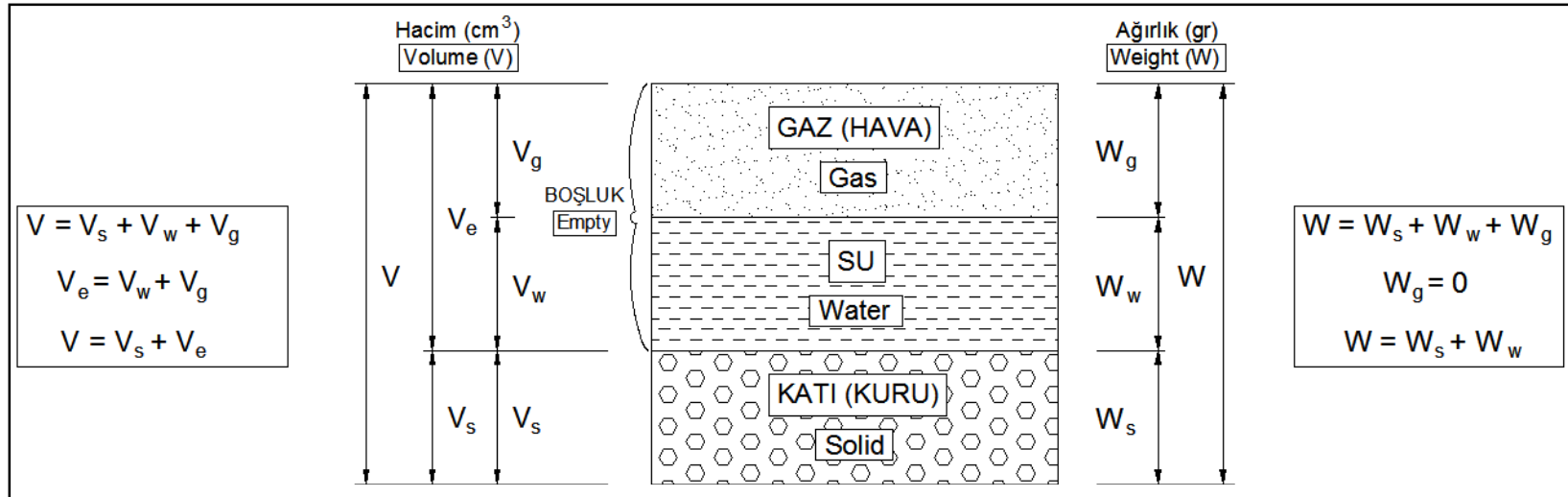
- 1) Her bir basamağının yüksekliği 30 cm olan 3 basamaklı merdiven şeklinde toplam 90 cm derinliğe sahip bir toprak profili açılır (Şekil 9).
- 2) Toprak profilinin her bir katmanının alın yüzeyinden bozulmamış toprak örnekleri alınır.
- 3) 100 cm³ hacmindeki silindirik kalıpların 30 cm yüksekliğindeki basamakların alın yüzeylerine çakılması ile alınacak bozulmamış toprak örnekleri silindirik kalıplardan çıkartılmadan hassas terazide tartılarak ağırlıkları tespit edilir ($W_{sil}+W$). Toprak örneklerinin laboratuvara taşınması sırasında nem kaybının önlenmesi için numuneler kapatılarak gerekli önlemler alınmalıdır.
- 4) Bozulmamış toprak örnekleri 105 °C sıcaklığa ayarlanmış etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutularak ağırlıkları belirlenir ($W_{sil}+W_s$).
- 5) 3. ve 4. maddelerde elde edilen her iki ağırlık değerinden kalıp ağırlığı (W_{sil}) çıkartılarak toprak örneklerinin toplam (W) ve kuru (W_s) ağırlıkları elde edilir.
- 6) Toplam ağırlıklardan (W), kuru ağırlıklar (W_s) çıkartılarak su ağırlıkları (W_w) elde edilir.
- 7) Toprak bünyesindeki bölümler arasında geçerli olan eşitlikler Şekil 10'da verilmiştir.
- 8) Suyun birim hacim ağırlığı 1 gr/cm³ olduğundan, hacmi ağırlığına eşittir.
- 9) Bozulmamış toprak örnekleri 100 cm³ hacimli silindirik kalıpları tamamen dolduracak şekilde alınacakları için, hacimleri 100 cm³ olarak dikkate alınmaktadır.
- 10) En az 6 adet bozulmamış toprak örneği için belirlenecek hacim ağırlığı ve mevcut toprak nemi içeriği değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak, deneme alanı toprağını temsil eden ortalama hacim ağırlığı ve toprak nemi içeriği değerleri elde edilmektedir.

Toprağın Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi



Şekil 9. Muayene Çukuru

Toprağın Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi



$$\gamma_T = \frac{W_s}{V}$$

$$P_w = \frac{W - W_s}{W_s} \cdot 100 = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$$

$$P_v = \frac{V - V_s}{V} \cdot 100 = \frac{V_w}{V} \cdot 100$$

$$d = P_w \cdot \gamma_T \cdot D$$

$$d = P_v \cdot D$$

γ_T : Toprağın hacim ağırlığı (gr/cm³)

W_s : Toprağın kuru ağırlığı (gr)

V : Toprağın hacmi (cm³)

P_w : Kuru ağırlığın yüzdesi cinsinden toprak nemi (%)

W : Toprağın yaş ağırlığı (gr)

W_w : Su ağırlığı (gr)

P_v : Toplam hacmin yüzdesi cinsinden toprak nemi içeriği (%)

V_s : Toprağın kuru hacmi (cm³)

V_w : Su hacmi (cm³)

d : Su yüksekliği cinsinden toprak nemi (mm)

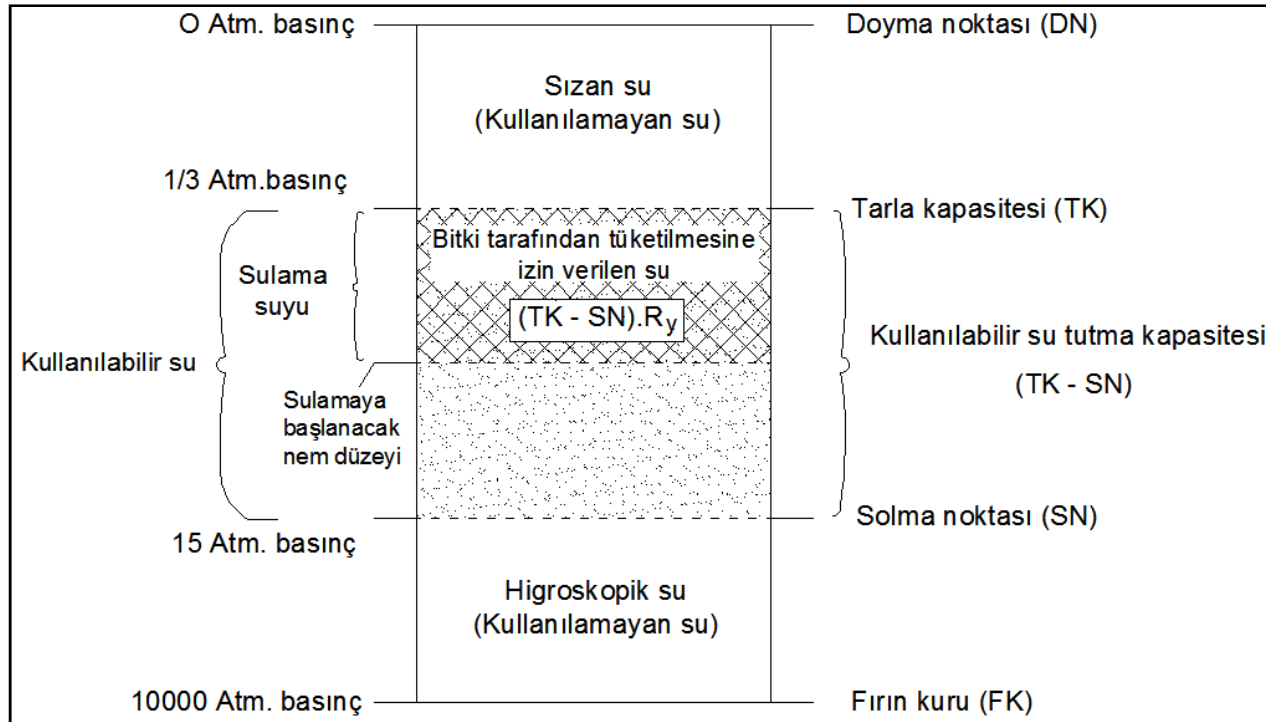
D : Toprak katmanı derinliğidir (mm)

Şekil 10. Toprağın Fiziksel Özellikleri

Toprak Nemi Sabitlerinin Belirlenmesi

Serbest drenaj koşulları altında bitki kök bölgesindeki nem değişimi aşağıda verilen toprak nemi sabitleri ile ifade edilmektedir (Şekil 11).

- **Doyma Noktası:** 0 Atmosfer basınç altında toprak taneleri arasında tutulan nem miktarıdır. Toprağın tamamen suya doymun olduğu konumdur.
- **Tarla Kapasitesi:** 1/3 Atmosfer basınç altında toprak taneleri arasında tutulan nem miktarıdır.
- **Solma Noktası:** 15 Atmosfer basınç altında toprak taneleri arasında tutulan nem miktarıdır.
- **Fırın Kuru:** 1000 Atmosfer basınç altında toprak taneleri arasında tutulan nem miktarıdır. Toprağın tamamen kuru olduğu konumdur.



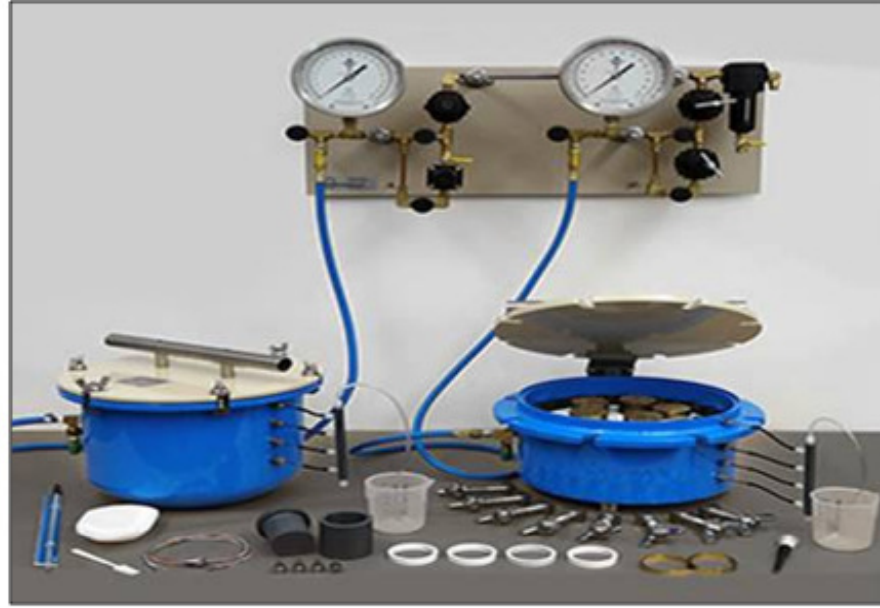
Şekil 11. Toprak Nemi Sabitleri

Toprak Nemi Sabitlerinin Belirlenmesi

Toprak nemi sabitleri sırasıyla aşağıda verilen işlemler yapılarak belirlenmektedir.

- 1) Toprağın kullanılabilir su tutma kapasitesini (dk) ve sulamaya başlanacak nem düzeyini (dmr) belirlemek amacıyla, tarla kapasitesi (TK) ve solma noktası (SN) değerleri tespit edilir.
- 2) Tarla kapasitesi ve solma noktası 30 cm yüksekliğindeki her bir katman için ayrı ayrı belirlenir. Daha sonra her bir katman için elde edilen değerler toplanarak gerçek değerler elde edilir.
- 3) Her bir katmandan alınan toprak örnekleri gölgede kurutulur ve 2 mm açıklıklı elekten elenir.
- 4) Tarla kapasitesi ve solma noktası tayini için; iki adet poroz kap üzerine üçer adet halka koyularak, bu halkalar 2 mm açıklıklı elekten elenmiş toprak ile doldurulur. Toprak örnekleri içinde saf su bulunan birer kaba yerleştirilerek suya doyana kadar bir gece bekletilir (Şekil 8).
- 5) Saf suya doymuş toprak örnekleri ayrı ayrı basınçlı tencerelere yerleştirilir. Tarla kapasitesi için 1/3 atmosfer basınç, solma noktası için 15 atmosfer basınç uygulanır (Şekil 12).
- 6) 2-3 gün sonra toprak örnekleri tencerelerden çıkarılarak önce yaş ağırlıkları (W) daha sonra 105 °C sıcaklığa ayarlanmış etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutularak kuru ağırlıkları (Ws) belirlenir. Yaş ağırlıklardan kuru ağırlıklar çıkartılarak su ağırlıkları (Ww) belirlenir.
- 7) Şekil 12'de verilen eşitlikler kullanılarak kuru ağırlığın yüzdesi cinsinden ve su derinliği cinsinden tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri belirlenir. Her bir katman için üçer adet olarak belirlenen tarla kapasitesi ve solma noktası değerlerinin aritmetik ortalamaları alınarak, ilgili katmanı temsil eden ortalama değerler elde edilir.
- 8) Her bir katman için elde edilen ortalama değerlerin toplanmasıyla da toprak profilini temsil eden tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri belirlenmiş olur.
- 9) Atmosfer basıncı 10,33 ton/m² olarak dikkate alınmaktadır.

Tarla Kapasitesi ve Solma Noktasının Belirlenmesi



$$P_{W(TK)} = \frac{W - W_s}{W_s} \cdot 100 = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$$

$$P_{W(SN)} = \frac{W - W_s}{W_s} \cdot 100 = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$$

$$d_{TK} = P_{W(TK)} \cdot Y_T \cdot D$$

$$d_{SN} = P_{W(SN)} \cdot Y_T \cdot D$$

$P_{W(TK)}$: Kuru ağırlığın yüzdesi cinsinden tarla kapasitesi (%)

$P_{W(SN)}$: Kuru ağırlığın yüzdesi cinsinden solma noktası (%)

d_{TK} : Su yüksekliği cinsinden tarla kapasitesi (mm)

d_{SN} : Su yüksekliği cinsinden solma noktası (mm)

D : Toprak katmanı derinliği (mm)

Şekil 12. Tarla Kapasitesi ve Solma Noktasının Belirlenmesi

Sulamaya Başlanacak Toprak Nemi Düzeyinin Belirlenmesi

Bitki, tarla kapasitesi ve solma noktası arasında kalan kullanılabilir su tutma kapasitesinden faydalanabilmektedir (Şekil 11). Kullanılabilir su tutma kapasitesinin bitki tarafından tüketilmesine izin verilen kısmı bitki tarafından tüketiliği anda, bitki kök bölgesindeki mevcut nem düzeyi sulamaya başlanacak nem düzeyine düşmüş olmaktadır. Bu seviyede, bitkinin tükettiği su miktarı (d_n) kadar sulama suyu uygulanarak toprak nemi içeriğinin tekrar tarla kapasitesine çıkartılması gerekmektedir. Kullanılabilir su tutma kapasitesinin bitki tarafından tüketilmesine izin verilen kısmı (R_y); geleneksel yüzey sulama yöntemlerinde % 50-% 60 arasında, damla sulama yönteminde % 30-% 40 arasında ve yağmurlama yönteminde % 50 olarak alınır.

$$d_k = (TK - SN) \cdot Y_T \cdot D \quad d_k = (d_{TK} - d_{SN})$$

$$d_n = d_k \cdot R_y \quad d_{mr} = d_{TK} - d_n$$

d_k : Kullanılabilir su tutma kapasitesi (mm)

TK: Kuru ağırlığın yüzdesi cinsinden tarla kapasitesi (%)

SN: Kuru ağırlığın yüzdesi cinsinden Solma Noktası (%)

d_{TK} : Su yüksekliği cinsinden tarla kapasitesi (mm)

d_{SN} : Su yüksekliği cinsinden solam noktası (mm)

R_y : Kullanılabilir su tutma kapasitesinin bitki tarafından tüketilmesine izin verilen kısmı (%)

d_{mr} : Sulamaya başlanacak toprak nemi düzeyi (mm)

d_n : Bitki kök bölgesinde depolanması istenen sulama suyu miktarı (mm)

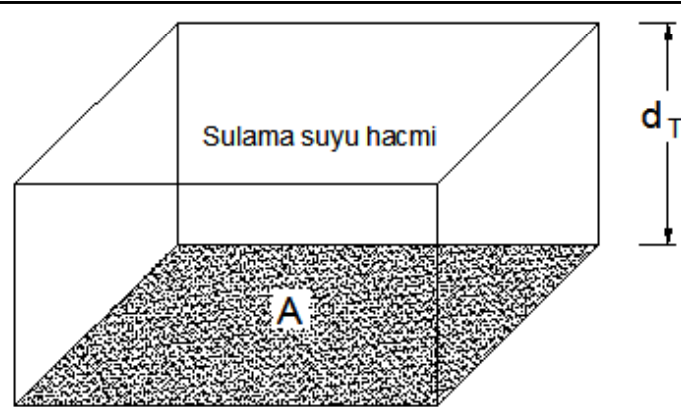
Sulama Suyu Miktarının Belirlenmesi

Sulama suyunun sulama alanına iletilmesi ve uygulanması sırasında kayıplar meydana gelebilir. Hesaplamalarda bu kayıplar da dikkate alınmalıdır. Bitki kök bölgesine verilecek sulama suyu yüksekliğinin (d_n) sulama parseli su uygulama randımanına (E_a) oranı ile eşitlik 1'de verilen sulama alanı başında ihtiyaç duyulan su yüksekliği elde edilir. Bitki kök bölgesine verilecek sulama suyu yüksekliğinin (d_n) sulama parseli su uygulama randımanı (E_a) ile sulama sistemi su iletim randımanı (E_c) çarpımına oranı ile de eşitlik 2'de verilen sulama alanı başındaki sulama kanalında (Su kaynağında) ihtiyaç duyulan su yüksekliği elde edilir. Damla sulama yönteminde su uygulama randımanı % 90, su iletim randımanı ise % 98 olarak dikkate alınır. Toplam sulama suyu yüksekliğinin sulama alanı (A) ile çarpımı sonucunda eşitlik 3'de verilen hacim cinsinden sulama suyu miktarı (V) elde edilir.

$$d_T = \frac{d_n}{E_a} \quad (1)$$

$$d_T = \frac{d_n}{E_a \cdot E_c} \quad (2)$$

$$V = A \cdot d_T \quad (3)$$



d_T : Sulama alanına uygulanacak toplam sulama suyu yüksekliği (mm)

E_a : Sulama parseli su uygulama randımanı (%)

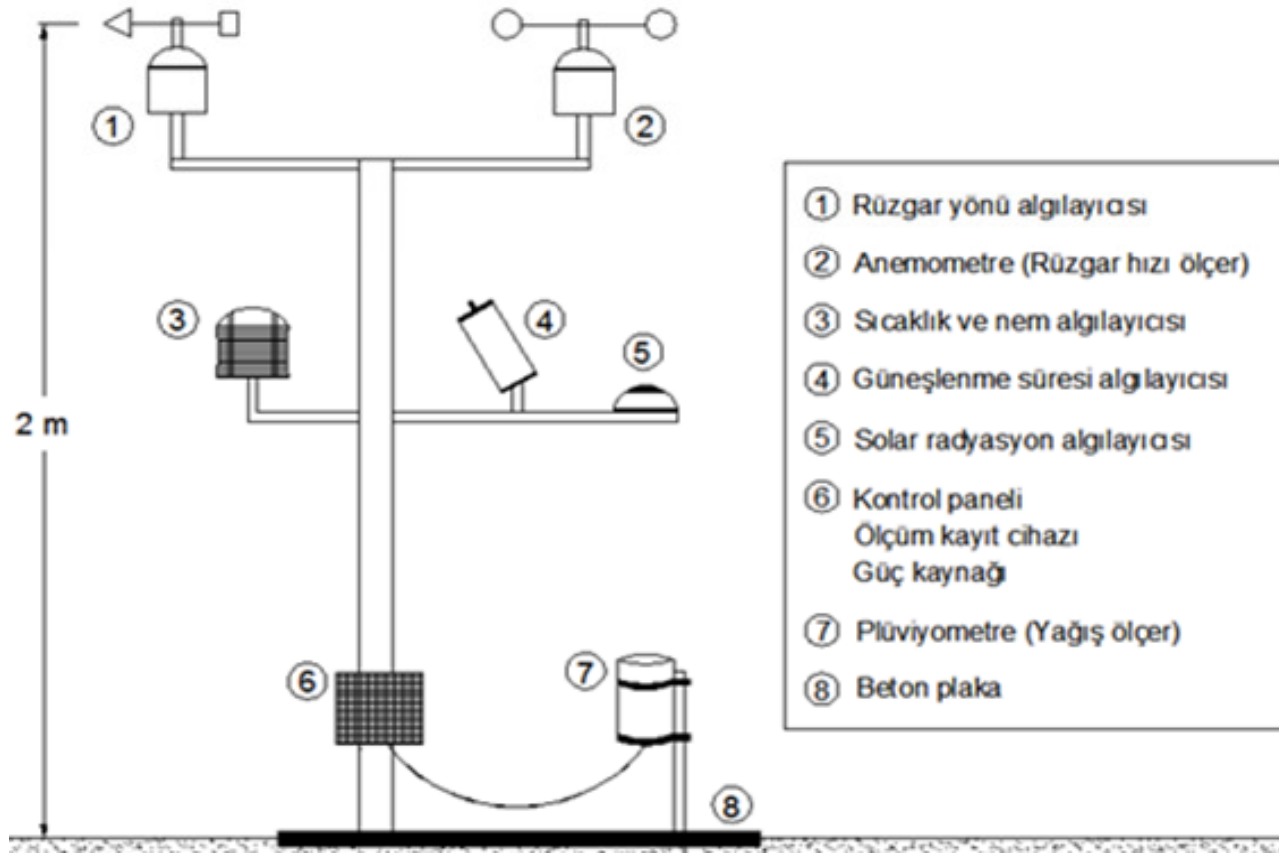
E_c : Sulama sistemi su iletim randımanı (%)

V : Sulama alanına uygulanacak toplam sulama suyu hacmi (m^3)

A : Sulama suyu uygulanacak yüzey alanı (m^2)

İklim Parametreleri Kullanılarak Bitki Su Tüketiminin Belirlenmesi

Ülkemizde hava sıcaklığı, solar radyasyon, güneşlenme süresi, oransal nem, yağış ve rüzgar hızı ölçümleri [Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü](#) tarafından yapılmaktadır. Bu ölçümler daha çok şehir ve bölge düzeyinde genel olarak yapılmaktadır. [Bitkisel üretimde daha hassas ölçülen lokal iklim verilerine ihtiyaç duyulmaktadır.](#) Bu amaçla tarımsal faaliyetler için üretilen portatif iklim istasyonları kullanılmaktadır (Şekil 13).



Şekil 13. Tarımsal Amaçlı İklim İstasyonu

İklim Parametrelerinin Ölçülmesinde Kullanılan Cihazlar

Tarımsal faaliyetler için kullanılan iklim istasyonları aşağıda verilen ölçme cihazlarının bir araya getirilmesi sonucunda oluşturulmaktadır (Şekil 14).



Solar radyasyon sensörü



Hava sıcaklığı ve oransal nem sensörü



Güneşlenme süresi sensörü



Yağış ölçer (Plüviometre)



Rüzgar hızı sensörü (Anemometre)

Şekil 14. İklim Parametreleri Ölçme Cihazları

Penman Monteith eşitliği FAO-56 modifikasyonu

Kıyas bitki su tüketimini esas alan Penman Monteith yöntemi; çim veya yonca kuru otunun iklim parametrelerine bağlı olarak belirlenen kıyas bitki su tüketimi (ET_0) değerlerinin, su tüketimi belirlenecek bitkinin bitki büyüme katsayısı (K_c) değerleri ile çarpılarak bitki su tüketiminin (ET) belirlenmesi esasına dayanmaktadır.

$$ET = ET_0 \cdot K_c$$

ET_0 : Kıyas bitki su tüketimi (mm/gün)

ET : Bitki su tüketimi (mm/gün)

K_c : Bitki katsayısı

Bitki büyüme katsayısı bitkinin büyüme mevsimi boyunca değişkenlik göstermekte olup, bitkinin gelişme devresinde maksimum değerlerine ulaşmaktadır. Su tüketimi hesaplanacak bitkinin boyu ve su kaybına karşı bitki-toprak direnci kıyas bitkiden farklıdır. Bu farklılıkların da dikkate alındığı en gerçekçi su tüketimi tahminlerinin yapılmasını sağlayan ve aşağıda verilen Penman Monteith eşitliği FAO-56 modifikasyonu Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından 1998 yılında 56 sayılı Sulama ve Drenaj Yayını ile uygulanmaya başlamıştır.

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)}$$

Penman Monteith eşitliği FAO-56 modifikasyonu

Hava sıcaklığı (T); günlük yani 24 içerisinde ölçülen en yüksek ve en düşük hava sıcaklığı değerlerinin aritmetik ortalaması olarak dikkate alınmaktadır.

$$T = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2}$$

T: Günlük ortalama hava sıcaklığı (°C)

T_{max}: Günlük ölçülen en yüksek hava sıcaklığı (°C)

T_{min}: Günlük ölçülen en düşük hava sıcaklığı (°C)

Ortalama rüzgar hızı (U); günlük yani 24 saatlik periyotlar için her saat başında ölçülen rüzgar hızı değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak belirlenmektedir. Penman Monteith eşitliği FAO-56 modifikasyonunda toprak yüzeyinden 2 m yükseklikteki rüzgar hızı dikkate alınmaktadır. Farklı yüksekliklerde ölçülen rüzgar hızı değerlerinin 2 m yükseklikteki rüzgar hızına dönüştürülmesinde aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır.

$$U_2 = \frac{4.87 U_z}{\ln[(67.8 Z^*) - 5.42]}$$

U₂: Toprak yüzeyinden 2 m yükseklikte ölçülen ortalama rüzgar hızı (m/s)

U_z: Toprak yüzeyinden Z* metre yükseklikte ölçülen ortalama rüzgar hızı (m/s)

Z*: Rüzgar hızının ölçüldüğü yükseklik (m)

Penman Monteith eşitliği FAO-56 modifikasyonu

Oransal nem (RH); birim hacimdeki hava içerisinde bulunan mevcut su buharı miktarının, havanın alabileceği maksimum su buharı miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır. Hesaplamalarda gün içerisinde ölçülen en yüksek ve en düşük oransal nem değerleri dikkate alınmaktadır.

Güneşlenme süresi (n); gün içinde güneş ışığından faydalanılan toplam süredir.

Solar radyasyon(Rs); güneş ışınları atmosferden içeri girdikten sonra bu ışınlardan bir kısmı bulutlar, havadaki gazlar tarafından tutulur, emilir veya geri yansıtılır. Bu engellerden geçerek belirli bir düzlem üzerine gelen ışın miktarına güneş (Solar) radyasyonu adı verilir.

RH_{max} : Günlük ölçülen en yüksek oransal nem (%)

RH_{min} : Günlük ölçülen en düşük oransal nem (%)

n: Gerçek güneşlenme süresi (h)

R_s : Yeryüzüne ulaşan kısa dalga radyasyon ($MJ/m^2/gün$)

Yağış miktarı (R); Yeryüzüne düşen toplam yağışın tamamı bitki tarafından kullanılamamaktadır. Toplam yağışın **etkili yağış** olarak adlandırılan kısmı bitki tarafından kullanılabilir. Yağış yüksekliğinin 25 mm'nin altında olması durumunda, yağışın tamamı etkili yağış olarak kabul edilmektedir. Yağış yüksekliğinin 25 mm'nin üstünde olması durumunda ise, ölçülen yağışın % 84'dü etkili yağış olarak kabul edilmektedir.

Penman Monteith eşitliği FAO-56 modifikasyonu

Penman Monteith eşitliği FAO-56 modifikasyonundaki diğer değişkenler aşağıda verilen yardımcı eşitlikler ile elde edilmektedir.

$$\gamma = \frac{C_p \cdot P}{\epsilon \cdot \lambda}$$

$$P = 101.3 \left[\frac{293 - (0.0065 Z)}{293} \right]^{5.26}$$

γ : Psikometrik sabite (kpa/°C)

C_p : Sabit basınç altındaki özgül ısı (MJ/kg°C)

λ : Buharlaştırma gizli ısı (MJ/kg)

ϵ : Su buharı moleküler ağırlığının kuru hava ağırlığına oranı

P : Atmosferik basınç (kpa)

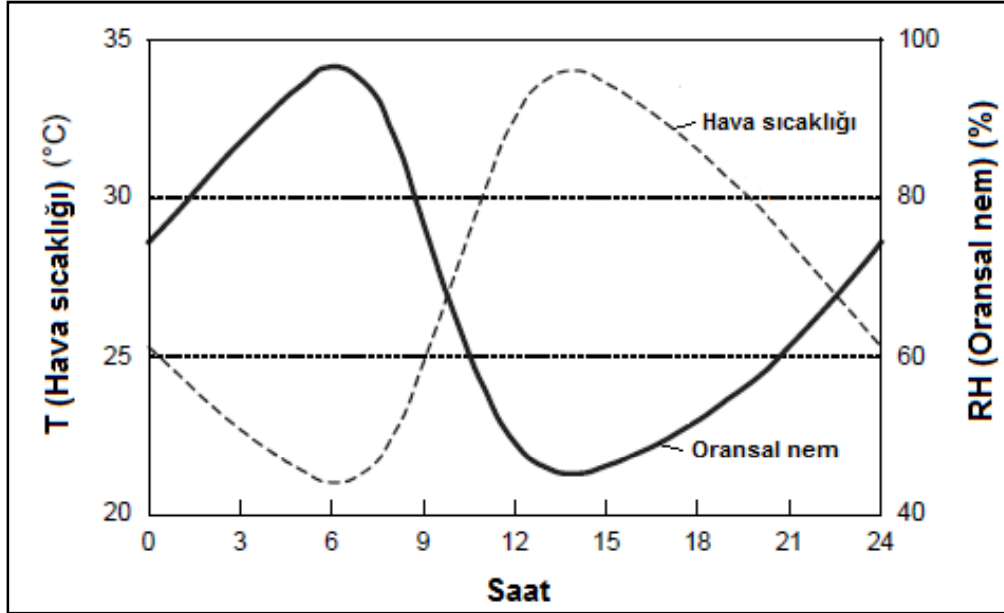
Z : Deniz seviyesinden yükseklik (Rakım) (m)

Ortalama 20°C hava sıcaklığının etkili olduğu atmosferik koşullarda; $C_p = 1.013 \cdot 10^{-3}$ MJ/kg°C, $\epsilon = 0.622$, $\lambda = 2.45$ MJ/kg olarak dikkate alınabilmektedir. Bu değerlerin işleme koyulması durumunda Psikometrik sabit (γ) aşağıdaki eşitlik ile elde edilebilmektedir.

$$\gamma = 0.665 \cdot 10^{-3} P$$

Penman Monteith eşitliği FAO-56 modifikasyonu

Hava sıcaklığı azaldığında oransal nem artma eğilimindedir. Hava sıcaklığı arttığında ise oransal nem azalma eğilimindedir.



$$e_s = \frac{e^o_{(T_{\max})} + e^o_{(T_{\min})}}{2}$$

$$e_a = \left[\left(\frac{e^o_{(T_{\min})} \cdot RH_{\max}}{100} \right) + \left(\frac{e^o_{(T_{\max})} \cdot RH_{\min}}{100} \right) \right] / 2$$

$$e^o_{(T_{\max})} = 0.6108 \exp \left(\frac{17.27 T_{\max}}{T_{\max} + 237.3} \right)$$

$$e^o_{(T_{\min})} = 0.6108 \exp \left(\frac{17.27 T_{\min}}{T_{\min} + 237.3} \right)$$

e_s : Doygun buhar basıncı (kPa)

e_a : Gerçek buhar basıncı (kPa)

$e^o_{(T_{\max})}$: En yüksek hava sıcaklığında doymuş buhar basıncı (kPa)

$e^o_{(T_{\min})}$: En düşük hava sıcaklığında doymuş buhar basıncı (kPa)

$RH_{\max}$: Günlük ölçülen en yüksek oransal nem (%)

$RH_{\min}$: Günlük ölçülen en düşük oransal nem (%)

$e_s - e_a$: Buhar basıncı eksikliği (kPa)

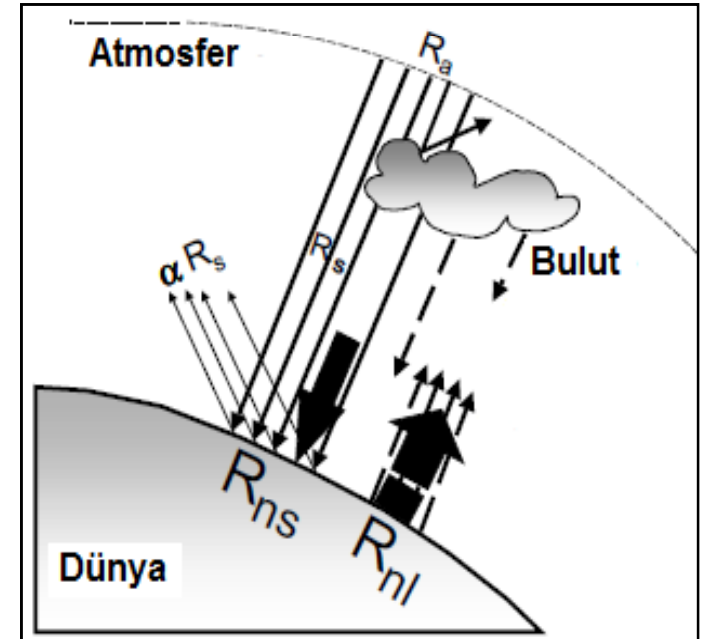
Penman Monteith eşitliği FAO-56 modifikasyonu

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp\left(\frac{17.27 T}{T+237.3}\right) \right]}{(T+237.3)^2}$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad R_{ns} = (1 - 0.23) R_s \quad R_{ns} = 0.77 R_s$$

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{\max}^4 + T_{\min}^4}{2} \right] (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{s0}} - 0.35 \right) \quad R_{s0} = \left[0.75 + (2.10^{-5} Z) \right] R_a$$

Δ : Doygun buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa/°C)
T: Günlük ortalama hava sıcaklığı (°C)
 R_n : Bitki yüzeyindeki net radyasyon (MJ/m²/gün)
 R_{ns} : Güneşten gelen net kısa dalga radyasyon (MJ/m²/gün)
 R_{nl} : Yer küreden giden net uzun dalga radyasyon (MJ/m²/gün)
 α : Yansıtma katsayısı (Albedo), hesaplamalarda $\alpha=0.23$ alınmaktadır
 R_s : Yeryüzüne ulaşan kısa dalga radyasyon (MJ/m²/gün)
 R_a : Atmosferin dış yüzüne ulaşan radyasyon (MJ/m²/gün)
N: Olası maksimum güneşlenme süresi (h)
 R_{s0} : Açık (Bulutsuz) gökyüzü radyasyonu (MJ/m²/gün)
Z: Deniz seviyesinden yükseklik (m)
G: Topraktaki ısı akısı (MJ/m²/gün)
 σ : Stefan Boltzmann katsayısı ($4.903 \cdot 10^{-9}$ MJ/K⁴/m²/gün)



Penman Monteith eşitliği FAO-56 modifikasyonu

Atmosferin dış yüzüne ulaşan radyasyon (R_a) aşağıda verilen eşitlikler ile elde edilmektedir.

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} \cdot d_r [(w_s \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta) + (\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin w_s)]$$
$$d_r = 1 + 0.033 \cos \left(\frac{2\pi j}{365} \right)$$
$$j = 2415020 + 365(Y - 1900) + N + L - 0.5$$
$$L = \frac{Y - 1901}{4}$$
$$\delta = 0.409 \sin \left(\frac{2\pi j}{365} - 1.39 \right)$$
$$w_s = \arccos(-\tan \phi \cdot \tan \delta)$$

R_a : Atmosferin dış yüzüne ulaşan radyasyon ($\text{MJ/m}^2/\text{gün}$)

G_{sc} : Solar sabite ($\text{MJ/m}^2/\text{dakika}$) ($G_{sc} = 0.0820 \text{ MJ/m}^2/\text{dakika}$)

d_r : Dünya-Güneş ters oransal uzaklık

j : 1900 yılından itibaren herhangi bir tarihe karşılık gelen Julien Tarihi

Y : Julien Tarihine çevrilecek tarihin içinde bulunduğu yıl

N : Yılbaşından itibaren (1 Ocak) Julien Tarihine çevrilecek güne kadar geçen toplam gün sayısı

L : Artık yıl sayısı (Belirlenen değerin tam kısmı dikkate alınacaktır)

w_s : Güneş batım saatindeki açı (Radyan)

δ : Solar diklik (Radyan)

ϕ : Enlemin açı cinsinden değeri (Radyan)

Penman Monteith eşitliği FAO-56 modifikasyonu

Enlemin açı cinsinden değerinin (ϕ) belirlenmesi aşağıdaki örnekte gösterilmiştir.

Van İli enleminin radyan cinsinden (ϕ) karşılığı belirlenecektir;

Van İli'nin enlemi $38^{\circ} 28' N$ olup, derece cinsinden açı ile $\phi = 38^{\circ} + \left(\frac{28}{60}\right) = 38.47^{\circ}$ olarak ifade edilir. Yapılan hesaplamada $1^{\circ} = 60'$ olduğu dikkate alınmıştır.

Enlemin radyan cinsinden açı ile ifade edilmesinde $\frac{\text{Derece}}{180} = \frac{\text{Radyan}}{\pi}$ eşitliği kullanılmaktadır.

Buna göre, $\frac{38.47^{\circ}}{180} = \frac{\text{Radyan}}{\pi}$ eşitliğinden $\phi = 0.67$ Radyan olarak elde edilir. Eşitlikte $\pi = 3.14$ alınmıştır.

Julien Tarihinin (j) belirlenmesi aşağıdaki örnekte gösterilmiştir.

24.03.2018 tarihinde saat 06.28'e denk gelen Julien Tarihi belirlenecektir;

$$Y=2018 \quad L = \frac{Y-1901}{4} \quad L = \frac{2018-1901}{4} \quad L=29.25 \text{ (Tam kısım dikkate alınır)} \quad L=29 \text{ yıl}$$

$$1 \text{ gün} = 24 \text{ saat ise } 6 \text{ saat} = \frac{6}{24} = 0.25 \text{ gün olur.}$$

$$1 \text{ gün} = 24 \text{ saat} = 24 \times 60 = 1440 \text{ dakika ise } 28 \text{ dakika} = \frac{28}{1440} = 0.0194 \text{ gün olur.}$$

$$N = 31 + 28 + 24 + 0.25 + 0.0194 \quad N = 83.2694 \text{ gün}$$

$$j = 2415020 + 365(Y-1900) + N + L - 0.5 \quad j = 2415020 + 365(2018-1900) + 83.2694 + 29 - 0.5 \quad \mathbf{j = 2458201.77}$$

Penman Monteith eşitliği FAO-56 modifikasyonu

Atmosferin dış yüzüne ulaşan radyasyon (R_a) değerleri, hesaplama yapılmadan bitkisel üretimin gerçekleştirileceği bölgenin enlemine bağlı olarak Tablo 1'den de alınabilir.

Tablo 1. Atmosferin dış yüzüne ulaşan radyasyon, R_a değerleri, MJ/m²/gün [9].

ENLEM DERECESİ	AYLAR							
	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
44	26.0	33.6	39.5	42.2	40.7	36.0	29.2	21.3
42	27.0	34.3	39.7	42.4	40.9	36.8	29.9	22.3
40	27.9	35.0	39.7	42.4	40.9	37.3	30.6	23.5
38	28.9	35.5	40.2	42.2	40.9	37.5	31.4	24.5
36	29.7	36.0	40.2	42.2	40.9	37.7	32.1	26.0
34	30.4	36.3	40.4	41.9	41.2	38.0	32.8	26.5

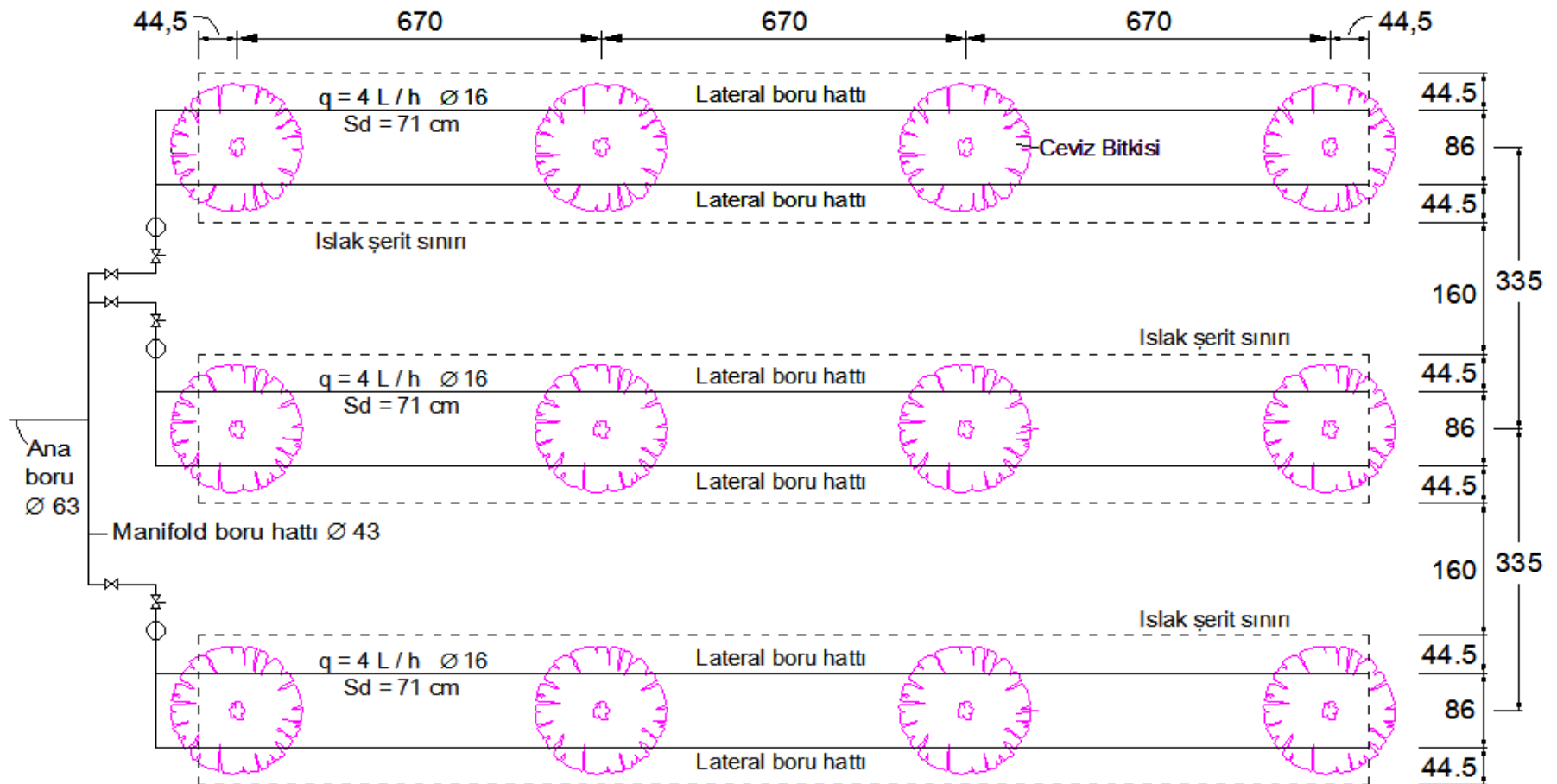
Penman Monteith eşitliği FAO-56 modifikasyonunun son değişkeni olan “topraktaki ısı akısı” (G) çok küçük ve ihmal edilebilir düzeylerde olduğu için, hesaplamalarda $G=0$ kabul edilmektedir.

Penman Monteith eşitliği FAO-56 modifikasyonu kapsamında yapılan hesaplamalarda 1 Kelvin; $K=273+^{\circ}\text{C}$ olarak dikkate alınmaktadır.

İKLİM PARAMETRELERİNE BAĞLI SULAMA PROGRAMI (ÖRNEK-1)

Aşağıdaki şekilde planı verilen bir ceviz bahçesinin haziran ayı sulama programı hazırlanacaktır. Sulama sistemi olarak damla sulama sistemi kullanılacaktır. Her bir ağaç sırasından 86 cm ara mesafe ile çift lateral boru hattı geçirilecektir. Su uygulama randımanı %90, su iletim randımanı ise % 98 olarak dikkate alınacaktır. (Plandaki uzunluk değerleri cm cinsindendir)

- ❖ Damla sulama sistemi kullanılacağı için yüzeysel akış kaybı sıfır olarak dikkate alınacaktır.
- ❖ Taban suyu seviyesinin derinde olduğu kabul edilerek, su girişimi olmayacağı kabul edilecektir.



İKLİM PARAMETRELERİNE BAĞLI SULAMA PROGRAMI (ÖRNEK-1)

Ceviz bitkisinin, iklim verilerine dayalı olarak Penman Monteith eşitliği FAO-56 modifikasyonu ile hesaplanan haziran ayı kıyas bitki su tüketimi değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Periyot	ET ₀ (mm/gün)
1-5 Haziran	4,95
6-10 Haziran	4,12
11-15 Haziran	5,16
16-20 Haziran	5,48
21-25 Haziran	5,76
26-30 Haziran	4,75

Sulama aralığı 5 gün olarak dikkate alınıp, sulama programının hazırlanmasında güvenilir kaynaklardan elde edilen ve aşağıdaki tabloda 10 günlük periyotlar için verilen bitki su tüketimi değerleri ile bitki katsayısı değerleri referans alınacaktır.

Periyot	ET (mm/gün)	K _c
1-10 Haziran	6,08	1,14
11-20 Haziran	6,33	1,14
21-30 Haziran	6,64	1,14

Haziran ayı boyunca yağışlı günler ve yağış yükseklikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Yağış yükseklikleri 25 mm'nin altında olduğu için tüm değerler etkili yağış olarak kabul edilecektir.

Gün	R(mm)	R _e (mm)
12 Haziran	8,50	8,50
17 Haziran	3,00	3,00
26 Haziran	12,40	12,40

Buna göre; haziran ayı sulama programını hazırlayarak, sulama günlerini ve sulama suyu miktarlarını belirleyiniz. Tarla başı su kaynağında ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarlarını belirleyiniz.

İKLİM PARAMETRELERİNE BAĞLI SULAMA PROGRAMI (ÇÖZÜM-1)

Haziran ayı günlük bitki su tüketimi değerleri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$ET = ET_0 \cdot K_c$$

ET_0 : Kıyas bitki su tüketimi (mm/gün)

ET : Bitki su tüketimi (mm/gün)

K_c : Bitki katsayısı

Damla sulama etkisindeki bitki su tüketimi değerleri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanarak, sonuçlar tabloda verilmiştir. Sulama programının hazırlanmasında bu değerler dikkate alınacaktır.

$$ET^* = \frac{ET \cdot P_s}{85}$$

P_s : Bitki tarafından gölgelenen alan yüzdesi (%)-(Geniş dikim meyve ağaçlarında % 75 alınır)

ET^* : Damla sulama sistemi altındaki bitki su tüketimi (mm/gün)

Periyot	ET_0 (mm/gün)	K_c	ET (mm/gün)	ET^* (mm/gün)
1-5 Haziran	4,95	1,14	5,64	4,98
6-10 Haziran	4,12	1,14	4,70	4,15
11-15 Haziran	5,16	1,14	5,88	5,19
16-20 Haziran	5,48	1,14	6,25	5,52
21-25 Haziran	5,76	1,14	6,57	5,80
26-30 Haziran	4,75	1,14	5,42	4,78

10 Günlük referans bitki su tüketimi değerleri dikkate alınarak, haziran ayı ortalama günlük su tüketimi 6.35 mm, sulama aralığı ise 5 gün olarak dikkate alınmıştır.

Buna göre; **5 günlük tahmini su tüketimi $5 \times 6,35 = 31,75$ mm hesaplanmıştır.**

Sulama programı kapsamında; 5 günlük toplam su tüketimi 31,75 mm değerine eşit ya da daha fazla değerlere ulaştığında sulama yapılacaktır.

İKLİM PARAMETRELERİNE BAĞLI SULAMA PROGRAMI (ÇÖZÜM-1)

SULAMA PROGRAMI

Gün	ET_0 (mm/gün)	Kc	ET (mm/gün)	ET^* (mm/gün)	R_e (mm)	Net sulama suyu d_n (mm)
1 Haziran	4,95	1,14	5,64	4,98	-	$(4,98 \times 5) + (4,15 \times 2) = 33,20$ $33,20 \text{ mm} > 31,75 \text{ mm}$ 1. Sulama: 33,20 mm
2 Haziran	4,95	1,14	5,64	4,98	-	
3 Haziran	4,95	1,14	5,64	4,98	-	
4 Haziran	4,95	1,14	5,64	4,98	-	
5 Haziran	4,95	1,14	5,64	4,98	-	
6 Haziran	4,12	1,14	4,70	4,15	-	
7 Haziran	4,12	1,14	4,70	4,15	-	$(4,15 \times 3) + (5,19 \times 5) + 5,52 - 8,50 = 35,42$ $35,42 \text{ mm} > 31,75 \text{ mm}$ 2. Sulama: 35,42 mm
8 Haziran	4,12	1,14	4,70	4,15	-	
9 Haziran	4,12	1,14	4,70	4,15	-	
10 Haziran	4,12	1,14	4,70	4,15	-	
11 Haziran	5,16	1,14	5,88	5,19	-	
12 Haziran	5,16	1,14	5,88	5,19	8,50	
13 Haziran	5,16	1,14	5,88	5,19	-	
14 Haziran	5,16	1,14	5,88	5,19	-	
15 Haziran	5,16	1,14	5,88	5,19	-	$(5,52 \times 4) + (5,80 \times 3) - 3,00 = 36,48$ $36,48 \text{ mm} > 31,75 \text{ mm}$ 3. Sulama: 36,48 mm
16 Haziran	5,48	1,14	6,25	5,52	-	
17 Haziran	5,48	1,14	6,25	5,52	3,00	
18 Haziran	5,48	1,14	6,25	5,52	-	
19 Haziran	5,48	1,14	6,25	5,52	-	
20 Haziran	5,48	1,14	6,25	5,52	-	
21 Haziran	5,76	1,14	6,57	5,80	-	
22 Haziran	5,76	1,14	6,57	5,80	-	$(5,80 \times 2) + (4,78 \times 5) - 12,4 = 23,10$ $23,10 \text{ mm} < 31,75 \text{ mm}$ Temmuz ayı su tüketimi değerleri ile işleme devam edilir. Bir sonraki sulama temmuz ayında yapılır.
23 Haziran	5,76	1,14	6,57	5,80	-	
24 Haziran	5,76	1,14	6,57	5,80	-	
25 Haziran	5,76	1,14	6,57	5,80	-	
26 Haziran	4,75	1,14	5,42	4,78	12,40	
27 Haziran	4,75	1,14	5,42	4,78	-	
28 Haziran	4,75	1,14	5,42	4,78	-	
29 Haziran	4,75	1,14	5,42	4,78	-	
30 Haziran	4,75	1,14	5,42	4,78	-	

İKLİM PARAMETRELERİNE BAĞLI SULAMA PROGRAMI (ÇÖZÜM-1)

Haziran ayında sulama yapılacak günler ile sulama suyu miktarları hesaplanarak, sonuçlar toplu halde aşağıdaki tabloda verilmiştir. Sulama suyu miktarlarının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$d_T = \frac{d_n}{E_a \cdot E_c}$$

$$V = d_T \cdot A$$

$$V^* = d_T \cdot A^*$$

$$A = 1,75 \times 21$$

$$A = 36,75 \text{ m}^2$$

$$A^* = 3 \times 36,75$$

$$A^* = 110,25 \text{ m}^2$$

d_n : Net sulama suyu miktarı (mm)

d_T : Toplam sulama suyu miktarı (mm)

E_a : Su uygulama randımanı (%)

E_c : Su iletim randımanı (%)

A: Bir ceviz ağacı sırası için ıslak şerit alanı (Islatılan alan) (m²)

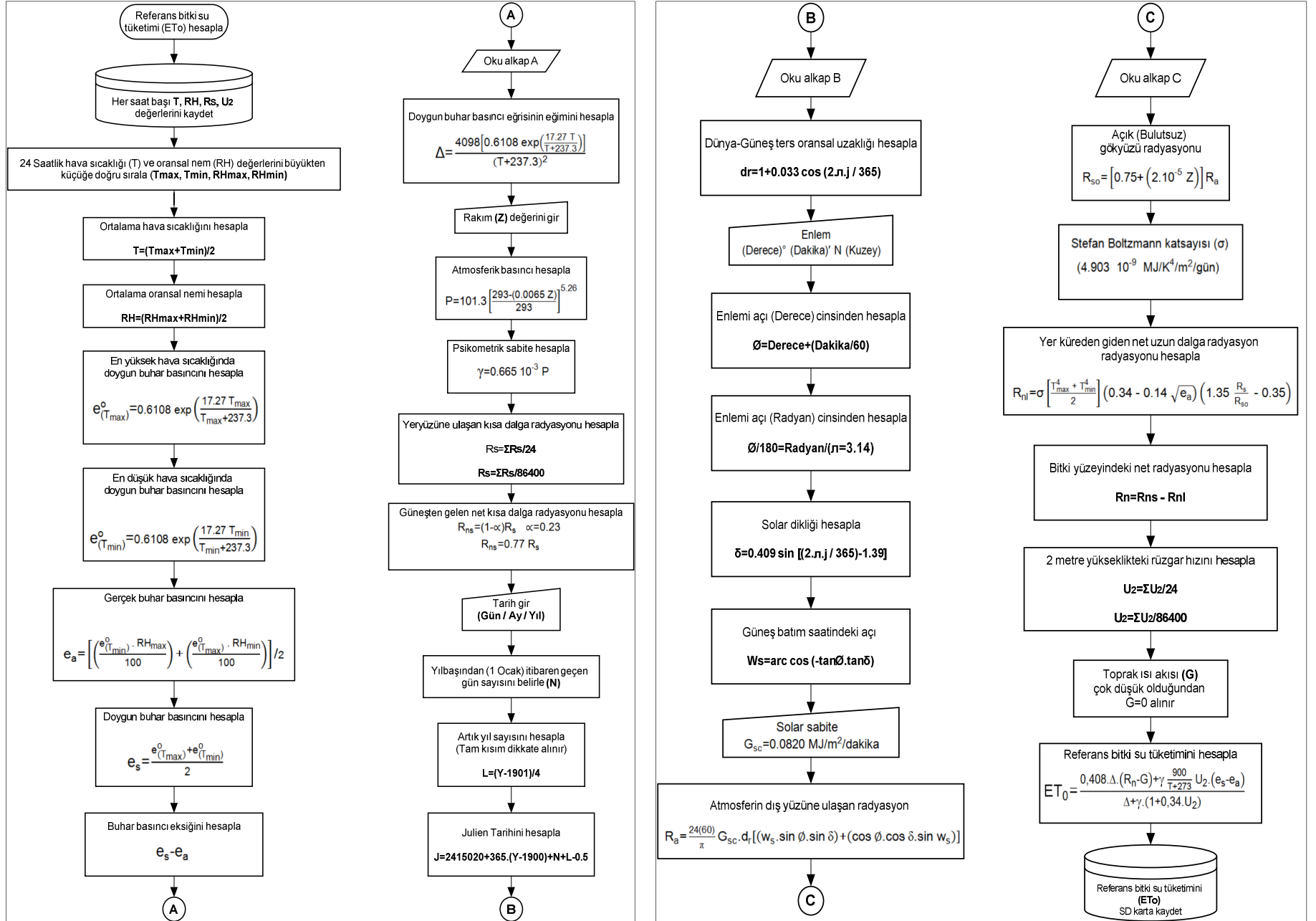
A*: Üç ceviz ağacı sırası için ıslak şerit alanı (Islatılan alan) (m²)

V: Bir ceviz ağacı sırası için gerekli sulama suyu hacmi (m³)

V*: Üç ceviz ağacı sırası için gerekli sulama suyu hacmi (m³)

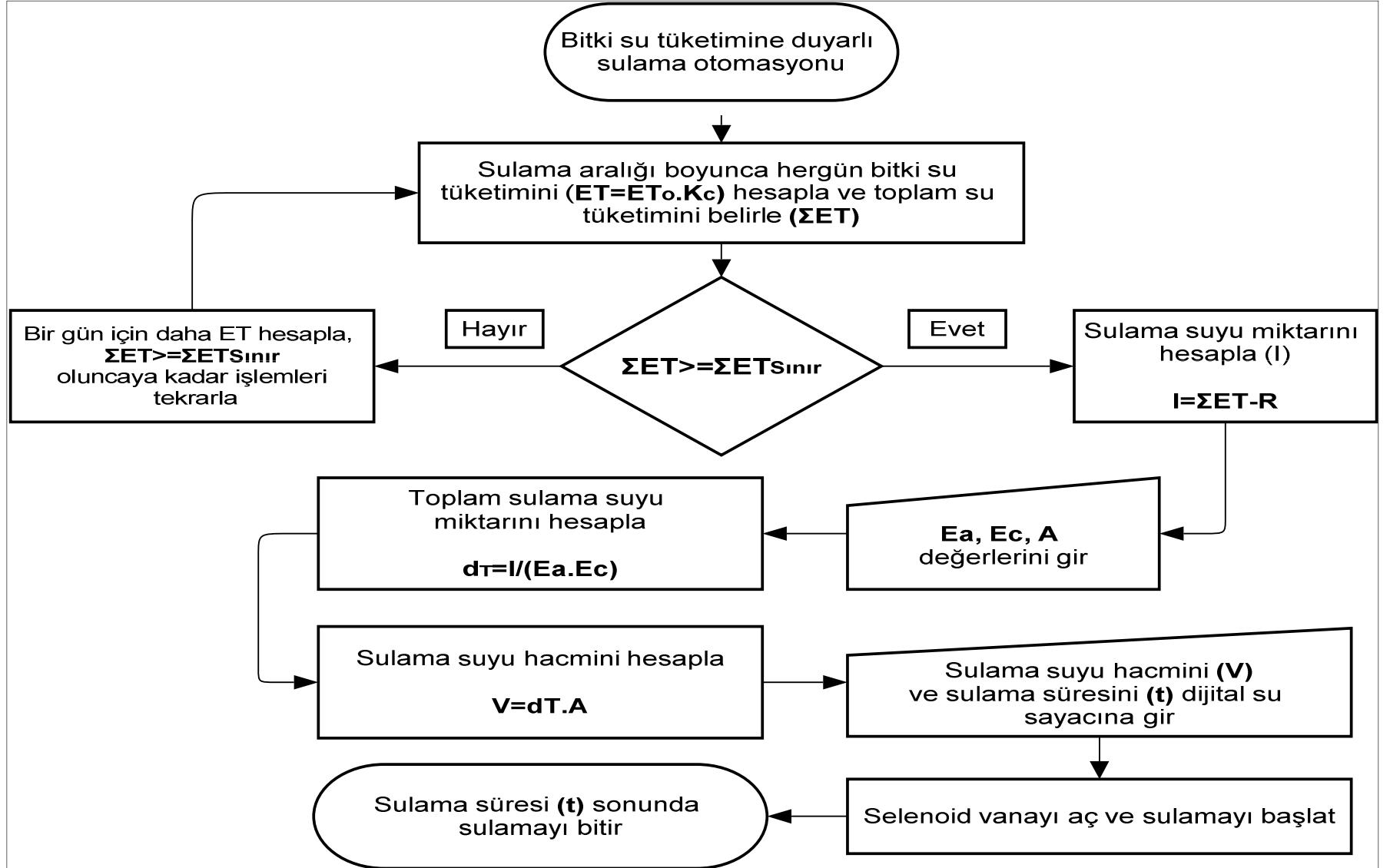
Sulama No.	Sulama zamanı	d_n (mm)	d_T (mm)	A (m ²)	A* (m ²)	V (m ³)	V* (m ³)
1	7 Haziran	33,20	37,64	36,75	110,25	1,38	4,14
2	16 Haziran	35,42	40,16	36,75	110,25	1,48	4,44
3	23 Haziran	36,48	41,36	36,75	110,25	1,52	4,56

İKLİM PARAMETRELERİNE BAĞLI REFERANS BİTKİ SU TÜKETİMİ (ET₀) HESABI AKIŞ DİYAGRAMI



İKLİM PARAMETRELERİNE BAĞLI SU TÜKETİMİNE DUYARLI SULAMA OTOMASYONU AKIŞ ŞEMASI

Günlük referans bitki su tüketimi hesabından yola çıkılarak, iklim parametrelerine duyarlı sulama otomasyonu akış şeması hazırlanmıştır.



TOPRAK NEMİNE BAĞLI SULAMA PROGRAMI (ÖRNEK-2)

Örnek 1’de planı verilen ceviz bahçesinin toprak nemine bağlı olarak haziran ayı sulama programını hazırlayarak, sulama günlerini ve sulama suyu miktarlarını belirleyiniz. Tarla başı su kaynağında ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarlarını belirleyiniz.

- Haziran ayı boyunca bitki katsayısı değeri 1,14 olarak dikkate alınacaktır.
- Ceviz bitkisinin, iklim verilerine dayalı olarak Penman Monteith eşitliği FAO-56 modifikasyonu ile hesaplanan haziran ayı kıyas bitki su tüketimi değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Periyot	ET ₀ (mm/gün)
1-5 Haziran	4,95
6-10 Haziran	4,12
11-15 Haziran	5,16
16-20 Haziran	5,48
21-25 Haziran	5,76
26-30 Haziran	4,75

- D=90 cm etkili kök derinliğinde, her 30 cm’den alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler ile toprak nemi sabitleri belirlenerek aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Toprak katmanı (cm)	Birim hacim ağırlığı Y _T (gr/cm ³)	Tarla kapasitesi (TK) (%)	Solma noktası (SN) (%)
0-30	1,41	32,00	22,20
30-60	1,40	28,50	23,50
60-90	1,43	29,40	22,60

- Kullanılabilir su tutma kapasitesinin bitki tarafından tüketilmesine izin verilen kısmı R_y=% 50 alınacaktır.
- Sulamaya başlandığı anda bitki kök bölgesindeki mevcut nem düzeyi 310,50 mm olarak ölçülmüştür.
- Haziran ayı boyunca yağışlı günler ve yağış yükseklikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Gün	R(mm)	R _e (mm)
12 Haziran	8,50	8,50
17 Haziran	3,00	3,00
26 Haziran	12,40	12,40

TOPRAK NEMİNE BAĞLI SULAMA PROGRAMI (ÇÖZÜM-2)

Haziran ayı günlük bitki su tüketimi değerleri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$ET = ET_0 \cdot K_c$$

ET_0 : Kıyas bitki su tüketimi (mm/gün)

ET : Bitki su tüketimi (mm/gün)

K_c : Bitki katsayısı

$$ET^* = \frac{ET \cdot P_s}{85}$$

P_s : Bitki tarafından gölgelenen alan yüzdesi (%) - (Geniş dikim meyve ağaçlarında % 75 alınır)

ET^* : Damla sulama sistemi altındaki bitki su tüketimi (mm/gün)

Sulama programı damla sulama etkisindeki bitki su tüketimi değerleri ile hazırlanacaktır.

Periyot	ET_0 (mm/gün)	K_c	ET (mm/gün)	ET^* (mm/gün)
1-5 Haziran	4,95	1,14	5,64	4,98
6-10 Haziran	4,12	1,14	4,70	4,15
11-15 Haziran	5,16	1,14	5,88	5,19
16-20 Haziran	5,48	1,14	6,25	5,52
21-25 Haziran	5,76	1,14	6,57	5,80
26-30 Haziran	4,75	1,14	5,42	4,78

Aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak derinlik cinsinden toprak nemi sabitleri elde edilmiştir.

$$d_{TK} = P_{W(TK)} \cdot Y_T \cdot D \quad (\text{Derinlik cinsinden tarla kapasitesi})$$

$$d_{SN} = P_{W(SN)} \cdot Y_T \cdot D \quad (\text{Derinlik cinsinden solma noktası})$$

$$d_k = (d_{TK} - d_{SN}) \quad (\text{Derinlik cinsinden kullanılabilir su tutma kapasitesi})$$

$$d_n = d_k \cdot R_y \quad (\text{Derinlik cinsinden bitkinin tüketmesine izin verilen su miktarı})$$

$$d_{mr} = d_{TK} - d_n \quad (\text{Derinlik cinsinden sulamaya başlanacak nem düzeyi})$$

Toprak katmanı (cm)	Y_T (gr/cm ³)	(d_{TK}) (mm)	(d_{SN}) (mm)	(d_k) (mm)	(d_n) (mm)	(d_{mr}) (mm)
0-30	1,41	135,36	93,91	41,45	20,73	114,63
30-60	1,40	119,70	98,70	21,00	10,50	109,20
60-90	1,43	126,13	96,95	29,18	14,59	111,54

TOPRAK NEMİNE BAĞLI SULAMA PROGRAMI (ÖRNEK-2)

Bitki, tüketmesine izin verilen suyu (d_n) tükettiğinde kök bölgesindeki nem düzeyi sulamaya başlanacak nem düzeyine (d_{mr}) düşmektedir. Tükettiği su miktarına eşit miktarda sulama suyu (d_n) uygulanarak, bitki kök bölgesindeki nem düzeyinin tekrar tarla kapasitesine yükseltilmesi gereklidir.

30 cm yüksekliğindeki tabakalar için ayrı ayrı hesaplanan tarla kapasitesi ve sulamaya başlanacak nem düzeyi değerleri toplanarak, 90 cm derinliği temsil eden değerler elde edilmiştir.

Tarla kapasitesi	$d_{TK} = 135,36 + 119,70 + 126,13$	$d_{TK} = 381,19 \text{ mm}$
Sulamaya başlanacak nem düzeyi	$d_{mr} = 114,63 + 109,20 + 111,54$	$d_{mr} = 335,37 \text{ mm}$

Bitki kök bölgesindeki nem düzeyi sulamaya başlanacak nem düzeyi altına düştüğü anda; kök bölgesindeki nem düzeyini tarla kapasitesine yükseltecek kadar sulama suyu uygulanacaktır.

SULAMA PROGRAMI

Gün	Mevcut nem (mm)	ET* (mm/gün)	R _e (mm)	Net sulama suyu d _n (mm)
1 Haziran	310,50 mm 310,50 < 335,37 Sulama yapılarak tarla kapasitesine yükseltildi (381,19)	4,98	-	Mevcut nem=310,50 mm Sulamaya başlanacak nem düzeyi=335,37 mm 310,50 < 335,37 olduğundan sulama yapılır. $d_n = 381,19 - 310,50$ $d_n = 70,69 \text{ mm}$ 1. Sulama: 70,69 mm
2 Haziran	381,19 - 4,98 = 376,21	4,98	-	Mevcut nem=330,35 mm Sulamaya başlanacak nem düzeyi=335,37 mm 330,35 < 335,37 olduğundan sulama yapılır. $d_n = 381,19 - 330,35$ $d_n = 50,84 \text{ mm}$ 2. Sulama: 50,84 mm
3 Haziran	376,21 - 4,98 = 371,23	4,98	-	
4 Haziran	371,23 - 4,98 = 366,25	4,98	-	
5 Haziran	366,25 - 4,98 = 361,27	4,98	-	
6 Haziran	361,27 - 4,98 = 356,29	4,15	-	
7 Haziran	356,29 - 4,15 = 352,14	4,15	-	
8 Haziran	352,14 - 4,15 = 347,99	4,15	-	
9 Haziran	347,99 - 4,15 = 343,84	4,15	-	
10 Haziran	343,84 - 4,15 = 339,69	4,15	-	
11 Haziran	339,69 - 4,15 = 335,54	5,19	-	
12 Haziran	335,54 - 5,19 = 330,35 330,35 < 335,37 Sulama yapılarak tarla kapasitesine yükseltildi (381,19)	5,19	8,50	

TOPRAK NEMİNE BAĞLI SULAMA PROGRAMI (ÖRNEK-2)

SULAMA PROGRAMI DEVAMI

13 Haziran	$381,19 - 5,19 + 8,5 = 384,50$	5,19	-	Mevcut nem=332,73 mm Sulamaya başlanacak nem düzeyi=335,37 mm $332,73 < 335,37$ olduğundan sulama yapılır. $d_n = 381,19 - 332,73$ $d_n = 48,46$ mm 3. Sulama: 48,46 mm
14 Haziran	$384,50 - 5,19 = 379,31$	5,19	-	
15 Haziran	$379,31 - 5,19 = 374,12$	5,19	-	
16 Haziran	$374,12 - 5,19 = 368,93$	5,52	-	
17 Haziran	$368,93 - 5,52 = 363,41$	5,52	3,00	
18 Haziran	$363,41 - 5,52 + 3,00 = 360,89$	5,52	-	
19 Haziran	$360,89 - 5,52 = 355,37$	5,52	-	
20 Haziran	$355,37 - 5,52 = 349,85$	5,52	-	
21 Haziran	$349,85 - 5,52 = 344,33$	5,80	-	
22 Haziran	$344,33 - 5,80 = 338,53$	5,80	-	
23 Haziran	$338,53 - 5,80 = (332,73)$ Tarla kapasitesine yükseltildi (381,19)	5,80	-	Temmuz ayı su tüketimi değerleri ile işleme devam edilir. Bir sonraki sulama temmuz ayında yapılır.
24 Haziran	$381,19 - 5,80 = 375,39$	5,80	-	
25 Haziran	$375,39 - 5,80 = 369,59$	5,80	-	
26 Haziran	$369,59 - 5,80 = 363,79$	4,78	12,40	
27 Haziran	$363,79 - 4,78 + 12,40 = 371,41$	4,78	-	
28 Haziran	$371,41 - 4,78 = 366,63$	4,78	-	
29 Haziran	$366,63 - 4,78 = 361,85$	4,78	-	
30 Haziran	$361,85 - 4,78 = 357,07$	4,78	-	

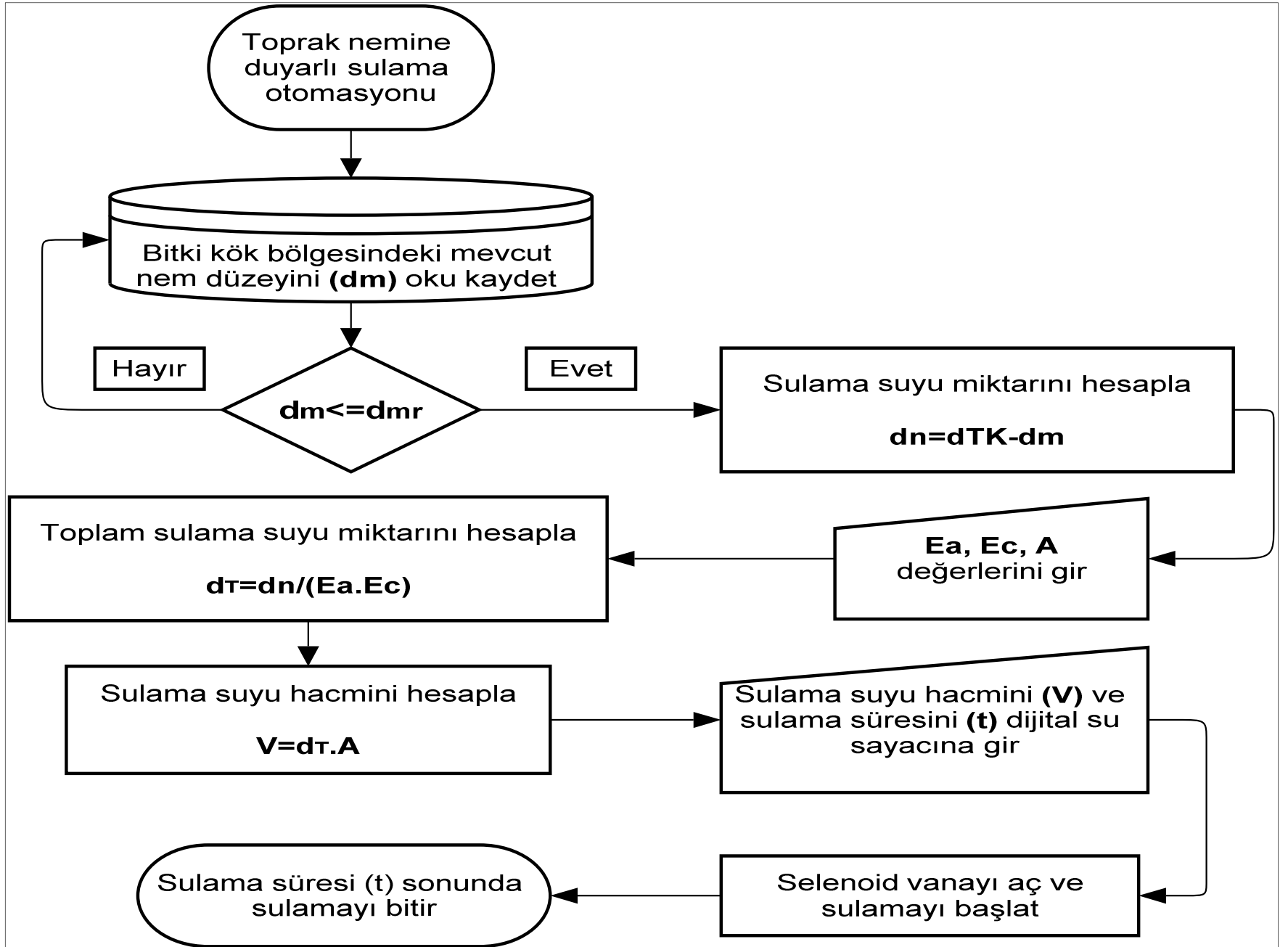
Ceviz bahçesinin Örnek 1'deki alan değerleri kullanılarak Haziran ayında sulama yapılacak günler ile sulama suyu miktarları belirlenmiştir.

Sulama No.	Sulama zamanı	d_n (mm)	d_r (mm)	A (m ²)	A* (m ³)	V (m ³)	V* (m ³)
1	1 Haziran	70,69	80,15	36,75	110,25	2,95	8,85
2	12 Haziran	50,84	57,64	36,75	110,25	2,12	6,36
3	23 Haziran	48,46	54,94	36,75	110,25	2,02	6,06

V: Bir ceviz ağacı sırası için gerekli sulama suyu hacmi (m³)

V*: Üç ceviz ağacı sırası için gerekli sulama suyu hacmi (m³)

BİTKİ KÖK BÖLGESİNDEKİ TOPRAK NEMİNE DUYARLI SULAMA OTOMASYONU AKIŞ ŞEMASI



KAYNAKLAR

1. Dukes, D.M., Simonne, H.E., Davis, E.W., Studstill, D.W., Hochmuth, R. 2003. "Effect of Sensor-Based High Frequency Irrigation on Bell Pepper Yield and Water Use", Proceedings 2nd International Conference on Irrigation and Drainage, AZ, May 12-15, 665-674, Phoenix.
2. Garton, J.E., Mink, A.L. 1965. "Spatially Varied Flow in an Irrigation Distribution Ditch" American Society of Agricultural and Biological Engineers, 8(4), 530-531.
3. Dursun, M., Ozden, S. 2012. "Application of Solar Powered Automatic Water Pumping in Turkey", International Journal of Computer and Electrical Engineering, 4(2), 161-164.
4. Kırnak, H. 2006. "Automatic Irrigation Based on Soil Moisture for Nursery Crops", GAP V. Mühendislik Kongresi, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 26-28 Nisan, 1540-1547, Şanlıurfa.
5. Yang, S., Lu, P., Okushima, L., Sase, S. 2004. "Precision Irrigation System Based on Detection of Crop Water Stress with Acoustic Emission Technique", Proceedings of the 2004 International Conference on Information Acquisition ICIA 2004, June 21-25, 444- 447, Hefei, China.
6. Milla, K., Kish, S. 2006. "A Low-cost Microprocessor and Infrared Sensor System for Automating Water Infiltration Measurements", Computers and Electronics in Agriculture, 53(2), 122-129.
7. Salivahanan, S., Selvathi, D., Indumathi, G., Vijay Kumar, K.R. 2001. "Intelligent Control for Automatic Irrigation Using Fuzzy Logic", National Conference on Intelligent and Efficient Electrical Systems, PSG College of Technology, 9-13, Coimbatore.
8. Bisconer, I. 2008. "A Study to Maximize Drip Irrigation Benefits By it Automating", Toro Micro-Irrigation Business.
9. Güngör, Y., Erözel, A.Z., Yıldırım, O. 2004. "Sulama", Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
10. Şen, S.M. 2011. "Ceviz", ÜÇM Yayıncılık, Ankara.
11. Anonim, 2016. "Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi Rehberi", T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.