GAP EYLEM PLANI

"T.C. Kalkınma Bakanlığı
Güneydoğu Anadolu Projesi
Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı"

SULAMA VE SULAMA YÖNTEMLERİNİN PROJELENDİRİLMESİ

GAP

HAZIRLAYANLAR

Akif YENİKALE

(Ziraat Mühendisi, GAP-TEYAP Sulama Uzmanı)

Ayla YENİKALE

(Ziraat Yük. Mühendisi, GAP-TEYAP Sulama Uzmanı)

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ 5

GİRİŞ 7

1.1. Sulamanın Tanımı ve Önemi 7

1.2. Sulamanın Tarihçesi 8

1.3. Türkiye' de Sulama ve Sulu Tarım 9

2. ARAZİNİN SULAMAYA HAZIRLANMASINDA KAYNAK ARAŞTIRMASI 10

3. SULAMA SUYU İHTİYACI 11

3.1. Bitki Su Tüketimi 11

3.2. Sulama Randımanı 11

3.3. Etkili Yağış 12

3.4. Proje Alanı Sulama Suyu İhtiyacı ve Sulama Modülü 13

3.5. Her Sulamada Uygulanacak Sulama Suyu İhtiyacı ve Sulama Aralığı 14

3.6. Sistem Kapasitesi 16

3.7. Sulama Zamanının Planlanması 16

3.8. Bitkinin Su Alımını Etkileyen Faktörler 17

4. SULAMA YÖNTEMLERİ 21

4.1. Uygun Sulama Yönteminin Seçilmesi 22

4.1.1. Su Kaynağı ve Sulama Suyunun Özellikleri 22

4.1.2. Toprak Özellikleri 27

4.1.3. Topoğrafik Özellikler 27

4.1.4. İklim Özellikleri 28

4.1.5. Bitki Özellikleri 29

4.1.6. Ekonomik Koşullar 29

İÇİNDEKİLER

4.1.7. Sosyal ve Kültürel Durumlar 29

4.2. Salma Sulama Yöntemi 29

4.3. Göllendirme Sulama Yöntemi 31

4.3.1. Tava Sulama Yöntemi 31

4.3.2. Uzun Tava Sulama Yöntemi 36

4.4. Karık Sulama Yöntemi 38

4.5. Yağmurlama Sulama Yöntemi 46

4.5.1. Yağmurlama Sulama Sisteminin Unsurları 49

4.5.2. Yağmurlama Sulama Sistemlerinin Çeşitleri 53

4.6. Damla Sulama Yöntemi 57

4.6.1. Damla Sulama Sisteminin Unsurları 58

4.6.2. Damla Sulama Yönteminde Islatma Desenleri ve Lateral Tertip Biçimleri 62

4.6.3. Damla Sulama Yönteminin Üstünlükleri ve Uygulanmasının Kısıtlayan Faktörler 67

4.6.4. Her Sulamada Uygulanacak Sulama Suyu Miktarı, Sulama Aralığı ve Sulama Süresi 67

4.6.5. Fertigasyon Ve Damla Sulama Sistemlerinde Ortaya Çıkan Sorunlar Ve Çözüm Yolları 69

4.7. Ağaç altı Mikro Yağmurlama Sulama Yöntemi 74

4.8. Sızdırma Sulama Yöntemi 76

5. ÖRNEK PROJE 77

6. KAYNAKLAR 96

ÖNSÖZ

Güneydoğu Anadolu Bölgesi uygun iklimi ve verimli toprağının yanı sıra, Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında hedeflenen 1.8 milyon hektar sulama alanıyla şüphesiz dünyanın en önemli tarım alanlarından birisi olacaktır. Şu anda % 17'si işletmede olan GAP Bölgesi sulama alanlarında; monokültür ve sulu tarım konularındaki bilgi eksikliklerinden kaynaklı sorunlar nedeniyle çiftçilerimiz birim alandan beklenen verimi, dolayısıyla geliri elde edememektedir. Bu durum hem GAP'ın ülke ekonomisine beklenen katkıyı sağlamasını hem de bu kapsamda yapılan yatırımların amacına ulaşmasını geciktirebilir.

Bu kapsamda; GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı (GAP BKİB) tarafından uygulamaya konulan GAP Tarımsal Eğitim ve Yayım Projesi (GAP TEYAP), bölgesel kalkınmanın sağlanmasında önemli bir bileşen olan tarım sektöründe tarımsal doğal kaynakların optimum kullanımını sağlayacak eğitim ve yayımın etkin bir şekilde verilmesini amaçlayan sürdürülebilir bir modelin ortaya konulmasını hedeflemektedir. Böyle bir modelin başarılı olmasında "Sulama ve Suyun Etkin Kullanımı"na ilişkin tüm faaliyetler etkili olmalıdır.

Sulamadan beklenen başarı, konunun iyi bilinmesine ve doğru uygulanmasına bağlıdır. Suyun, etkin ve yüksek bir uygulama randımanıyla kullanılması zorunludur. Günümüzde damla sulama ve yağmurlama sulama yöntemleri, en yüksek su uygulama randımanına sahip olan sulama sistemlerdir. Sulama sistemlerinin projelendirilmesi ve sulama zamanının planlanması (SZP) hususunda, teknik bilgi ve uzmanlık alanı olarak da ülke genelinde olduğu gibi GAP bölgemizde de yeterli sayıda ilgili konuda lisans-yüksek lisans mezunu ziraat mühendisi bulunmamaktadır. Bu sebeple, GAP TEYAP kapsamında 2011-2012 yıllarında GAP Bölgesi'ndeki kurum, STK ve özel sektörde çalışan konu ile ilgili 6 aşamalı (Temel Sulama, Sulama Metotları, Projelendirme ve SZP, Demonstrasyonlar, Çalışma Grubu, Yayınlar) eğitim faaliyetleri teorik ve saha uygulamalı (demonstrasyon) olarak gerçekleştirilmiştir. GAP Bölgesi'nde "GAP Sulama Çalışma Grubu" oluşturulmuştur. GAP Bölgesi'nde sulamaya açılmış ve açılacak alanlarda tarımsal eğitim ve yayım hizmetlerinin etkinliğinin artırılmasına ve bu konuda hizmet veren başta çiftçi-çiftçi örgütleri olmak üzere kurum ve kuruluşların kapasitelerinin artırılmasına yönelik etkin sulama yayımcı ve teknik eğitimlerin demonstrasyonlarla desteklenerek gerçekleştirilmesi sürdürülebilir bir katkı sağlayacaktır.

GAP Bölgesi'nde tarım işletmelerinin modern sulamaya geçiş sürecinde teknik ve uygulamalı destek sağlamak, yüksek kaliteli ve verimli ürün alınmasıyla gelir düzeylerinin artırılması, bu sayede bölgenin sosyal-ekonomik ve fiziksel şartlarının geliştirilerek ülke kalkınmasına katkıda bulunulması hedeflenmektedir. Modern tarıma geçişle GAP Bölgesi'nde, toprak ve su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasının sağlanması da GAP TEYAP projemizin Tarımsal Sulama Strateji hedefidir.

Bu hedefler doğrultusunda hazırlanan bu eğitim kitabında özellikle "Sulama Mühendisliği" temel esasları dikkate alınmıştır. İçerik bakımından her ziraat mühendisinin faydalanabileceği şekilde hazırlanmıştır.

Bu kitabın tüm ilgililere yararlı olması dileğimizle, hazırlanmasında emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Cevdet Yılmaz
Kalkınma Bakanı

1. BÖLÜM: GİRİŞ

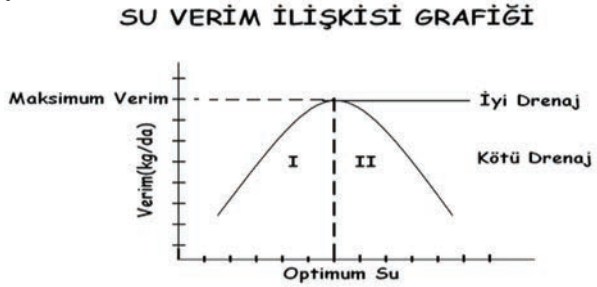
1.1. SULAMANIN TANIMI VE ÖNEMİ

Bitkiler normal gelişimlerini sürdürebilmeleri için, çok yıllık bitkilerde kış dinleme periyodu dışında, kökleri aracılığıyla topraktan devamlı su alırlar. Bitki tarafından alınan bu su;

1. Bitki dokularında su olarak kalır,
2. Bitki bünyesinde parçalanarak çeşitli bileşiklerin yapımında kullanılır,
3. Bitki yapraklarında terleme yoluyla atılır.

Sulama açısından, bitkilerin sulama suyu ihtiyacı hesaplanmasında bitki yapraklarından olan terleme (transpirasyon) miktarı dikkate alınmaktadır.

Büyüme mevsimi boyunca bitki kök bölgesinde yeterli nemin bulunması bitki gelişimi açısından çok önemlidir. Gereğinden az ya da çok toprak nemi genellikle verim azalmasına neden olmaktadır. Bu su-verim ilişkisi eğrisi ile açıklanmıştır.



Şekil 1.1 Bitkilerde su-verim ilişkisi eğrisi

Şekil 1.1'de görüldüğü gibi diğer tarımsal girdilerin tam olarak karşılanması koşuluyla, büyüme mevsimi boyunca bitki kök bölgesinde depolanan nem miktarı arttıkça verimde artış meydana gelmekte ve belirli bir toprak nemi düzeyinde verim en yüksek değere ulaşmaktadır. İyi drenaj koşullarında toprak nemi daha da artsa bile verim sabit kalmakta, ancak kötü drenaj koşullarında bitki kök bölgesinde gereğinden fazla su olacağı için verimde tekrar azalma meydana gelmektedir.

Büyüme mevsimi boyunca bitki kök bölgesinde gereğinden az nemin bulunması koşulunda verim azalmasının nedeni, su moleküllerinin toprak zerreleri tarafından tutunma gücünün artması ve bitkinin suyu alabilmesi için kökleri aracılığıyla daha yüksek basınç uygulamak zorunda kalmasıdır. Bu ise bitki tarafından ürün yapımına ayrılacak enerjinin su almak için harcanması demektir. Bitki kök bölgesinde kötü drenaj nedeniyle gereğinden fazla nemin bulunması koşulunda verim azalmasının nedenleri ise toprak boşluklarındaki havanın ve dolayısıyla oksijenin azalması, bunun sonucunda ise;

1- Kök hücrelerinin bölünerek çoğalmasının yavaşlaması ve istenen düzeyde kök gelişiminin sağlanamaması,
2- Organik materyali parçalayarak bitkilerin alabileceği besin maddesi biçimine dönüştüren toprak mikroorganizmalarının faaliyetlerinin yavaşlaması,
3- Toprakta bitki besin maddelerinin alınmasını engelleyen zararlı bileşiklerin oluşmasıdır.

Sulama, bitkilerin normal gelişmeleri için ihtiyaç duydukları suyun doğal yağışlarla karşılanamayan kısmının toprağa, bitki kök bölgesine verilmesidir.

Sulama, tarımsal bir girdidir ve diğer tarımsal girdiler yeteri kadar tekniğe uygun olmadığında, yalnızca sulama ile istenen düzeyde bitkisel üretim yapılamaz. Ancak, bitki su gereksiniminin istenen düzeyde karşılanması ve diğer bazı tarımsal girdilerin etkinliğinin artırılması açısından modern tarımın ayrılmaz bir parçasıdır.

Sulamanın Genel Faydaları

- Kısa süreli kurak dönemlerde bitkilerin zarar görmesini önler,
- Sulama birim alandan alınan verimi artırır ve kaliteyi yükseltir,
- Çeşitli bitkilerin yetiştirilmesine ve yılda birden fazla ürün alınmasına olanak sağlar,
- Üretim ve gelirdeki büyük dalgalanmaları önler,
- İş gücünün daha verimli kullanılmasını yardımcı olur,
- Toprakta bitki beslenmesi yönünden yararlı olan kimyasal ve mikrobiyolojik işlevler artar,
- Toprakta bitki gelişmesi için zararlı olan toksik maddeler ve tuzlar sulama ile yıkanarak uzaklaştırılabilir,
- Sulama ile bazı durumlarda toprak ve hava sıcaklığı kontrol edilerek, bazı sulama yöntemleri ile dondan koruma sağlanabilir,
- Hasat sonrasında toprağın işleme tavına getirilmesinde ve toprakta tohumların çimlenmesi için gerekli nemin sağlanmasında sulamadan yararlanılır,
- Bazı sulama yöntemlerinde gübreler ve tarım ilaçları su ile birlikte verilebilir,
- Toprak ve bitki çevresindeki hava serinletilerek bitki gelişimi için çevre koşulları daha uygun hale getirilir,
- Sulama ile toprak nemlendirilerek rüzgâr erozyonuna karşı direnci artırılır,
- Topraktaki mevcut taban taşı yumuşatılır.

1.2. SULAMANIN TARİHÇESİ

Sulamanın tarihi, insanlık tarihi ile birlikte başlar. Medeniyetlerin doğuşundan önce bile, bitkisel üretim amacıyla, ilkel sulama tekniklerinin kullanıldığı bilinmektedir. Medeniyetlerin birçoğu suyun bulunduğu ve sulamanın yapıldığı bölgelerde gelişmiştir.

Genellikle, sulamanın ilk uygulandığı ülkenin Mısır olduğu kabul edilir. Bu ülkede sulama uygulamalarına milattan çok önceleri başlanmıştır. M.Ö. 5000 yıllarında Nil Nehri'nden su saptırılarak tarım alanlarına iletilmiştir. Dünyanın bilinen ilk kaya dolgu barajı, M.Ö. 3000 yıllarında Nil Nehri üzerinde Kral Menes tarafından yaptırılmıştır. Bunun yanında M.Ö. 2000 yıllarında Mısır kraliçesi Semiramis büyük sulama kanalları inşa ettirmiştir. Bu sulama kanallarının bazılarından bugün halen yararlanılmaktadır.

Hindistan'ın İndus Vadisi'nde M.Ö. 5000 yıllarında hüküm sürmüş Mahon Jo Daro medeniyeti sırasında, çağına göre oldukça ileri sayılabilecek sulama ve drenaj sistemleri kurulmuştur.Arap yarımadası, Türkiye, İran ve Orta Doğu'nun diğer bölgelerinde de zamanımızdan 3000 yıl kadar önce sulama uygulamaları yapılmıştır. Babil kralı Hammurabi, M.Ö. 1700 yıllarında çıkardığı kanunlarla, sulama sistemlerinin kurulması ve işletilmesi devlet eliyle yapmış, suyun kurallara göre kullanmayan çiftçilere bazı cezalar getirilmiştir.

TURFAN Karez Sistemleri- Antik İnsanların özenle yaptıkları bir tarım tarihi eseridir.Bu örneğin bir başka modeli ayni yıllarda Yemen Etiyopya bölgesindeki Belkıs-Bilge kız (Saba Krallığı dönemi) antik baraj sulama sistemleridir.Çin'de bulunan ve 5.000 km'den (3,106 mil) daha uzun olan Karez sulama sistemi 'Yeraltı Seddi' olarak da anılmıştır.

Bugün birçok alanda asırlar boyunca hızlı ilerlemeler sağlanmasına karşın, özellikle yüzey sulama uygulamaları eski zamandakine benzemektedir. Günümüzde dünyanın birçok yerindeki yüzey sulama sistemleri, eski sulama sistemlerinden çok az farklılık göstermektedir. Kral Menes'in yaptırdığı baraj, Mısır ve diğer ülkelerde yapılan büyük kapasiteli, kilometrelerce uzunluktaki kanallar ve toprakaltı galerileri bunun tipik örnekleridir.

1.3. TÜRKİYE'DE SULAMA VE SULU TARIM

Osmanlı İmparatorluğu döneminde, sulama çalışmalarına başlanması ve devlet eliyle bu hizmetlerin yürütülmesi 19. yüzyılın sonlarına rastlar. Bu amaçla, İşkodra ve Selanik'te dere ıslahı, Medine'de sulama kanallarının yapımı, Musul ovasında sulama şebekesinin kurulması gibi benzer çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar içerisinde günümüz ülke sınırlarında olan Konya Ovası sulamasının yapılması da önemli bir yer teşkil etmiştir. Birinci Dünya Savaşı sonrası akarsu ıslahları, akarsu havzaları ile ilgili çalışmalar başlatılmıştır. İkinci Dünya Savaşı sonrası Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünün (DSİ) kurulması ile büyük sulama projeleri faaliyete geçirilmeye başlanmış ve günümüzde de dünyaya örnek olabilecek projeler (örneğin; GAP Sulamaları) ortaya koymuştur.

Türkiye' de 28.1 milyon ha tarım alanı bulunmaktadır. Bu alanın % 6'ya kadar eğime sahip kısmı içerisinde 13.5 milyon ha'ını sulanabilir özellikte olduğu yaklaşımı yapılmaktadır. Türkiye'de tüketici amaçlarla yararlanılabilecek su kaynakları potansiyeli ise, 95 milyar m3/yıl'ı yerüstü ve 12 milyar m3/yıl yeraltı olmak üzere toplam 107 milyar m3/yıldır. Bugün Türkiye'de uygulanan sulama teknolojileri iyileştirilmezse, mevcut su kaynakları ile sulanabilecek alanın 8.5 milyon ha olacağı hesaplanmaktadır.

Türkiye'nin yüzölçümü 78 milyon hektar olup tarım arazileri bu alanın yaklaşık üçte biri, yani 28 milyon hektar mertebesindedir. Yapılan etütlere göre ekonomik olarak sulanabilecek alan 8,5 milyon ha olan Türkiye'de 2004 yılı itibarı ile toplam 4,9 milyon ha arazi sulanmaktadır. Bu miktarın 2,8 milyon hektarı DSİ tarafından inşa edilmiş modern sulama şebekesine sahiptir. 1,1 milyon hektarı mülga Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (KHGM) tarafından işletmeye açılmıştır. Ayrıca yaklaşık 1 milyon hektar alanda halk sulaması yapılmaktadır. 2030 yılında ekonomik olarak sulanabilir 8,5 milyon hektar arazinin 6,5 milyon hektarının DSİ Genel Müdürlüğü tarafından işletmeye açılması hedeflenmiş olup, kalan 1,5 milyon hektar alanın diğer kamu kuruluşları tarafından işletmeye açılması ve 0,5 milyon hektarının ise halk sulamaları kapsamında sulanacağı tahmin edilmektedir.

DSİ Genel Müdürlüğüne göre Türkiye'nin ekonomik olarak sulanması uygun olan 8,5 milyon hektar tarım sahasının yaklaşık 1/3'ünü suya kavuşturmuştur. 2,8 milyon hektar olan bu alan ülkemizin toplam tarım alanının (28 milyon ha) yaklaşık %10'nu teşkil etmektedir. 2005 yılı başı itibariyle ülkemizde sulanan toplam 4,9 milyon hektar alanın %57'sini teşkil eden 2,8 milyon hektar DSİ projeleri marifeti ile sulanmakta iken, 2030 yılında DSİ tarafından sulama suyu sağlanan alanın 6,5 milyon hektara ulaşması ile bu oran %76'ya çıkacaktır.

Ekonomik olarak sulanabilecek 8,5 milyon hektar tarım alanının halen yaklaşık %58'inin sulanabildiği ülkemizde; beslenme ihtiyacının karşılanması, endüstrinin ihtiyacı olan tarımsal ürünlerin dengeli ve sürekli üretilebilmesi, tarım kesiminde çalışan nüfusun işsizlik sorununun çözülmesi ve hayat seviyesinin yükseltilmesi için geri kalan yaklaşık 3,61 milyon hektarın da sulanması ve bunun için gereken sulama tesislerinin bir an önce inşa edilmesi özel bir önem taşımaktadır.

Yaklaşık olarak toplam alanın %94'ünde yüzeysel sulama metotları (karık, tava ve salma) kullanılarak sulama yapılmaktadır. Geri kalan kısımda basınçlı sulama (yağmurlama ve damla) yapılmaktadır. Geleneksel (elle boru taşıma) yağmurlama sulaması çiftçiler arasında bütün ülke genelinde yaygındır ve 200.000 hektarın bu metotla sulandığı tahmin edilmektedir. DSİ sulamalarında 80.000 hektardan daha fazla alan yağmurlama metodu ile sulanmaktadır. Kaynaklarımızın optimum kullanımı açısından mevcut sulama teknolojilerini iyileştirmek zorunluluğu vardır.

2. ARAZİNİN SULAMAYA HAZIRLANMASINDA KAYNAK ARAŞTIRMASI

Belirli bir tarım alanına sulama hizmeti götürülürken uygun sulama yönteminin seçilmesi, arazinin sulamaya hazırlanması, sulama sistemlerinin planlanması, sistem unsurlarının boyutlandırılması ve işletilmesi için ilk aşamada bazı bilgilerin toplanmasına ihtiyaç vardır. Bunun için gerekli bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

- Planlama Haritası: Sulanacak arazinin topoğrafik haritası
- Tarımsal Yapı ve Mülkiyet Durumu: Kadastro haritası
- Toprak Özellikleri: Toprağın bünye sınıfı, yapısı, etkili toprak derinliği, kullanılabilir su tutma kapasitesi, tuzluluk, sodyumluluk, geçirgenlik, infiltrasyon özellikleri v.b. verilerin temininin sağlanması.
- Bitki Özellikleri; Bitki deseni ve ekiliş oranı, yöreye uygun bitki su tüketimi, sulama modülü, ıslatılacak

toprak derinliği, sulamaya başlamadan önceki toprak nem düzeyi, her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı, sulama süresi ve aralığı, toprak hazırlama, zirai mücadele ve hasat bilgilerinin oluşturulması.

- Su Kaynağı Özellikleri; Cinsi, konumu, yüksekliği, su alma yapısı, kalite sınıfı, debi (max.-min) özelliklerinin tespit edilmesi.
- İklim Bilgileri; Enlem-boylam, yükseklik, ilk-son donlar, aylık ortalama sıcaklık, yağış, bağıl nem, rüzgâr hızı ve yönü, güneşlenme süresi ve atmosfer basıncı gibi verilerin uzun yıllar ortalaması (son 10 yıllık gibi) alınmalıdır. Bu verilerin temininde sulama proje sahasına en yakın meteoroloji istasyonları kullanılmalıdır.
- İhtiyaca Göre Diğer Veriler; Özellikle malzeme ve teknik iş gücü temininin durumu, çiftçinin varsa özel koşulları ve sürdürülebilir sulama teknolojileri adına doğal enerji ve otomasyon bilgileri kullanılabilir.

3. SULAMA SUYU İHTİYACI

Bitkilerin sulama suyu ihtiyacını belirleyebilmek için, tükettikleri su miktarının, bu miktarın yağışlarla karşılanan kısmının (etkili yağış) ve sulama suyunun iletilmesi ve dağıtılmasındaki kayıpları kapsayan sulama randımanının bilinmesi gerekmektedir.

Sulama suyu ihtiyacının hesaplanması için gerekli olan bitki su tüketimi, etkili yağış, sulama randımanı ve sulama zamanının planlanması gibi kavramların açıklanması gerekmektedir.

3.1. Bitki Su Tüketimi

Bitki su tüketimi (evapotranspirasyon), toprak yüzeyinden olan buharlaşma (evaporasyon) ve bitki yapraklarından olan terleme (transpirasyon) miktarlarının toplamıdır. Genellikle derinlik (mm) cinsinden ifade edilmektedir. Bitki su tüketimini etkileyen faktörler Çizelge 1.1 de verilmiştir.Bitki su tüketimi, uygulamada ya doğrudan ölçülmekte ya da iklim verilerinden yararlanarak tahmin edilmektedir. Doğrudan ölçme yöntemleri daha sağlıklı sonuç vermesine karşın hem oldukça pahalı hem de zaman alıcıdır. Bu nedenle, bitki su tüketiminin doğrudan ölçülmesi ancak iklim verilerinden tahmin eşitliklerinin kalibrasyonu ve yöresel bitki katsayılarının bulunması amacıyla yapılmaktadır. Dolayısıyla, uygulamada bitki su tüketimi değerleri, yaygın olarak, iklim verilerine dayalı tahmin eşitlikleri kullanılarak belirlenmektedir.

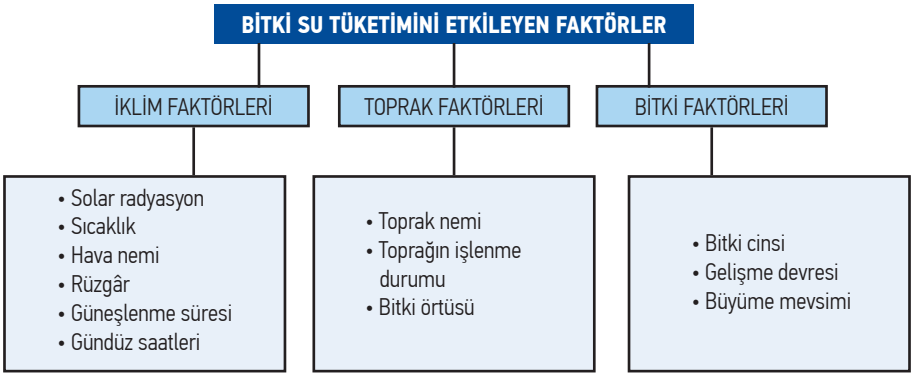
İklim verilerinden yararlanarak bitki su tüketiminin tahmininde kullanılabilecek çok sayıda eşitlik geliştirilmiştir. Bunlar;
1- Penman – Monteith Yöntemi
2- Kap Buharlaşma Yöntemi
3- Blaney – Criddle Yöntemi

3.2. Sulama Randımanı

Randıman genel olarak, mevcut bir olanaktan yararlanma oranını ifade eder. Sulama uygulamalarında yararlanılan kaynak su olduğundan, su kaynağından alınan suyun araziye iletildikten sonra ne derece yararlı olduğu sulama randımanı ile belirtilir.Araziye verilen suyun ancak belirli bir oranı bitki tarafından alınır. Geriye kalanı su iletim ve dağıtım kanallarında oluşan kayıplar ve tarlada oluşan kayıplar olmak üzere iki grup altında toplanabilir.

Su iletim ve dağıtım kanallarındaki su kayıpları, sızma ve buharlaşma yoluyla meydana gelir. Buharlaşma kayıpları, sızma kayıpları yanında göz önüne alınmayacak kadar azdır. Tarladaki su kayıplarını, bitki kök bölgesinin altına sızan su ile yüzey akış ile tarladan uzaklaşan su oluşturmaktadır.Sulama randımanına ayrıca, suyun maliyeti, su kaynağının kapasitesi, iklim koşulları, mevcut işgücü, su kontrolü ile toprak ve bitki özellikleri de etkili olmaktadır. Su kaynağından alınan su, bitki tarafından kullanılıncaya kadar çeşitli aşamalar geçirir. Her aşama için ayrı randıman söz konusudur. Toplam sulama randımanının birer unsuru olan bu randımanlar aşağıda verilmiştir.

- Transpirasyon randımanı
- Su iletim randımanı
- Su uygulama randımanı



Çizelge 1.1. Bitki su tüketimini etkileyen faktörler

3.3. Etkili yağış

Bitkilerin büyüme mevsimi boyunca ihtiyaç duydukları suyun bir kısmı daha önce de belirtildiği gibi yağışlarla karşılanmaktadır. Ancak, bitkiler düşen yağışın tamamından yararlanamazlar. Çünkü yağışın bir kısmı yüzey akışa geçebilmekte, bir kısmı da bitki kök bölgesinin altına sızabilmektedir. Toprakta kök bölgesinde depolanan, bitkilerin yararlandığı yağış miktarına etkili yağış adı verilmektedir. Etkili yağış miktarının bilinmesi, bitki su tüketiminin sulama ile karşılanacak kısmının hesaplanması açısından önemlidir.Ölçülen yağış miktarı 25 mm'den az ise, bu değer doğrudan etkili yağış olarak alınabilir. Ölçülen yağış miktarı 25 mm'den büyük olduğunda etkili yağış değerleri, çizelge 3.1.'den yararlanılarak bulunabilir. Çizelgedeki değerler, etkili yağışı düşen yağışın yüzdesi cinsinden vermektedir.

Ölçülen yağış (mm)	Net sulama suyu ihtiyacı (mm)	Bitki su tüketimi (mm/gün)						
		2	3	4	5	6	8	10
25	10	42	44	46	49	52	60	62
	20	49	52	54	58	62	71	73
	30	54	57	60	64	68	79	81
	50	62	66	69	74	79	91	93
	100	68	72	75	81	86	99	100
	150	71	75	78	84	90	100	100
50	10	41	44	45	48	51	60	62
	20	48	51	53	57	60	71	73
	30	53	57	59	63	66	79	81
	50	61	65	68	73	76	91	93
	100	67	72	74	80	84	99	100
	150	70	74	77	83	87	100	100
75	10	40	42	44	48	50	59	62
	20	47	50	52	56	59	69	73
	30	52	55	58	62	65	77	81
	50	60	63	67	72	75	88	93
	100	65	69	73	79	83	97	100
	150	68	72	76	82	86	100	100
100	10	40	41	44	46	49	57	62
	20	46	48	52	54	58	67	73
	30	51	54	57	60	64	75	81
	50	59	62	66	69	74	86	93
	100	64	68	72	75	81	94	100
	150	67	70	75	78	84	98	100

Çizelge 3.1. Etkili yağışın düşen yağışa oranı (%)

3.4. Proje Alanı Sulama Suyu İhtiyacı ve Sulama Aralığı

Sulama projelerinde genellikle, proje alanında çok sayıda bitkinin tarımı söz konusudur. Bu nedenle öncelikle, her aya ilişkin proje alanı ortalama bitki su tüketimi değerleri hesaplanır. Bu amaçla, her bitkinin aylık bitki su tüketimi değerleri elde edilir ve belirli bir aya ilişkin su tüketimlerinin ekiliş oranına göre tartılı ortalamaları alınır. Proje alanı ortalama net ve toplam sulama suyu ihtiyaçları;

$$dn = ETort - r$$
$$dt = dn / E$$

dn = Proje alanı net sulama suyu ihtiyacı, mm/ay
ETort = Proje alanı ortalama bitki su tüketimi, mm/ay
r = Etkili yağış, mm/ay
dt = Proje alanı toplam sulama suyu ihtiyacı, mm/ay ve
E = Proje alanı toplam sulama randımanı, % dir.

Bitki su tüketiminin sulama suyu ile karşılanan miktarı, net sulama suyu ihtiyacıdır ve bitki kök bölgesinde depolanması gereken su miktarını anlamına gelir.Toplam sulama suyu ihtiyacı; net sulama suyu ihtiyacının sulama randımanı ile düzeltilmesi sonucu elde edilir.Birim alan sulama suyu ihtiyacının ifadesinde kullanılan sulama modülü;

$$q = \frac{10dt}{3,6T}$$

q = Sulama modülü, L/s/ha
dt = Proje alanı toplam sulama suyu ihtiyacı, mm/ay
T = Sulama süresi, h'dir.

Belirli bir proje alanında, sulama modülü her ay için ayrı hesaplanır. Bu değerlerden yararlanarak, o ayda proje alanına verilecek sulama suyu miktarı bulunur. Bunun yanında, proje aşamasında kanal kapasiteleri, maksimum sulama modülü değerine göre belirlenir. Eşitlikteki T değeri, aydaki gün sayısı günde sulama yapabilecek süre ile çarpılarak bulunur.

3.5. Her Sulamada Uygulanacak Sulama Suyu İhtiyacı ve Sulama Aralığı

Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, kullanılabilir su tutma kapasitesinin % cinsinden verilmesi durumuna;

$$dn = \frac{(TK - SN)\ Ry}{100}\ ytD$$

ve kullanılabilir su tutma kapasitesinin derinlik cinsinden verilmesi durumunda ise;

$$dn = dkDRy$$

dn = Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm
TK = Tarla kapasitesi, %
SN = Solma noktası, %
Ry = Kullanılabilir su tutma kapasitesinin tüketilmesine izin verilen kısmı,
yt = Toprağın hacim ağırlığı, g/cm3
D = Islatılacak toprak derinliği,mm
dk = Kullanılabilir su tutma kapasitesi, mm/m

Bu eşitliklerdeki her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, bitki kök bölgesinde depolanması istenen sulama suyu miktarını ifade etmektedir. Islatılacak toprak derinliği ise genellikle etkili bitki kök derinliği

olarak alınır. Ancak etkili toprak derinliğinin etkili kök derinliğinden az olduğu yüzlek topraklarda, ıslatılacak toprak derinliği olarak etkili toprak derinliğinin alınması gerekmektedir.

Sulama uygulamalarında, etkili kök derinliğindeki toprak neminin solma noktasına kadar düşmesi beklenmez. Sulamaya daha üst toprak nemi düzeyinde başlanır. Bu da kullanılabilir su tutma kapasitesinin bitki tarafından tüketilmesine izin verilen kısmı, Ry değeri ile ifade edilmektedir.

Buradaki Ry değerleri, sulama yöntemleri ve bitkinin topraktaki nem eksikliğine duyarlı olması koşuluna göre değişmektedir. Yüzey sulama yöntemlerinde ve topraktaki nem eksikliğine duyarlı olmayan bitkilerde genellikle daha yüksek alınmaktadır. Kültür bitkilerinin sulanmasında Ry değerleri, yüzey sulama yöntemleri için 0.50-0.60, yağmurlama sulama yöntemi için 0.50, damla sulama yöntemi ve küçük yağmurlama başlıklarının kullanıldığı ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemi için 0.30-0.40 alınmaktadır.

Tarla parsellerine her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, net sulama suyu miktarının su uygulama randımanı ile düzeltilmesi sonucunda bulunur.

$$dt = \frac{dn}{Ea}$$

dt = Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm
dn = Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm
Ea = Su uygulama randımanı, %

değerlerini göstermektedir. Bu eşitlikteki su uygulama randımanı, bitki kök bölgesinde depolanan su miktarının, tarlaya uygulanan su miktarına oranıdır. Bu değer, yüzey sulama yöntemlerinde 0.30-0.80, yağmurlama sulama yönteminde 0.65-0.80 ve damla sulama yönteminde 0.85-0.95 arasında değişebilmektedir. Bu formülde verilen değerler, tarla başında ihtiyaç duyulan toplam sulama suyu miktarını ifade etmektedir. Su kaynağında ihtiyaç duyulan toplam sulama suyu miktarı ise;

$$dt = \frac{dn}{EaEc}$$

dt = Su kaynağında ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarı, mm
dn = Bitki kök bölgesinde depolanması istenen sulama suyu miktarı, mm
Ea = Su uygulama randımanı, %
Ec = Su iletim randımanı, % dir.

Tarla sulama sistemlerinde su iletim randımanı, toprak kanallarda % 70, beton kaplama kanallarda ise % 85 civarındadır. Su iletiminin basınçlı boru hatlarıyla yapıldığı sistemlerde bu değer % 100 alınabilir.

Sulama aralığı, her sulamada uygulanan net sulama suyu miktarının, bitkinin günlük su tüketimine bölünmesiyle elde edilir.

$$SA = \frac{dn}{ET}$$

SA = Sulama aralığı, gün
dn = Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm
ET = Bitki su tüketimim, mm/gün dür.

Ağır bünyeli topraklarda, hafif bünyeli topraklara oranla, kullanılabilir su tutma kapasitesi daha yüksek olduğundan, her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı da yüksek olur. Dolayısıyla sulama aralığı daha fazladır. Bunun yanında, bitki büyüme mevsimi boyunca su tüketimi değerleri farklılık gösterdiğinden, sulama aralığı da değişmektedir. Bitkiler ilk büyüme periyotlarında geniş aralıklarla, gelişmenin en üst düzeyde olduğu periyotlarda daha sık aralıklarla sulanırlar.

3.6. Sistem Kapasitesi

Belirli bir sulama sisteminin kapasitesi;

$$Q = \frac{Adt}{3.6T}$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlik aynı zamanda her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarının ve toplam sulama suyu miktarının hesaplanmasında mm cinsinden bulunacak toplam sulama suyu ihtiyacının L/s cinsinden ifade edilmesinde ya da su kaynağında mevcut sulama suyu miktarı ile belirli bir tarla parselinin ne kadar sürede sulanacağının belirlenmesinde kullanılabilir.

Q = Sistem kapasitesi, L/s
A = Sulanacak alan, da
dt = Toplam sulama suyu ihtiyacı, mm
T = Sulama süresi, h dir.

3.7. Sulama Zamanının Planlanması

Sulama zamanının planlanmasında amaç, sulamaya başlanacak zamanın ve uygulanacak sulama suyu miktarının belirlenmesidir. Bu işlemlerin yapılabilmesi için tarımı yapılan bitki özellikleri, ıslatılacak toprak derinliği, toprağın kullanılabilir su tutma kapasitesi, sulamaya başlanacak nem düzeyi, her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi gibi bilgilere gerek vardır. Sulama zamanının planlanmasında temel ilke, toprak nemini sulamaya başlanacak nem düzeyine düştüğünde tarla kapasitesine çıkaracak kadar sulama suyu uygulamaktır.

Sulama zamanı çeşitli yöntemlere göre planlanabilmektedir. Bunlardan en çok kullanılanları;

Fenolojik gözlemlerle sulama zamanının planlanması: Bu yöntemde, bitkilerin yapraklarının rengine, canlılığına ve açısına bakılarak sulama zamanının geldiğine karar verilir. Deneyimi gerektiren ve çok kaba sonuç veren bir yöntemdir. Genellikle düşük ya da aşırı su kullanımı söz konusudur.

Toprak neminin elle kontrolü ile sulama zamanının planlanması: Bitki kök bölgesinden alınan toprak örnekleri, elle kontrol edilerek sulama başlangıcındaki nem düzeyine düşüp düşmediği belirlenir. Sulama başlangıcındaki nem düzeyini tarla kapasitesine çıkaracak kadar sulama suyu uygulanır. Bu yöntemde deneyimi gerektiren, oldukça kaba sonuç veren, genellikle düşük ya da aşırı su kullanımının söz konusu olduğu bir yöntemdir.

Toprak neminin ölçülmesi ile sulama zamanının planlanması: Sulamaya başlanacak nem düzeyi gravimetrik yöntemle, tansiyometrelerle ya da nötron yöntemiyle ölçülerek saptanmaktadır. Öncelikle bitki kök bölgesinde sulamaya başlanacak nem düzeyinin yüzde cinsinden ifadesi gerekmektedir.

Bitki su tüketiminden yararlanarak sulama zamanının planlanması: Bu yöntemin esası, su dengesi modeline göre bir su bilançosu hazırlayarak, kök bölgesinde günlük toprak nemi değişimlerini hesaplamaktır. Bu amaçla, önceden etkili bitki kök derinliğinde tarla kapasitesi ve sulamaya başlanacak nem düzeyinin derinlik cinsinden ifade edilmesi ve günlük bitki su tüketimi değerlerinin hesaplanması gerekmektedir.

3.8. Bitkinin Su Alımını Etkileyen Faktörler

Bitkilerin su alımını etkileyen faktörleri, bitki çevresiyle ilgili faktörler ve bitki faktörleri olarak iki ana gruba ayırabiliriz.

1. Çevre Faktörleri; Bitkilerin su almasında çevre faktörlerinin büyük etkisi vardır. Öncelikle toprakta bitkilerin alabileceği miktarda su bulunmalıdır. Bitki kökleri suyu herhangi bir noktadan absorbe etmeye başladığı zaman, kapillar yüzeyin altında bulunan kalın su halesi incelir ve toprak içindeki kılcal boruların yüzey konkavlığı artar. Bu durum kapillar çekimi arttırır ve kapillar su köklerin bulunduğu absorbsiyon noktasına doğru harekete geçer. Bu hareketin yönü ve hızı, toprakta oluşan tansiyon gradientlerî arasındaki farkın büyüklüğüne ve kapillar boşlukların geçirgenliğine bağlıdır.

Bir bitkinin kılcal kökleri toprağın nemini absorbe etmek suretiyle, otomatik olarak bir tansiyon gradienti oluşur ve aktif kök yüzeyine doğru su akımı başlar. Ancak kapillarite ile az su temin edildiğinden, bu her zaman gerçekleşmeyebilir. Bitkilerin, toprak içinde fazla miktarda düzgün ve süratli bir su akışına ihtiyaçları vardır. Toprakta su kitle hareketi veya diffüzyon yolu ile hareket ederek, köklerin bulunduğu noktaya daha çabuk ve istenen miktarda gelebilir. Ancak bitki kökleri her zaman topraktaki suyun yanlarına gelmesini beklemeden, kendileri büyüyerek suyun bulunduğu yöne doğru hareket eder. Toprakta suyun bulunduğu yere doğru gerçekleşen bitki hareketi aynı zamanda hidrotropizm olarak ta tanımlanmaktadır. Bu durum bitki köklerinin toprak içinde dağılış şekli, miktarı ve derinliği ile önem kazanır.

Bitkiler toprakta tutulu bulunan suyun 15 atmosfer güce kadar olanını alabilir. Bu değerden daha fazla güçle tutulan sulardan bitkiler yararlanamaz.

Toprakta bulunan tuzların miktarı ve cinsleri de su alımına etkili olur. Toprakta tuz konsantrasyonunun artması osmotik basıncın artmasına neden olur. Eğer köklerdeki osmotik basınçtan daha yüksek bir basınç ortaya çıkarsa, kökler topraktaki suyu alamaz, hatta kendi bünyelerindeki suyu dışarıya vermeğe başlar. Ancak burada aktif su alma devreye girerek bazı bitkiler yine belli oranda toprak tuzluluğuna (yüksek basınca) rağmen su almaya devam edebilir. Bu bitkiler, kısmen kurağa ve tuzluluğu dayanıklı bitkiler olarak gösterilir.

Toprak sıcaklığının da bitkilerin su alım gücü üzerine etkisi vardır. Bu yönden toprak sıcaklığının ortalama 8-25 derece arasında olması istenir. Sıcaklığın düşmesi özellikle sıcaktan hoşlanan bitkilerde su alımını azaltır. Örneğin, sera domateslerinde sıcaklık 20 dereceden 10 dereceye düştüğünde su alımı % 20-30 azalmaktadır. Buna karşın serin iklim bitkisi olan lahanalarda su alımı % 30-40 artmaktadır. Ancak lahanalarda da toprak sıcaklığı 5 derecenin altına düştüğünde su alımı azalmaktadır. Buradan şu sonuca gidebiliriz; Her bitkinin belirli bir sıcaklık derecesinde en iyi su alma olanağı vardır.

Düşük derecelerde bitkilerin su alımını kısıtlayan faktörleri aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

a. Kök büyümesi kısıtlanır ve kök aktivitesi azalır.

b. Kök hücrelerinin zar geçirgenliği azalır.

c. Hücre protoplazmasının aktifliği ve geçirgenliği azalır.

d. Suyun yapışkanlığı (viskozitesi) artar.

e. Suyun buhar basıncı azalır.

f. Topraktan köke su hareketi azalır.

Düşük derecelerde su alımı azaldığı gibi, çok yüksek derecelere doğru çıkıldığında da aynı etki ortaya çıkmaktadır.

Bitkinin su alımına etkili diğer bir faktör, toprak havasıdır. Topraktaki oksijen miktarı azaldıkça ve karbondioksit miktarı yükseldikçe köklerin su alması yavaşlamaktadır. Havasız toprak ortamı, kök hücrelerindeki viskoziteyi arttırmakta ve köke su girişini azaltmaktadır. Bu yüzden bitkiler suyu alamamaktadır. Kuvvetli ve uzun süreli yağışlar, taban su seviyesinin yükselmesi ve bilinçsiz yapılan fazla miktar ve sıklıktaki sulamalar, topraktaki su miktarının artmasına, topraktaki bütün boşlukların su ile dolmasına ve bunun sonucunda da toprağın havasız kalmasına neden olmaktadır. Bilindiği gibi bitkiler normal gelişmelerini sürdürebilmek için toprakta suya olduğu kadar belirli miktarda havaya da gereksinim duymaktadırlar. Topraktaki su miktarının artması ve buna bağlı olarak oksijen miktarının azalması sonucu;

1. Kök hücrelerinin bölünerek çoğalması yavaşlamakta ve istenen düzeyde kök gelişmesi sağlanamamaktadır. Oysa bitkilerde toprak üstü organlarının yeterli düzeyde gelişmesinin ilk koşulu kök sisteminin iyi bir şekilde gelişmesidir.

2. Topraktaki organik maddeyi parçalayarak bitkilerin alacağı besin maddesi şekline dönüştüren toprak mikroorganizmalarının faaliyeti yavaşlamaktadır.

3. Toprakta bitki besin maddeleri alımını engelleyen zararlı bileşikler oluşmaktadır.

Tüm bu etmenler bitki gelişmesini etkilemekte, dolayısıyla verimde azalma söz konusu olmaktadır.

Özetle bitkinin normal gelişmesini sağlamak için önemli koşullardan biri, toprakta yeterli düzeyde nemin bulundurulmasıdır. Öte yandan iyi drenaj koşullarında topraktaki fazla su yerçekiminin etkisi ile bitki kök bölgesi altına sızmakta ve bitki besin elementlerini kök bölgesinden yıkayarak uzaklaştırmanın dışında önemli bir sorun meydana gelmemektedir.

2. Bitki Faktörleri; Topraktaki suyun bitkiler tarafından alınımı, doğal olarak, bitkiye bağlı bazı özellikler tarafından da önemli ölçüde değişebilmektedir. Bir bitkinin değişik çevre faktörleri altında yayılış şekli ve yapısal özelliği değişebildiğinden, işlevlerinde de farklılık meydana gelebilmektedir. Buna bağlı olarak gelişme dönemi boyunca bitki su tüketimi değerleri de değişecektir. Bu durum bitki cins ve türlerine göre değiştiği gibi, bir bitkinin yaşam süreci içindeki çevresel etmenler ve uygulanan kültürel işlemlere göre de farklılık gösterecektir. Söz konusu farklılıklar olarak, bitkinin gelişme süresi, anatomik yapısı, kök geliştirme miktarı

ve derinliği, köklerin suyu emiş gücü, toprak üstü organları ile toprak organları arasındaki büyüme dengesi ve bağlantısı vb, gibi birçok etken sayılabilir.

Yukarıda belirtilen etmenler içerisinde özellikle bitki kök gelişmesi, bitki su ilişkisi yönünden en etkili ve büyük rolü oynamaktadır. Ayrıca yine kökle ilgili olarak, kökün büyüme hızı, kök derinliği, kök emici tüylerinin miktarı, kökün botanik yapısı, emme gücü gibi birçok yan etken de sayılabilir.

Bitkinin su gereksinmesine, bitkilerin cins ve türleri ile yağışlar hariç tutulursa, sulama yöntemi, sulama suyu miktarı ve sayısı, sıcaklık, havanın oransal nemi, rüzgâr hızı, günün ve mevsimin durumu vb birçok etmen etkili olmaktadır.

Bitki su tüketimi, "Evapotranspirasyon" ile eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Evapotranspirasyon; toprak yüzeyinden olan buharlaşma (evaporasyon) ile bitki yapraklarından olan terleme (transpirasyon) yoluyla atmosfere verilen toplam su miktarıdır. Birimi genellikle derinlik olarak (mm) ifade edilmektedir. Uygulamada evaporasyon ile transpirasyonun ayrı ayrı ölçülüp değerlendirilmesi güçtür. Gerçekte, sulama yönünden buna gerekte bulunmamaktadır. Sulama yönünden önemli olan, toprak nemindeki azalma miktarının değerlendirilmesidir. Bu nedenle, sulama uygulamalarında evaporasyon ve transpirasyon birlikte ölçülür ya da tahmin edilir.

Bitki su tüketimi; günlük, aylık ve mevsimlik olmak üzere değişik zaman aralıkları için belirlenmektedir. Belirtilen sürelerin her biri, sulama sistemlerinin gerek projelendirilmesi gerekse de işletilmesinde alınacak kimi kararlar üzerinde son derece etkilidir. Örneğin; Bitki su tüketiminin en çok olduğu aya ilişkin değerler, sulama sistemi içerisinde yer alan özellikle su iletim hattı öğelerinin kapasitesinin saptanmasında, günlük bitki su tüketimi değerleri, sezon içerisinde yapılacak sulamaların zaman ve aralığının belirlenmesinde, bitki gelişme döneminin* başından sonuna kadar geçen sürede tüketilen suyu ifade eden mevsimlik bitki su tüketimi değerleri ise yerüstü ya da yeraltı kaynaklarında depolanacak (alınacak) sulama suyu hesaplarında kullanılmaktadır.

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi bitki su tüketimi, iklim, toprak, bitki ve sulama uygulaması olmak üzere başlıca dört etmen tarafından etkilenmektedir. Sıcaklık arttıkça, hava hareketi hızlandıkça bitkilerdeki terleme buna paralel artar. Fakat belli bir yüksek sıcaklık derecesinden ve hava hareket hızından sonra bitki kendisini korumak üzere terlemeyi durdurur. Bunun için gözeneklerini (stomalarını) kapatır. Bitkinin su almasına, kaybettiği su miktarı önemli ölçüde etki yapar, Bitki su kaybında yaprak anatomisi, stoma sayısı ve stoma hareketlerinin de önemli rolü vardır. Normal olarak bitki stoma hareketlerine etken olan ışık, sıcaklık ve içsel maddeler de dolaylı yoldan bitki su alımına karışır. Buradan görüldüğü gibi, bitki su gereksinimini belirlemek birçok faktörün doğrudan ve dolaylı yoldan yalın ve karşılıklı etkilerinin incelenmesiyle ortaya konacak karmaşık ve zor bir sorundur.

Bitki gelişmesinde, su ve topraktan alınan besin maddeleri ile vegetasyon süresi önemli rol oynar. Besin maddelerinin bitki bünyesine alınması, beslenmede kullanılacak besin maddelerinin molekül ve iyonal kısmının suda tamamen erimiş ve serbest hale gelmiş olmasını gerektirir. Bunun sonucunda suyla birlikte bünyeye bu maddeler alınarak gelişme sağlanır.

Bitkilere bakarak sulama zamanının belirlenmesi, genellikle uygulamada başvurulan bir yöntemdir. Bu yöntemde genellikle yaprakların pörsüme durumu dikkate alınır. Bitkilerde geçici ve sürekli iki türlü pörsüme (solgunluk) şekli vardır. Geçici solgunlukta toprakta yeter miktarda su bulunur. Bitki sabah turgor halindedir.

Bu saatlerde susuzluk belirtisi görülmez. Ancak öğleye doğru hava sıcaklığının ve ışık şiddetinin artması, bitkideki terlemenin doruk noktasının üstüne çıkmasına neden olur. Bu sırada kökler aracılığıyla alınan su, bitkinin yapraklan vasıtasıyla kaybettiği sudan az olduğunda, yani alınan su kaybedilen suyu karşılayamadığı durumlarda, bitki hücrelerinde plazmoliz meydana gelir ve bitkide solma başlar. Yapraklar eğrilir, bükülür, sarkar, sürgün ucu kıvrılır. Akşama doğru ortamdaki fazla sıcak ve ışık şiddeti gibi kötü hava koşullarının kaybolmasıyla, bitkideki su dengesi yeniden kurulur. Alınan su, kaybedilen sudan daha fazla duruma geçer, bitki hücreleri su ile dolar ve turgor meydana gelir. Bunun sonucunda bitki yapraklan ve sürgünü gerginleşir ve dikleşir. Bitkideki bu solgunluğa "Geçici Solgunluk" yaşanan bu olaya ise "Fizyolojik Kuraklık" adı verilmektedir.

Bitki sabah ve akşam saatlerinde normal yaşama koşullarında bile bir solgunluk gösterirse, bu solgunluğa "Sürekli Solgunluk" denir. Sürekli solgunluk, toprakta suyun azalması sonucu meydana gelir. Bu yüzden, sürekli solgunlukta bitki büyümesi yavaşlar ve hatta durur. Bitki yapraklan önce pörsür, kıvrılır daha sonra ise renkleri koyulaşır. Bunun sonucunda da yapraklarda önce sararmalar başlar ve alttan itibaren yaprak dökümleri hızlanır. Sürgün ucu kurur. Susuzluğun devam etmesi durumunda, bitki nihayet tamamen kurur.

Bazen toprakta su bulunmasına ve hava koşullan bitki yetiştirmeye uygun olmasına rağmen bitkilerde daimi solgunluk görülebilir. Bu solgunluk su azlığından* ileri gelmez. Bu solgunlukta, öncelikle bitkinin bir tarafında bir rahatsızlık aranmalıdır. Kök hastalıklar ve zararlıların kökleri hastalandırması veya öldürmesi, bitki iletim borularının herhangi bir hastalık veya mekanik olarak zarar görmesi ve tahrip olması gibi durumlar bu sonucu doğurmuş olabilir. Bunun dışında, toprak tuzluluğunun artması, toprağın havasız kalması, toprak sıcaklığının yeteri derecede olmaması gibi durumlar da benzer şekilde etkide bulunabilir.

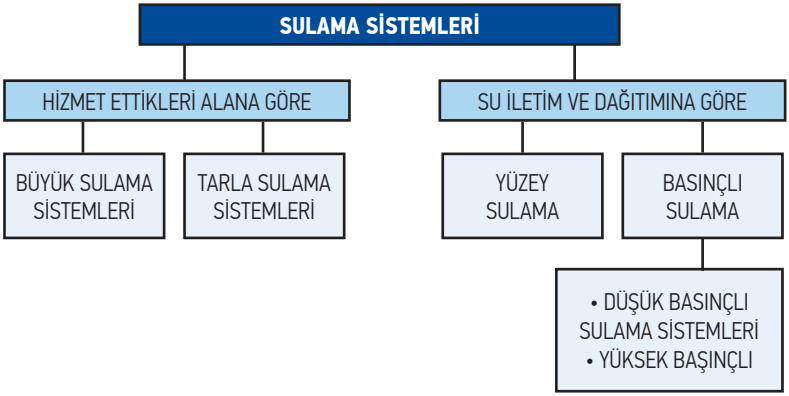
Diğer taraftan bitki köklerinin toprak içinde dağılışı, toprağın yapısına, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine, su ve besin maddelerinin durumuna bağlıdır. Düzgün koşullarda her bitki kendi genetik özelliğini tam olarak ortaya koyar. Köklerin dağılışı düzgün ve belirli yerlere kadar uzanır. Bu konuda domates bitkisi örnek olarak verilecek olursa; yaz aylarında tam gelişmiş domates bitkisi köklerinin % 50'ye yakın kısmının toprak yüzeyinden itibaren ilk 50-80 cm'lik derinliğe ve 80-100 cm genişliğe kadar ulaştığı söylenebilir, Bitki köklerinin geriye kalan % 20-30'luk bölümü 80-100 cm derinliğe ve 100-120 cm genişliğe, %10-20'lik bölümü ise 120 cm' den daha derinlere ve 150 cm genişliğe, hatta bazı durumlarda 200 cm'ye kadar yayılabilmektedir. Kış aylarında ısıtılmayan bir serada köklerin derinliğine ve genişliğine yayılması birden, büyük ölçüde azalır. Ancak ısıtılmayan bir serada 20-30 cm derinlik ve 30-50 cm genişlikte kalır. Seranın ısıtılması durumunda ise biraz daha artarak 30-50 cm derinlik ve 40-80 cm genişliği bulur. Kısacası çevre koşullarının değişimi ile köklerin yayılma oranı farklılaşır ve genetik karakterin olması gereken büyüklüğünü alamaz.

Bitkinin gelişim durumuna göre de köklerin derinliğine ve genişliğine büyümesinin farklılık göstermesi normaldir. Genç domates bitkisi 1-1,5 aylık büyüklükte iken köklerini en fazla 20-30 cm'lik bir alana yayabilir. 2-3 aylık dönemde bunu 30-50 cm'ye çıkartır, laman ilerledikçe köklerin yayılması yukarıda verilen ölçülerdeki en son şeklini alır.

Kök salma derinliklerine göre bitkiler derin, orta derin ve yüzlek köklü olarak üç guruba ayrılır. Genelde kökleri 60 cm kadar giden, ortalama 20-30 cm arasında kök salan bitkilere yüzlek köklü bitkiler, 120 cm kadar giden ve ortalama 40-80 cm arasında kök salan bitkilere orta köklü sebzeler, 180 cm'den daha fazla derine giden ve ortalama 100-150 cm arasında kök salan bitkilere de derin köklü bitkiler denir. Bitkilerin kök derinlikleri ve normal koşullarda toplam gelişme dönemi boyunca tükettikleri su miktarları yönünden çizelge l'deki gibi bir gruplandırma yapılabilir.

4. SULAMA SİSTEMİ VE YÖNTEMLERİ

Bitkilerin normal gelişmelerini sürdürebilmeleri ve ürün verebilmeleri için ihtiyaç duydukları sulama suyu, bir takım yapılarla su kaynağından alınır, sulanacak alana iletilir ve alan içerisinde bitki kök bölgesine kadar dağıtılır. Bu yapıların bütününe sulama sistemi adı verilmektedir. Bu yapılarla yalnızca suyun alınması, iletilmesi ve dağıtılması değil, aynı zamanda kontrolü de gerçekleştirilir. Sulama sistemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılır.



SULAMA YÖNTEMLERİ

YÜZEY SULAMA	BASINÇLI SULAMA
a) Salma sulama	a) Makro sulama
b) Tava (göllendirme) sulama	- Yağmurlama sulama
c) Karık sulama	b) Mikro sulama
d) Uzun tava sulama	- Damla sulama
	- Mikrojet sulama
	- Mini Sprinkler
	- Sızdırma sulama

Çizelge 4.1. Sulama yöntemlerinin sınıflandırılması

Sulama yöntemi deyimi; su kaynağından tarla parsellerine kadar getirilen suyun bitki kök bölgesine veriliş biçimini tanımlar. Sulama yöntemlerini yüzey ve basınçlı sulama yöntemleri biçiminde sınıflandırmak mümkündür (Çizelge 4.1). Yüzey sulama yöntemlerinde su arazi yüzeyinde belirli bir eğim doğrultusunda yerçekiminin etkisi ile ilerlerken bir yandan da infiltrasyonla toprak içerisine sızar ve istenen miktarda sulama suyu bitki kök bölgesinde depolanır. Basınçlı sulama yöntemlerinde ise sulama suyu kaynaktan bitkiye kadar basınçlı borularla iletilir ve dağıtılır. Basınç altındaki sulama suyu yağmurlama sulama yönteminde olduğu gibi doğal yağışa benzer biçimde bitki üzerinden verilir veya damla sulama yönteminde olduğu gibi toprak yüzeyine verilir.

Sulama yöntemi deyimi; su kaynağından tarla parsellerine kadar getirilen suyun bitki kök bölgesine veriliş biçimini tanımlar. Sulama yöntemlerini yüzey ve basınçlı sulama yöntemleri biçiminde sınıflandırmak mümkündür (Çizelge 4.1). Yüzey sulama yöntemlerinde su arazi yüzeyinde belirli bir eğim doğrultusunda yerçekiminin etkisi ile ilerlerken bir yandan da infiltrasyonla toprak içerisine sızar ve istenen miktarda sulama suyu bitki kök bölgesinde depolanır. Basınçlı sulama yöntemlerinde ise sulama suyu kaynaktan bitkiye kadar basınçlı borularla iletilir ve dağıtılır. Basınç altındaki sulama suyu yağmurlama sulama yönteminde olduğu gibi doğal yağışa benzer biçimde bitki üzerinden verilir veya damla sulama yönteminde olduğu gibi toprak yüzeyine verilir.

4.1. UYGUN SULAMA YÖNTEMİNİN SEÇİLMESİ

Sulama uygulamalarında, belirli bir alan sulamaya açılırken, önce koşullara en uygun sulama yöntemi seçilir, sonra bu yöntemin gerektirdiği sistem planlanır, kurulur ve işletilir. Genel olarak seçilecek sulama yönteminin aşağıdaki gibi bazı şartları yerine getirmesi gerekir;

- Üniform bir su dağılımı,
- Derine sızma ve yüzey akışları gibi kayıpların minimum kılınması,
- Toprak erozyonuna neden olmaması,
- Tarımsal mekanizasyonu engellememesi,
- Tuz sorunu olan yerlerde tuzların yıkanmasına yardımcı olması gerekir.

Bu şartların tamamını yerine getirebilen bir sulama yöntemi bulmak mümkün değildir. Sulama yöntemlerinin birbirlerine karşı avantaj ve dezavantajları vardır.

Sulama yönteminin seçiminde etkili olan faktörler Çizelge 4.2'de şematik olarak gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi bu faktörleri; su kaynağı ve sulama suyunun özellikleri, toprak özellikleri, topoğrafik özellikler, iklim özellikleri, bitki özellikleri, ekonomi, sosyal ve kültürel durum olmak üzere 7 grupta toplamak mümkündür.

Sulama yönteminin seçilmesinde izlenmesi gereken yol faktörleri vardır. Şekil 4. 1'de karşılaştırmalı bu faktörlerin değerlendirilmesi sonucunda, hangi sulama yönteminin seçileceği büyük ölçüde ortaya çıkacaktır.

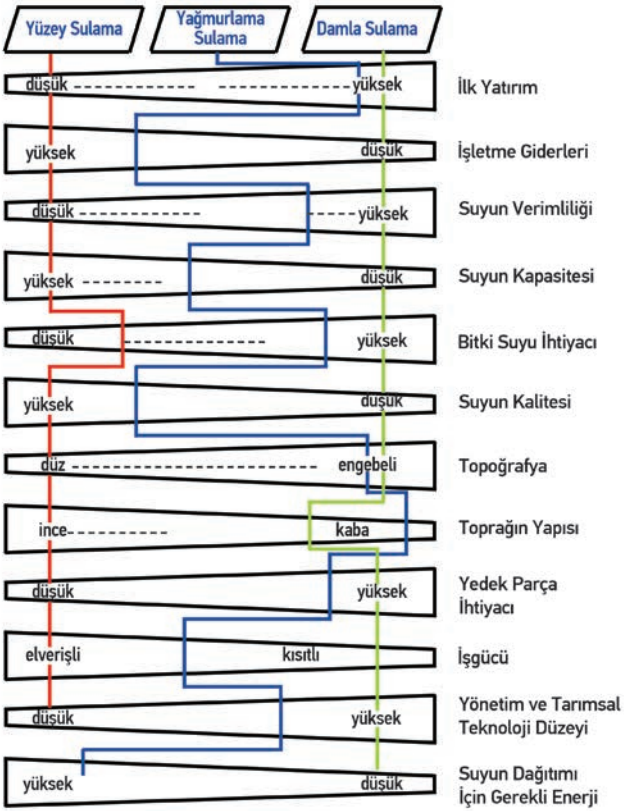
4.1.1. Su Kaynağı ve Sulama Suyunun Özellikleri

Su kaynağının cinsi ve uzaklığı;

Sulama suyu, akarsu vb. yerlerden saptırılarak alınıyorsa genellikle açık kanal sistemiyle getirilir ve yüzey sulama yöntemleri uygulanır. Su kaynağı istenen basıncı sağlayacak kadar yüksekte ise, ayrı bir enerji masrafı gerekmeyeceğinden basınçlı sulama yöntemleri tercih edilmelidir. Su derin kuyulardan sağlanıyorsa suyun birim maliyeti oldukça yüksektir. Bu durumda yüksek sulama randımanının elde edildiği basınçlı sulama yöntemleri seçilir.

Su kaynağının debisi ;

Tava (göllendirme) ve uzun tava (border) sulama yöntemlerinde çok fazla miktarda su gerekir. Bu yüzden tarla başındaki su debisinin 30 l/s 'nin altında olması durumunda karık sulama veya basınçlı sulama yöntemlerinden birini seçmek gerekir.



Şekil 4.1. Sulama yönteminin seçilmesindeki faktörler

Su kısıtı ;

Sulanacak arazinin fazla, suyun az olduğu durumlarda yüksek bir su uygulama randımanı gerektiğinden, genellikle basınçlı sulama yöntemleri seçilir.

Sulama suyu kalitesi ;

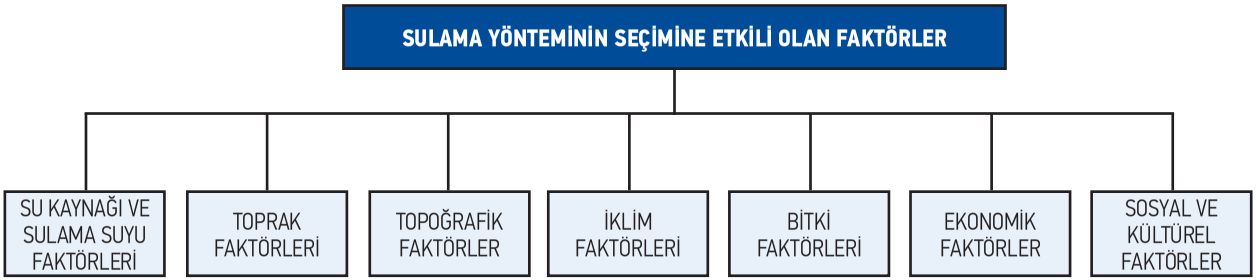
Suyun kalitesi genellikle içindeki eriyebilir tuz miktarı ile derecelendirilir. Eğer sulama suyu tuzlu ise suyun tarlaya uygulanması, toprakta tuz birikmesine olanak vermeyecek şekilde olmalıdır. Sulamada kullanılan suyun 100 tonunda 50-1800 kg arasında tuz bulunur. Bu yüzden tuzlu topraklarda genelde bu tuzları yıkamak için tava veya uzun tava sulama yöntemi kullanılır. Karık sulamada sadece karıkların içi ıslatıldığından tuz sırtlara hareket eder ve buralarda tuzların birikmesine neden olur. Bu sebeple tuzlu topraklarda karık sulama yöntemi tavsiye edilmez.Sulama suyunun çok fazla sediment taşıması durumunda basınçlı sulama yöntemlerinin uygulanması sakıncalıdır. Bunun nedeni, suyun temizlenmesi için filtre ünitesine gerek duyulması ve bununda oldukça pahalı olmasıdır.

SULAMA SUYU ANALİZ SONUÇLARI DEĞERLENDİRME TABLOLARI	
TUZLULUK	
Sınıfı	**Açıklaması**
T1 AZ TUZLU SU	Her çeşit bitki sulamasında kullanılabilir. Toprak çok düşük geçirgenliğe sahip olmadığı müddetçe toprakta tuzluluk yaratmaz.
T2 ORTA TUZLU SU	Tuzluluğa hassas bitkiler hariç bütün bitkilerin sulanmasında kullanılabilir. Toprak geçirgenliğinin iyi ve orta derecede olduğu yerlerde özel tuzluluk kontrol tedbirlerine ihtiyaç yoktur.
T3 YÜKSEK TUZLU SU	Tuza dayanıklı bitkilerin sulanmasında kullanılabilir. Yeterli geçirgenlik ve drenaj şartlarında dahi özel tuzluluk kontrol tedbirleri gerektirir. Drenajı tam olmayan topraklarda kullanılmamalıdır.
T4 ÇOK YÜKSEK TUZLU SU	Normal şartlarda sulamaya uygun değildir. Fakat tuzluluğa çok dayanıklı bitkilerin seçildiği , yıkama ihtiyacının da dikkate alındığı , drenajı ve geçirgenliği çok iyi olan topraklarda özel tuzluluk kontrol tedbirleri ile kullanılabilir.
ALKALİLİK	
Sınıfı	**Açıklaması**
A1 AZ SODYUMLU SU	Hemen bütün topraklarda sulama için kullanılabilir. Zararlı derecede alkalilik yaratma tehlikesi çok azdır. Bununla birlikte taş çekirdekli meyveler gibi alkaliliğe karşı hassas olan bitkilerin etkilenmesi mümkündür.
A2 ORTA SODYUMLU SU	İnce bünyeli (killi ve yüksek katyon değiştirme kapasitesine sahip) topraklarda, bilhassa az yıkama şartlarında hissedilir derecede bir alkalilik tehlikesi ortaya çıkar. Toprakta jips mevcut ise durum daha az tehlikelidir. Bu sular kaba bünyeli (kumlu) ve geçirgenliği iyi olan organik (turbiyer) topraklarda kullanılabilir.
A3 YÜKSEK SODYUMLU SU	Çoğu topraklarda zararlı derecede bir alkalilik yaratır. İyi drenaj, fazla yıkanma ve organik madde ilavesi gibi özel tedbirler ister. Jips içeren topraklarda bu sular tehlikeli bir alkalilik oluşturmayabilir. Değişebilir sodyumun yerine kalsiyumu yerleştirmek için bazı kimyasal maddelerin ilavesi gerekebilir. Ancak çok yüksek tuzluluğa sahip sularda kimyasal madde ilavesi mümkün olmayabilir.
A4 ÇOK YÜKSEK SODYUMLU SU	Genellikle sulamada kullanılamaz. Ancak düşük veya orta derecede tuz kapsadığında (T1-A4) ve (T2-A4) toprakta erimiş kalsiyum bulunması halinde veya jips gibi ıslah edici maddelerin uygulanması şartı ile kullanılabilir.

SULAMA SULARININ ELEKTRİKSEL İLETKENLİĞE GÖRE SINIFLANDIRILMASI	
E.C. (dS/m)	**Sınıfı**
0,250 0,250-0,750 0,750-2,250 2,250 +	T1 (Az Tuzlu) T2 (Orta Tuzlu) T3 (Yüksek Tuzlu) T4 (Çok Yüksek Tuzlu)
SAR	**Sınıfı**
0-10 10-18 18-26 26	A1 (Az Sodyumlu Su) A2 (Orta Sodyumlu Su) A3 (Yüksek Sodyumlu Su) A4 (Çok Yüksek Sodyumlu Su)

KALAN SODYUM KARBONAT (RSC)
2.5 me/lt den fazla ise sulamada kullanılamaz
1.25- 2.5 me/lt zarar verebilir
1.25 me/lt den az ise sulamada kullanılabilir

SODYUM ve KLOR İÇERİĞİ		
SODYUM (%)	**KLORÜR (me/lt)**	**SINIFI**
< 20 20-40 40-60 60-80 >80	<4 4-7 7-12 12-20 >20	ÇOK İYİ İYİ KULLANILABİLİR ŞÜPHELİ KULLANILAMAZ



Çizelge 4.2 : Sulama yönteminin seçimine etkili olan faktörler

4.1.2. Toprak özellikleri

Kullanılabilir su tutma kapasitesi; Kullanılabilir su tutma kapasitesi yüksek olan topraklarda, her sulamada fazla miktarda su geniş sulama aralığı ile uygulanabilir. Bu koşullarda yüzey sulama yöntemleri ile nispeten yüksek sulama randımanı sağlanabilir. Kullanılabilir su tutma kapasitesinin düşük olduğu kumlu topraklarda ise sık aralıklarla ve her defasında az miktarda su uygulamak gerekir. Bu durumda yüzey sulama yöntemlerinin randımanı düşük olacağından basınçlı sulama yöntemlerini seçmek daha doğrudur.

Su alma hızı (İnfiltrasyon); Sulama yöntemlerinin seçiminde en önemli etkenlerden birisidir. Su alma hızı sulama yönteminin seçiminde, yüzey sulama yöntemlerinde uygun tava ve karık boyutlarının seçiminde, yağmurlama sulama yönteminde yağmurlama başlıklarının aralıklarında ve yağmurlama hızının belirlenmesinde dikkate alınması gereken önemli bir etkendir. Genellikle düşük infiltrasyon hızı, yüzey sulama yöntemlerinde daha büyük tava ve karık boyutlarına imkân sağlar. Yüksek infiltrasyon hızında ise derine sızma kayıpları yüksek olur ve boyutları küçültmek gerekir. Ayrıca meyilli arazilerde eğer su alma hızı çok düşük ise yüzey akışlarla kayıplar artar.Toprağın su alma hızı 75 mm/h'in üzerinde ise (kumlu topraklar) basınçlı sulama yöntemleri seçilir. Su alma hızı 12.5 mm/h'den az ise oldukça fazla akış uzunlukları elde edilebileceğinden, genellikle yüzey sulama yöntemleri daha uygun olur. Bu değer 12.5-75 mm/h arasında ise sulama yönteminin seçimine diğer faktörler etkilidir.

Toprak derinliği ve taban suyu; Etkili toprak derinliğinin az ya da taban suyunun yüksekte olduğu sığ topraklarda, yapılacak kazı toprak derinliğini daha da azaltacağından arazi tesviyesi yapmak sakıncalıdır. Ayrıca bu tip topraklarda derine sızmaya izin vermeyen kontrollü bir su uygulaması yapmak gerekir. Eğer fazla su uygulaması yapılırsa, taban suyunun bitki kök bölgesine yükselmesi ve bu bölgede uzun süre kalması sonucu, bitki köklerinin gelişmesi duraklar. Bu nedenle etkili toprak derinliğinin az ya da taban suyunun yüksekte olduğu sığ topraklarda, basınçlı sulama yöntemleri tercih edilmelidir.

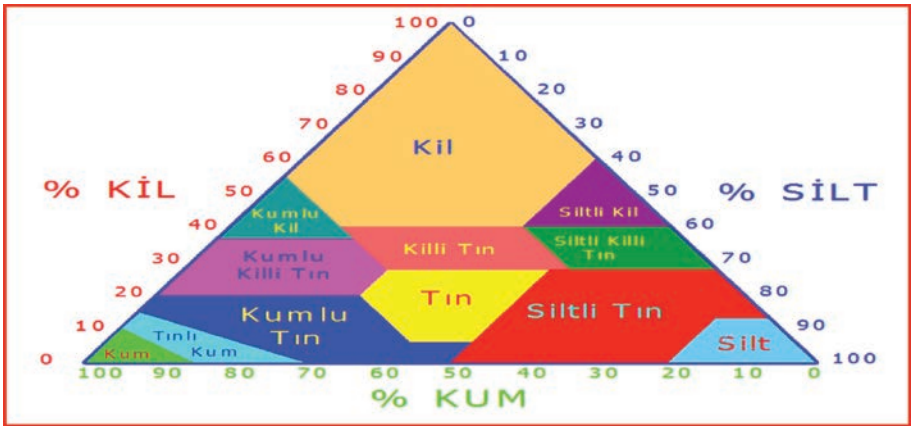
Tuzluluk ve drenaj koşulları; Tuzlu toprakların sulanmasında, sulama suyuna ek olarak yıkama suyu da uygulanır. Yıkama suyu tuzları bünyesinde eriterek alt toprak katmanlarına taşır ve bitki kök bölgesinde tuz oranı düşer. Bu durumda drenaj sistemi mevcutsa, en iyi yöntem tava (göllendirme) sulama yöntemidir. Tuzlu toprakların sulanmasında damla sulama yöntemiyle de iyi sonuç alınır. Damlatıcıdan çıkan su, damlatıcının oluşturduğu ıslak hacmin çeperine doğru hareket ederken tuzları da eriterek taşır. Tuzlar ıslak alan çeperinde toplandığından, bitki tuz konsantrasyonu nispeten düşük bölgede normal gelişmesini sürdürür. Ancak ıslak çeperde biriken bu tuzların zaman zaman yıkanması gerekir.

Tuzlu toprakların sulanmasında karık ve sızdırma sulama yöntemlerinden kaçınmalıdır. Çünkü bu yöntemlerle uygulanan suyun bir kısmı toprak katmanından yukarı doğru hareket eder ve kök bölgesinde tuz birikmesine neden olur.

Taşlılık; Fazla taşlı topraklarda tesviye güç ve taş temizleme pahalı veya olanaksızdır. Ayrıca taşlı topraklarda karıkları veya tavalardaki toprak seddeleri oluşturmak zor olduğundan yüzey sulama yöntemleri yerine basınçlı sulama yöntemleri tercih edilebilir.

4.1.3. Topoğrafik Özellikler

Eğim derecesi; Eğimi düşük düzgün arazilerde hemen her türlü sulama yöntemi uygulanabilir. Eğim yüksek olmasına karşın yeknesak ise yüzey sulama yöntemlerinden tesviye eğrilerine paralel karık sulama yöntemi seçilebilir. Bunun dışında fazla eğimli dik arazilerde basınçlı sulama yöntemlerini tercih etmek gerekir.



Erozyona uygunluk; Erozif toprakların sulanmasında yüzey sulama yöntemleri uygulanırken çok dikkatli olmak gerekir. Eğim çok düşük olmalı veya su tesviye eğrilerine paralel olacak şekilde verilmelidir. Erozyon kontrolü açısından en uygunu basınçlı sulama yöntemlerinin seçilmesidir. Ancak yağmurlama sulama uygulanırken, su damlaları parçalanacak şekilde sistem yüksek basınçta çalıştırılmalıdır.

4.1.4. İklim Özellikleri

Rüzgâr; Rüzgâr hızının yüksek ve süresinin fazla olduğu bölgelerde, yağmurlama sulama yönteminin kullanılması sakıncalıdır. Yağmurlama sulamada rüzgâr, su dağılımını olumsuz etkilemekte, buharlaşma kayıplarını artırmakta ve sulama randımanını düşürmektedir.

Sıcaklık; Hava sıcaklığının yüksek olması sulama sistemindeki buharlaşma kayıplarını doğrudan etkiler. Bu kayıplar yağmurlama yönteminde oldukça fazladır. Bu oran uygulanan suyun % 15'ine kadar çıkabilir. Aynı şartlarda yüzey sulama uygulanırsa, uygulanan su miktarı 10 cm olduğunda buharlaşma kaybı % 2 civarında kalmaktadır.

Bağıl nem; Bağıl nemin düşük olduğu yerlerde yine buharlaşma kayıpları fazla olacağı için yağmurlama sulama yöntemi uygun olmayabilir. Ayrıca yüksek sıcaklık ve düşük nispi nem buharlaşmayı etkilediği kadar bitkinin terleme miktarını dolayısıyla su tüketimini artırır. Su tüketiminin artması ise her sulamada daha fazla su uygulamasını gerektirir. Bu koşullarda en uygun sulama yöntemi yüzey sulama yöntemidir.

Yağış; Bitki büyüme mevsiminde bitki su ihtiyacının önemli bölümünün yağışlarla karşılandığı yörelerde, sadece kurak periyotlarda sulama yapılır. Bunun için en uygun yöntem, arazi tesviyesi ve tarla başı kanalı gerektirmeyen yağmurlama sulama yöntemidir.

Don tehlikesi; Özellikle ilkbahar geç donlarının tehlikeli olduğu yörelerde ekonomik değeri yüksek bitkilerin dondan korunması için bazı önlemler alınır. Bu önlemlerden biri de yağmurlama sulama yöntemidir. Bu tip yörelerde, yağmurlama sulama yöntemi tercih edilerek hem dondan korunma, hem de sulama aynı sistemle yapılabilir.

4.1.5. Bitki Özellikleri

Bitki cinsi; Mısır, ayçiçeği vb. boyu yüksek olan bitkilerde yağmurlama ve tava sulama yöntemlerinin uygulanması zordur. Çünkü yağmurlama başlıklarını bitki boyu üzerine yerleştirmek için uzun yükseltici borular gerekir. Aynı şekilde sık ve yüksek bitkilerin arasında çalışılması zordur. Bu koşullarda karık sulama yöntemi tercih edilebilir. Örtü altı yetiştiriciliğinde ya da karlılık oranı yüksek bitkilerde, topraktaki nemin fazla eksilmesine müsaade etmeden sulama yapmak gerekir. Bunun için en uygun yöntem damla sulama yöntemidir. Derin köklü bitkilerde, her defasında geniş aralıkla fazla miktarda su uygulandığından yüzey sulama yöntemleri ile etkin bir sulama yapılabilir. Yüzlek köklü bitkilerde ise sık aralıkla az miktarda su uygulandığından basınçlı sulama yöntemleri tercih edilmelidir.

Bitki hastalıkları; Yağmurlama sulama yöntemi uygulandığında, yaprakların ıslanması nedeniyle, bitki hastalıkları için uygun bir ortam yaratıldığından sulama beraberinde etkin bir tarımsal savaşı gerektirebilir. Bunun yanında, ilaçlama yapıldıktan sonra belirli bir süre ve tozlaşma zamanında yağmurlama ile sulama yapılmamalıdır.Havalandırmanın yeterince yapılamadığı örtü altı yetiştiriciliğinde ise toprak yüzeyinin tamamının ıslatılmadığı damla sulama veya karık sulama tercih edilmelidir. Aksi takdirde sulama ile nem oranı artacağından hastalıkların ortaya çıkması ve yaygınlaşması kolaylaşacaktır. Ayrıca biber gibi kök boğaz hastalıklarına karşı hassas olan bitkilerin sulanmasında, bitki kök boğazlarının suyla temas etmediği karık sulama yöntemi tercih edilmelidir.

Özel istekler; Bazı bitkilerin sulanmasında, diğer etmenlere bakılmadan sulama yöntemine doğrudan karar verilir. Bunun en güzel örneği çeltiğin tava (göllendirme) metodu ile sulanmasıdır. Yine şekerpancarı sulamasında, yağmurlama veya yüzey sulama metotları kullanılırsa verim artmaktadır.

4.1.6. Ekonomik koşullar

Sulamanın maliyeti; Basınçlı sulama yöntemlerinde ilk tesis masrafları, ağır tesviye veya teraslama gerektirmeyen yüzey sulama yöntemlerine oranla daha fazladır. İşletme masrafları ise enerji masraflarına bağlı olarak zamandan zamana ve bölgeden bölgeye değişiklik gösterir.

Ürünün değeri; Elde edilecek ürünün piyasa değeri yüksek ise, ilk yatırım masrafları yüksek olmasına karşın daha fazla verim elde edildiğinden basınçlı sulama yöntemleri daha ekonomik olabilir. Örneğin ülkemizde örtü altı yetiştiriciliğinin ve çilek bahçelerinin tamamına yakın kısmında damla sulama kullanılmaktadır.

4.1.7. Sosyal ve kültürel durum

Çiftçilerin alışkanlıkları, gelenekleri, kültür düzeyi ve tarım yönünden eğitim düzeyleri sulama yönteminin seçiminde önemlidir. Ülkemiz çiftçileri kendilerine kolay gelen ve fazla bir teknik bilgi gerektirmeyen yüzey sulama yöntemlerini, randıman düşük olmasına rağmen tercih etmektedirler. Ancak suyun kıt ve pahalı olduğu durumlarda basınçlı sulama yöntemlerinin kullanımının yaygınlaşması daha kolaydır. Son yıllarda ülkemizde de basınçlı sulama yöntemlerinin kullanılması hızla artmaktadır.

4.2. SALMA SULAMA YÖNTEMİ

Salma sulama yönteminde, tarla başı kanallarından saptırılan tarla yüzeyinde rastgele yayılmaya bırakılır. İstenen miktarda su kök bölgesine infiltre oluncaya kadar arazi yüzeyinde su bulundurulur. Salma sulama yönteminin başarılı olması için arazi yüzeyinin çok düzgün ve sulama doğrultusuna dik yönde eğimsiz olması

gerekir. Teorik olarak, suyun toprak yüzeyini bir tabaka biçiminde kaplayarak akacağı öngörülür. Ancak uygulamada bu koşul genellikle gerçekleşmez. Su kendine yol açarak ilerler ve çoğunlukla eş olmayan bir su dağılımı meydana gelir.Salma sulama yönteminin bir değişik uygulaması, tarla başı kanallarından suyun şişirilerek taşırılması ve taşan suyun tarlaya yayılmasıdır. Bu amaçla kanalın tarla tarafındaki kenarı daha düşük yapılarak suyun tarlaya alınması sağlanır. Bu sulama biçimi, sulama doğrultusunda arazinin eğimli olması koşulunda kullanılır. Genellikle tepe eteklerinde eğimi % 15 'e kadar olan arazilerde uygulanır. Tarla başı kanalları tesviye eğrilerine paralel olacak şekilde çok düşük eğimde açılır.

Salma sulama yönteminin belli başlı tek avantajı, ilk yatırım masraflarının çok düşük olmasıdır. Genel olarak arazi tesviyesini gerektirmez. Eğimli arazilerde, tesviye eğrilerine paralel ve uygun biçimde yapılan tarla başı kanalları, bir üstteki kanala ait yüzey sularını tutar ve bu su tekrar sulamada kullanıldığından sulama randımanı nispeten artar.

Salma sulama yöntemi eğimli arazilerde kullanılabilmesine karşın, eğer yağışların oluşturduğu yüzey akışı söz konusu ise, erozyon kontrolü açısından % 4 eğimi aşan arazilerde uygulanmamalıdır.

Salma sulama yöntemi genellikle sık ekilen bitkilerin sulanmasında kullanılır. Arazi üzerinde devamlı akış ya da kesikli akış uygulanabilmektedir. Kesikli sulamada amaç, çift silindir infiltrometre ile elde edilen;

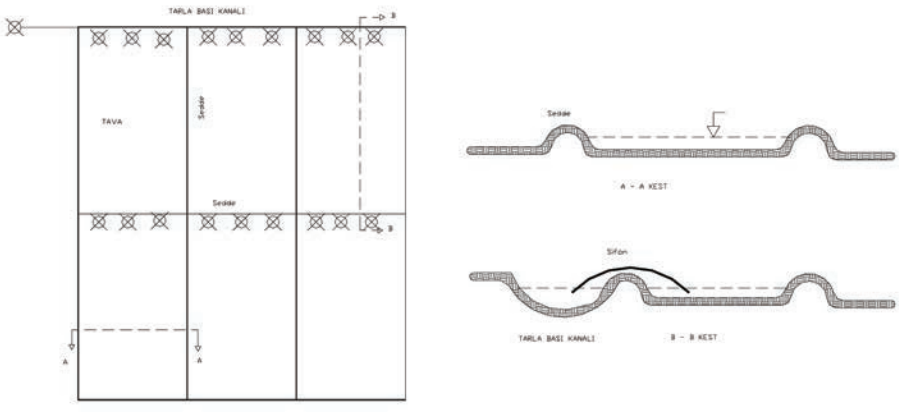
$$D = K.Tn$$

Eklemeli su alma eşitliğinde, uygulanacak su miktarı (D) yerine konarak hesaplanacak T süresi kadar tarla yüzeyinde su bulundurmaktır. Tarla başı kanalları genellikle topraktır. Eğer arazi erozyona uygunsa ve sızma kayıpları fazla ise beton yapılabilir. Kanal eğimi % 0.1'i aşmamalıdır. Kanallar arasındaki mesafe eğime ve eğim yeknesaklığına bağlı olarak 25 – 100 m arasında değişir.Tarla yüzeyinde eş bir su dağılımının sağlanamaması, tuzluluk ve sodyumluluk sorununun ortaya çıkabilmesi nedeniyle salma sulama yönteminin uygulanması fazla önerilmez. Ancak suyun bol, işçilik masraflarının düşük olduğu yerlerde Pazar değeri yüksek olmayan bitkilerin sulanmasında kullanılabilmektedir.

4.3. GÖLLENDİRME SULAMA YÖNTEMLERİ

Göllendirme sulama yönteminde su tava ya da karıklar içerisinde kısa zamanda göllendirilmekte ve sulama tamamlandığında su toprak yüzeyinde uzun süre kalabilmektedir. Bu süre içerisinde infiltrasyonla toprağa sızan su kök bölgesinde depolanmaktadır. Sulama suyunun tavalarda göllendirilmesine **tava sulama yöntemi** adı verilmektedir.

4.3.1. Tava Sulama Yöntemi: Tava sulama tüm yüzey sulama yöntemleri içerisinde en basit ve en yaygın olarak kullanılandır (Şekil 4.2). Bu yöntem daha ziyade tesviye masrafları az düz ve düze yakın arazilerde özellikle su alma hızı düşük topraklarda meyve ağaçları, çeltik, hububat, mera ve yem bitkilerinin sulanmasında ve tuzlu – alkali toprakların ıslahında kullanılır. Tavalar etraflarına geçici veya yarı kalıcı seddeler yapılmak sureti ile oluşturulurlar. Geçici seddeler bir sulama için veya bir sezonluk olarak kullanılırlar. Yarı kalıcı seddeler ise aynı yerde yıllarca arka arkaya yetiştirilen çok yıllık bitkiler ve çeltik için kullanılır.



Şekil 4.2 : Tava Sulama Yöntemi

a. **Tava sulama yönteminin üstünlükleri:** Yüzey akışı söz konusu olmadığından yüzey drenaj kanallarına ihtiyaç yoktur. Bu nedenle sistem maliyeti düşük olur. Kontrollü sulama ile derine sızan su miktarı azaltılabilir. Yüzey akışı da olmadığından yüksek su uygulama randımanı elde edilir. Kalifiye işçiye gerek yoktur.Yağışlardan en üst düzeyde yararlanılabilir. Tuzlu topraklar etkin bir biçimde yıkanabilir.
b. **Tava sulama yöntemin uygulanmasını kısıtlayan faktörler:** Tavalar eğimsiz olacağından özel arazi tesviyesi gerektirir. Derine sızmayı önlemek için kontrollü sulama yapılmalıdır. Aksi durumda toprak altı drenaj sistemi yapmak gerekir. Bu da sistem maliyetini artırır. Tava debisi yüksek olduğundan tava başlangıcında erozyonu önlemek için özel yapılar gerekebilir.
c. **Tava Boyutları:** Tavalar; tavaların boyutlandırılmasına etki eden faktörlere bağlı olarak farklı birçok boyutta oluşturulabilir ve 1 – 2 m 2 'den başlayarak 3 – 4 ha'a kadar çıkabilir (Çizelge 4.3).
Tavaların boyutlandırılmasına;Toprak özellikleri, Akış debisi, Sulama derinliği, Arazi eğimi, Tarla boyutları ve Tarımsal Uygulamalar etkili olmaktadır.
d. **Toprak özellikleri:** Tava sulama yöntemi, kullanılabilir su tutma kapasitesi nispeten yüksek orta ve ağır bünyeli derin topraklarda uygulanır. Su alma hızı yüksek hafif bünyeli topraklar ile su alma hızı çok düşük kaymak tabakası bağlama özelliğindeki kil oranı yüksek ağır bünyeli topraklarda genellikle uygulanmaz.

Bu nedenle kumlu topraklar sulanırken su çok hızlı infiltre olduğundan, killi topraklara nazaran tavaların boyutları daha küçük oluşturulmalıdır. Killi toprakların su alma hızları düşük olduğundan sulama suyunun daha hızlı yayılması ve daha geniş bir alanın sulanması mümkün olacaktır. Bu nedenle killi topraklar sulanırken tavaların boyu daha büyük olarak oluşturulmalıdır.

e. **Akış debisi;** Tavalar aynı özelliklere sahip topraklarda daha büyük akış debisinin kullanımının mümkün olması durumunda daha büyük olabilir. Çünkü bu şartlarda su toprak yüzeyi boyunca daha hızlı yayılacak ve daha büyük bir alan sulanabilecektir.

f. **Sulama derinliği:** Büyük sulama derinliğinin uygulanması da aynı şekilde daha büyük tavaların oluşturulmasına imkân sağlayacaktır. Çünkü büyük sulama derinliği uzun bir temas süresine ihtiyaç duyar ve böylece suyun toprak yüzeyi boyunca yayılması için daha çok kullanılabilir zamana sahip olunur.

g. **Arazi eğimi;** Tavaların sulamaya dik yönde tamamen eğimsiz olması gerekir. Sulama doğrultusunda ise ya eğimsiz ya da tava uçları arasındaki yükseklik farkının uygulanacak net sulama suyu miktarının yarısını geçmeyecek kadar düşük eğimde olması gerekir. Bu nedenle oluşturulan her tava hafif tesviye makineleri ile özel olarak tesviye edilir.Arazi eğiminin düz olduğu yerlerde tavalar akış debisi ve toprak özelliklerinin elverdiği ölçüde mümkün olabildiğince büyük olabilir. Fakat eğimli ve engebeli arazilerde arazi yüzeyi yeniden şekillendirilmelidir. Bu şekilde dik ve düzensiz arazilerde arazi kademe veya teras yapılmak suretiyle her tava kendi içerisinde düz bir eğime sahip hale getirilir (Çizelge 4.4).

Akış Debisi (L/s)	Toprak tipi			
	Kum	Kumlu - Tın	Killi - Tın	Kil
15	0.01	0.03	0.06	0.1
30	0.02	0.06	0.12	0.2
60	0.04	0.12	0.24	0.4
90	0.06	0.18	0.36	0.6
120	0.08	0.24	0.48	0.8
150	0.10	0.30	0.60	1.0
180	0.12	0.36	0.72	1.2
210	0.14	0.42	0.84	1.4
240	0.16	0.48	0.96	1.6

Çizelge 4.3 Tavsiye edilen tava boyutları (ha)

Arazi Eğimi (%)	Teras Genişliği (m)
0.1	150 – 60
0.2	75 – 30
0.5	30 – 12
1.0	15 – 6
1.5	10 – 4
2.0	75 – 3
3.0	5 – 2
4.0	3.5 – 1.5

Çizelge 4.4 Tavalar için tavsiye edilen teras genişlikleri

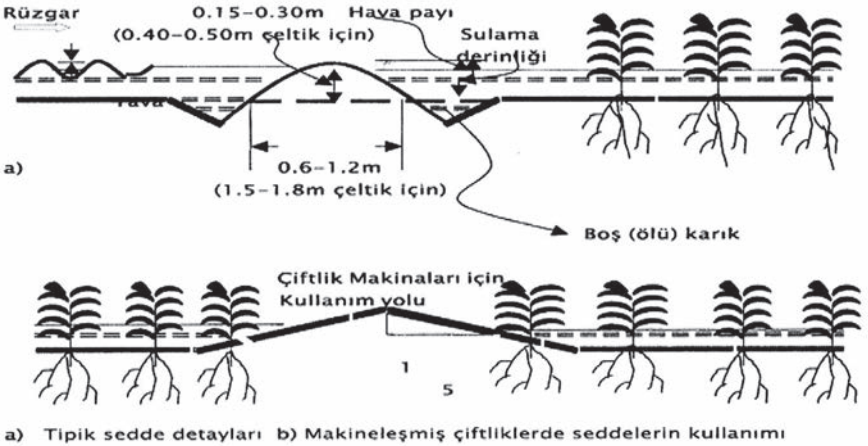
h. Tarımsal uygulamalar; Gelişmekte olan ülkelerin çoğunda çiftlik veya tarlalar oldukça küçüktür. 1 – 2 ha veya daha küçük olabilen bu arazilerde geniş bitki çeşidi aynı anda yetiştirilir ve toprak işleme, ekim ve hasat işleri insan veya hayvan gücü ile yapılır. Bu tip araziler için daha ziyade küçük tavalar kullanılır. Çünkü bu tavaların oluşturulması ve tesviyesi oldukça kolaydır ve sulama için küçük akış debisi yeterlidir.
Büyük makineleşmiş çiftliklerde, kanallar ve toprak seddeler makinelerin kullanımına mani olur. Böyle çiftliklerde tavalar makinelerin tava içerisinde rahat hareket edebileceği ve dönebileceği yeterli büyüklükte olması gerekir. Aynı zamanda tava eninin kullanılacak tarım aletlerinin iş genişliğinin katları şeklinde olması gerekir.

i. Bitki özellikleri; Yöntem genellikle, sık ekilen hububat, yem bitkileri ve çayır mera bitkileri ile meyve bahçelerinin sulanmasında kullanılmaktadır. Bitkilerin kök boğazının ıslatılmasından kaynaklanan hastalıklara duyarlı olmaması gerekir. Tarla bitkilerinin sulanmasında tava boyutları oldukça büyüktür.
Meyve bahçelerinin sulanmasında ise bir ya da birkaç ağaca hizmet edecek biçimde küçük boyutlu tavalar kullanılır. (Şekil 4.2). Bu tavalara su ağaç sıraları arasına açılan geniş derin karıklardan verilir.

j. Toprak seddeler; Bunlar küçük toprak set veya bentler olup, her tavanın etrafında infiltrasyona rağmen sızma olmaksızın suyu tutmak için yapılan yapılardır. Bunların şekli ve boyutları ;

- Sulama derinliği
- Hava payı
- Dalgalanma hareketi
- Makine kullanımına göre değişir.

Seddeler genellikle 150-300 mm yükseklikte toprak yüzeyinde suyu taşımak için (sulama derinliği 50-200 mm) küçük bir hava payı ile sedde üzerinden suyun taşmasını durdurmak için yapılırlar. Büyük tavalarda rüzgârlı şartlarda dalga hareketi büyük bir problem olabilir. Böyle durumlarda hava payının daha büyük olması gerekmektedir. Seddelerin taban genişliği 0.6 – 1.2 m'dir. (Şekil 4.3). Seddeler çeltik tarlalarında diğer ürünlere nazaran daha büyük olmaktadır. Bunlar 400 – 500 mm yüksekliğe ve 1.5 – 1.8 m taban genişliğine sahiptirler. Makineli tarımın yapıldığı çiftliklerde seddeler dikkatlice oluşturulurlar ki çiftlik makineleri seddelerin üzerinde kolaylıkla kullanılabilsin.



a) Tipik sedde detayları b) Makineleşmiş çiftliklerde seddelerin kullanımı

Şekil 4.3 : Sedde Çeşitleri

k. Sulama suyunun uygulanması; Tavalar sulanırken su tarla başı kanalından sifonlar veya borular kullanılarak her bir tavaya çevrilirler. Bazı çiftliklerde suyun tamamı bir tavaya verilirken bazılarında ise su aynı anda birkaç tavayı sulamak için bölünür. Hangi metot kullanılırsa kullanılsın akış debisi suyun tarla boyunca hızla ilerlemesini sağlayacak yeterli büyüklükte olmalıdır. Bu uygun bir üniform sulama sağlayacaktır. Böylece tavalar istenen tava derinliği ile doldurulur ve su toprak içerisinde infiltre oluncaya kadar göllendirilir. Bu yolla bir miktar su her zaman derine sızma kayıpları ile kaybolacaktır. Fakat doğru akış debisi kullanılması durumunda bu miktar oldukça az olacaktır.

l. Tava sulama yönteminin projelenmesi; Büyük boyutlu tavaların projelenmesinde amaç; mevcut toprak, bitki ve su kaynağı koşullarına göre tava boyutlarının saptanması, sulama aralığı, her sulamada uygulanacak su miktarının belirlenmesi ve sulama süresinin hesaplanmasıdır. Projeleme öncesinde tarla boyutları, biçimi ve topoğrafik durumu, toprak bünyesi, kullanılabilir su tutma kapasitesi, tarımı yapılacak bitkiler ve su tüketimleri, etkili kök derinliği, su kaynağının debisi ve sulama suyu kalitesi vb. bilgiler toplanmalıdır. Ayrıca infiltrasyon testleri yaparak toprağın su alma hızı ve eklemeli su alma eşitliği tespit edilmelidir.

- **Net infiltrasyon süresi;** Net infiltrasyon süresi, her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarının toprağa girme süresi olarak tanımlanır.

$$D = K.T^n$$

eklemeli su alma eşitliğinin düzenlenmesi ile elde edilen ;

$$Tn = \left(\frac{dn}{K}\right)^{1/n}$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

Eşitlikte ;
Tn : Net infiltrasyon süresi, dakika
dn : Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı , cm
K, n : Eklemeli su alma eşitliği sabiteleridir.

- **Su ilerleme süresi ve su uygulama randımanı;** Tarla başı kanalından tavaya verilen suyun tava sonuna ulaşma süresine su ilerleme süresi denir. Su uygulama randımanı ile su ilerleme süresi arasında bir ilişki vardır. Su ilerleme süresi, net infiltrasyon süresinin yüzdesi cinsinden ifade edilir.

$$Ti = R\ Tn$$

Eşitlikte;
Ti : Su ilerleme süresi, dakika
R : Su ilerleme oranı
Tn : Net infiltrasyon süresi, dakika

Su ilerleme oranı, su ilerleme süresinin net infiltrasyon süresine oranıdır. Su ilerleme oranının, su uygulama randımanlarına göre aldığı değerler çizelge 3.4'de verilmiştir.Tava sulama yönteminde su uygulama randımanı genellikle % 80 civarında seçilir. Bu durumda su ilerleme oranı % 60 kadar olur. Başka bir deyişle, uygulamada tavaya verilen suyun, net infiltrasyon süresinin % 60 'ı kadar bir sürede tava sonuna ulaşması istenir.

Sulama uygulamalarında su ilerleme oranı bilinirse çizelge 4.5' den yararlanarak su uygulama randımanının ne olduğu yaklaşık olarak bulunabilir. Su uygulama randımanı özellikle % 70 'in altında ise derine sızan su miktarı fazla olacağından mutlaka etkin bir toprak altı drenaj sistemi kurulmalıdır.

Su uygulama Randımanı E_a (%)	Su ilerleme oranı $R = T_i / T_n$
95	0.16
90	0.28
85	0.40
80	0.58
75	0.80
70	1.08
65	1.45
60	1.90
55	2.45

Çizelge 4.5 Tava sulamada su uygulama randımanı – su ilerleme oranı ilişkisi

- Tava uzunluğu ve tava debisi; Tavaya verilecek su ile tava uzunluğu arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.

$$L = \frac{6 \times 10^4 \, qu \, Ti}{\frac{aTi^b}{1+b} + c + (1798 n^{\frac{3}{8}} qu^{\frac{9}{16}} Ti^{\frac{3}{16}})}$$

Eşitlikte ;
L : Tava uzunluğu, m
qu : Birim tava debisi, m3/s/m,
Ti : Su ilerleme süresi, dakika
K,n : Eklemeli su alma eşitliği sabitelerini göstermektedir.

Burada tarla boyutları ve mevcut sulama suyu miktarına göre eşitlikten yararlanarak en uygun L, qu kombinasyonu seçilmeye çalışılır. qu bilinirse L doğrudan hesaplanmasına karşın, L bilinirse qu doğrudan hesaplanamaz. Deneme – yanılma yöntemine başvurulur.

- **Sulama süresi;** Sulama süresi, suyun tavaya verilme süresidir ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir;

$$Ta = \frac{dtl}{600qu} \quad veya \quad \frac{dtL}{600quEa}$$

Eşitlikte ;
Ta : Sulama süresi, dakika
dt : Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm
L : Tava uzunluğu, m
qu : Birim tava debisi, m3/s/m ' dir.

- **Tarla başı kanalı ve suyun tavalara alınması;** Tarla başı kanalı genellikle tarla hendeği biçimindedir. Sızma kayıplarının fazla olduğu koşullarda beton kanal yapılabilir. Bazen gömülü beton boru ya da yüzeyde serili alüminyum boru hattı kullanılmaktadır.Tarla başı kanalı sistem debisini her tavaya iletecek ya da aynı anda birden fazla tavaya su verilecekse, suyu eşit dağıtacak özellikte yapılmalıdır. Kanal içindeki su yüzeyi, tarla yüzeyinden su alma biçimine göre 0.15 – 0.30 m daha yüksek olmalıdır. Tarla başı kanalının eğimi olanaklar ölçüsünde % 0.1 'den fazla olmamalıdır.Tarla başı kanalındaki suyun tamamı bir tavaya verilecekse dikdörtgen kapaklı prizler veya sifonlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Eğer aynı anda birden fazla tavaya su verilecekse, su yükü farklılığından dolayı debi değişimini en aza indirmek için kapaklı orifis tipi prizler tercih edilmektedir. Tarla başında boru hattı varsa, boru üzerine T parçası yerleştirilir ve T parçası çıkışına vana ya da kapak monte edilir. Suyun tavalara alındığı yerde erozyon açısından su hızının 1 m/s 'den az olması gerekir. Bu amaçla özel tesis yapılabilir.

4.3.2. Uzun Tava Sulama Yöntemi; Uzun tava sulama yönteminde, sulanacak tarla parseli toprak seddelerle çevrilerek dar uzun alt parsellere ayrılır. Bu alt parsellere uzun tava adı verilir. Tarla başı kanalı ya da lateral boru hattından tavaya alınan su bir yandan tava boyunca ilerlerken bir yandan da infiltrasyonla toprak içerisine girer ve bitki kök bölgesinde depolanır. Sulama tamamlandıktan sonra, suyun tava boyunca geri çekilmesi sırasında da bir miktar suyun infiltrasyonla toprak içerisine girmesi söz konusudur.

Yöntemin uygulanabileceği şartlar, bitki ve toprak özellikleri açısından tava sulama yönteminde olduğu gibidir. Topoğrafik özellikler açısından tava sulama yönteminde olduğu gibidir. Topoğrafik özellikler açısından ise, sulama doğrultusunda dik yönde tavalar yine eğimsiz olmalıdır. Ancak, sulama doğrultusunda eğim söz konusudur. Bu nedenle, zorunlu olarak tava eni daraltılır. Tava sonu açık bırakılır ve tavadan çıkan suyun araziden uzaklaştırılması için yüzey drenaj kanalları oluşturulur. Başka bir deyişle, tava sulama yönteminde su tava içerisinde göllendirilmesine karşın uzun tava sulama yönteminde suyun göllendirilmesi söz konusu değildir. Tava sonu açık olduğundan uygulanan suyun belirli bir kısmı tava sonundan yüzey drenaj kanalları vasıtası ile uzaklaştırılır (yüzey akışı).

Eğer uygulamada, çeltik dışında kök boğazının ıslanmasından kaynaklanan hastalıklara duyarlı olmayan ve sık ekilen bitkiler ile meyve ağaçlarının sulanması söz konusu ise, bunun yanında, kaymak tabakası bağlama özelliğinde olmayan orta ve orta ağır topraklar var ise, topoğrafik şartlar sulama doğrultusunda ve dik yönde eğimsiz olacak biçimde arazi tesviyesine izin verdiğinde tava sulama yöntemi uzun tava sulama yöntemine tercih edilir. Çünkü yüzey akışı olmadığı için kontrollü bir sulama ile tava sulama yönteminde daha yüksek su uygulama randımanı elde edilir. Ancak, topoğrafik şartlar nedeni ile sulama doğrultusunda eğim vermek zorunluluğu varsa uzun tava sulama yöntemi uygulanır.

a. **Uzun Tava Sulama Yönteminin Üstünlükleri;**
   - İlk tesis masrafları düşüktür.
   - Her tavanın ayrı tesviyesi ile tesviye masrafları minimum düzeyde tutulabilir
   - Yüzey drenajının kritik olduğu koşullarda iyi bir yüzey drenajı yapılabilir.

b. **Uzun Tava Sulama Yönteminin Uygulanmasının Kısıtlayan Faktörler;** Sulamaya dik yönde tava boyunca eğimsiz olacağından özel arazi tesviyesi gerektirir. Yüzey akış kayıplarını azaltarak su uygulama randımanını artırmak için iyi bir planlama ve kontrollü sulama şarttır. Yine de su uygulama randımanı genellikle tava sulama yönteminden daha düşüktür. Yüzey akışı söz konusu olduğundan yüzey drenaj kanallarının inşasını gerektirir. Tava başlangıcında erozyonu önlemek amacıyla özel yapılar gerekebilir.

c. **Boyutları ve Biçimleri;** Uzun tavalar genellikle dikdörtgen şekilli olup 100 – 800 m uzunlukta ve 3-30 m genişlikte olabilir. Tava sulama yönteminin boyutlandırılmasında ve biçimlendirilmesine etkili olan bütün faktörler uzun tava sulama yönteminde de aynı etkiye sahiptir. Tava sulama yönteminde olduğu gibi farklı toprak tipleri ve birim akış debilerinde en uygun uzun tava ebatlarını seçmeye yardım edecek basit hesaplamalar yoktur. Bölgesel deneyimler sonucu elde edilen, pratik açıdan rehber olabilecek uzun tava ebatları Çizelge 4.6'de verilmiştir.

d. **Eğim;** İdeal olarak uzun tavalar tavanın uzunluğu boyunca üniform bir eğime sahip olmalı fakat enine herhangi bir eğime sahip olmamalıdır . Uzun tavalarda minimum eğim genelde % 0.1'dir.
Maksimum eğim ise toprak erozyon riskine bağlıdır. Bu eğim yağış miktarına, toprak tipine ve bitki örtü sıklığına bağlı olarak killi topraklarda % 2 ve kumlu topraklarda ise % 5'dir. (Çizelge 4.7).

Toprak bünyesi	Arazi eğimi	Uygulanacak Sulama derinliği	Uygun tava boyutları (m)		Tavaya verilecek sulama suyu debisi
	(%)	(mm)	Genişlik	Uzunluk	(L/s)
KABA	0.25	50	15	150	225
		100	15	240	200
		150	15	400	170
	1.00	50	12	90	80
		100	12	150	70
		150	12	275	70
	2.00	50	9	60	35
		100	9	90	30
		150	9	180	30
ORTA	0.25	50	15	240	200
		100	15	400	170
		150	15	400	100
	1.00	50	12	150	70
		100	12	300	70
		150	12	300	70
	2.00	50	9	90	30
		100	9	180	30
		150	9	300	30
İNCE	0.25	50	15	400	115
		100	15	400	70
		150	15	400	42
	1.00	50	12	400	70
		100	12	400	35
		150	12	400	21
	2.00	50	9	200	30
		100	9	400	30
		150	9	400	20

Çizelge 4.6 Tavsiye edilen uzun tava ebatları

Toprak Tipi	Nemli Bölgeler		Kurak Bölgeler	
	Çıplak Toprak	İyi Bitki Örtüsü	Çıplak Toprak	İyi Bitki Örtüsü
Killi	0.3	1.0	1.0	2.0
Kumlu	0.5	2.0	2.0	5.0

Çizelge 4.7 Uzun Tavalar İçin Maksimum Tava Eğimi

Sulama Suyunun Uygulanması

Uzun tavaların sulanması esnasında doğru birim akış debisi kullanmak toprak ve arazi eğimi açısından oldukça önemlidir. Aynı zamanda toprak rezervuarını yeterli miktarda sulama suyu ile doldurulabilmek için verilen suyun zamanında kesilmesi de büyük önem taşımaktadır. Çünkü bu zaman iyi ayarlanamaz ise suyun tava sonuna ulaşmaması veya yüzey akış kayıpları ile kaybolması söz konusu olabilir.

Tavalara verilen suyun toprak yapısına bağlı olarak ne zaman kesilmesi gerektiği hususunda uzun yıllar sonucu elde edilmiş bir takım pratik deneyimler mevcuttur. Bu deneyimlere göre;

1- Killi topraklarda tavalara verilen su tava uzunluğunun % 60 'lık kısmına ulaştığında,

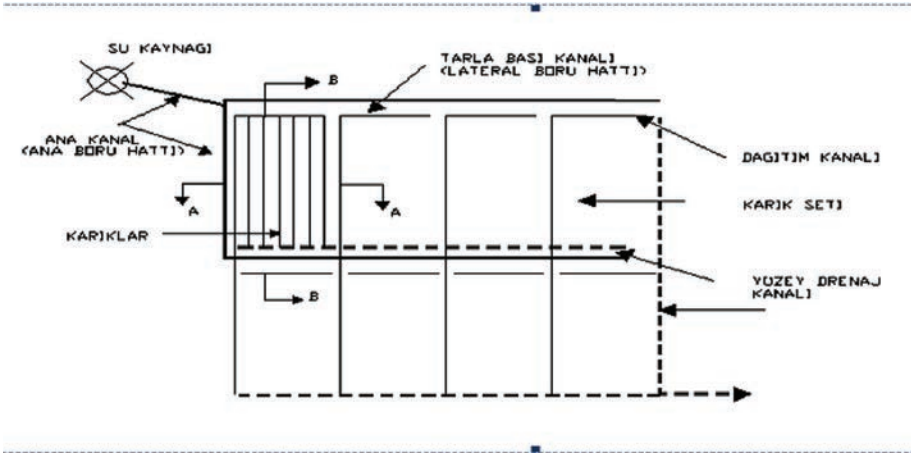
2- Tınlı topraklarda tavalara verilen su tava uzunluğunun % 70-80'lik kısmına ulaştığında,

3- Kumlu topraklarda ise suyun tava sonuna ulaşması beklenir ve suyun tava sonuna ulaşmasından sonra kesilmesi sağlanır.

Yukarıdaki bu kurallar sadece sulamada genel bir ipucu olup, suyun kesilmesi konusunda doğru karar vermeye yardımcı bir unsurdur. Her şeye rağmen bir miktar yüzey akış kayıpları meydana gelebilir. Fakat bu uygulanan toplam suyun % 10 – 15'ini geçmemelidir. Bu bakımdan oluşabilecek bu atık suları uzaklaştırmak ve yeniden kullanmak için tava sonunda yüzey drenaj kanallarının oluşturulması gerekmektedir.

4.4. KARIK SULAMA YÖNTEMİ

Karık sulama yönteminde, bitki sıraları arasına karık adı verilen küçük yüzlek kanalcıklar açılır ve bu karıklara su verilir. Su karık boyunca ilerlerken bir yandan da infiltrasyonla toprak içerisine girer ve bitki kök bölgesinde depolanır. Açık karıklarda, sulama sırasında karıklardan çıkan su (yüzey akışı) yüzey drenaj kanalları ile uzaklaştırılır veya imkânlar ölçüsünde tekrar sulama suyu olarak kullanılır. (şekil 4.5)



Şekil 4.5 Karık sulama sistemi unsurları

Karık sulama yöntemi, sıraya ekilen ya da dikilen bitkilerle meyve bahçeleri ve bağların sulanmasında kullanılır. Yöntem bitki kök boğazının ıslatılmasından zarar gören bitkilerin sulanmasına çok uygundur. Bunun nedeni, bitkilerin karıklar arasındaki sırtlarda yetiştirilmesi ve bitki kök boğazının ıslatılmamasıdır.

a. Karık Sulama Yönteminin Üstünlükleri

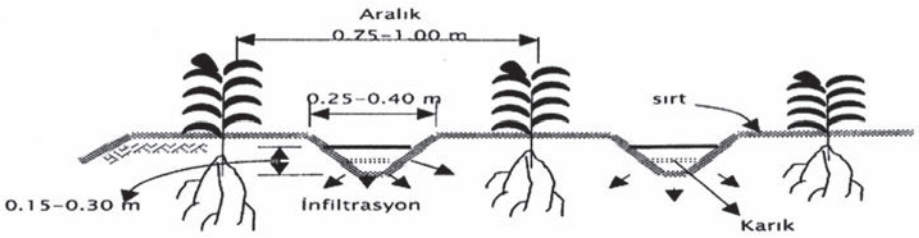
1- İlk tesis masrafları düşüktür.
2- Sistem tasarımı, tertibi ve sulama uygulamaları değiştirilmeksizin farklı özellikteki birçok bitkinin tarımı yapılabilir.
3- İyi bir arazi tesviyesi ve sulama işletmeciliği ile yüksek su uygulama randımanı elde edilebilir.
4- Bitki kök boğazı su ile temasta olmadığından kök boğazının ıslanmasından kaynaklanan hastalıklara duyarlı bitkilerin tarımı yapılır.
5- Sulama suyuna fazla ihtiyaç göstermez ve sulama suyundan faydalanma derecesi yüksektir.
6- Kaymak tabakası bağlayan ve çatlaklar oluşturan ağı bünyeli topraklarda kontrollü olarak yapılabilir.

b. Karık Sulama Yönteminin Uygulanmasını Kısıtlayan Faktörler

1- Açık karıklarda karıktan çıkan suyu (yüzey akışı) uzaklaştırmak için yüzey drenaj kanallarının tesisi gerekir.
2- Karıklardan çıkan suyu azaltmak için önlem alınmadığında ya da tekrar sulamada kullanılmadığında su uygulama randımanı düşük olur.
3- Kabul edilebilir düzeyde eş su dağılımı elde etmek için arazi tesviyesi gerekebilir.
4- Her karığa eşit miktarda su vermek için tarla başı kanalları ya da lateral boru hatlarına ek olarak her karık setinin başına delikli boru hatlarının tesisi gerekir.
5- Karık sırtlarında biriken tuz, toprak tuzluluğuna duyarlı bitkiler için sorun olabilir.
6- Düşen yağışın yüzey akışı oluşturduğu koşullarda, yüzey akışı karıklarda yoğunlaşabilir ve erozyona sebebiyet verebilir.

c. Karıkların Şekli

Karıkların şekli etkili ve yeterli bir karık sulamada önemli bir unsurdur. Karıklar genellikle " V " şeklinde oluşturulurlar. Karık genişliği 250 – 400 mm ve yüksekliği ise karığın taşıdığı su kapasitesi ve eğime bağlı olarak 150 – 300 mm arasında değişmektedir (şekil 4.6) . Karık şeklini belirleyen faktörler ise akış debisi, toprak ve bitki özellikleridir.



Şekil 4.6 Karıkların genel görünüşü

d. Akış Debisi

Karıklar küçük bir kanal gibi olup her bir karık, suyun karıklara zarar vermeksizin taşınabileceği büyüklükte olmalıdır. Karık akış debileri genelde 0.2-3.0 L/s arasında değişmektedir.

e. Toprak Özellikleri

Karık sulama yöntemi, su alma hızı yüksek (kullanılabilir su tutma kapasitesi düşük) hafif bünyeli topraklar dışında her türlü topraklarda kullanılabilir. Kaymak tabakası bağlama özelliğindeki ağır bünyeli topraklar için en uygun yüzey sulama yöntemidir. Bunun nedeni, kaymak tabakasının bitkinin yetiştirildiği sırtlarda değil de suyun aktığı karık içerisinde oluşması ve bitkiye herhangi bir zarar vermemesidir.Killi topraklarda su oldukça yavaş infiltre olduğundan karıkların geniş ve yüzlek olması, kumlu topraklarda ise tam tersi bir durum meydana geldiğinden karıkların dar ve derin yapılması gerekmektedir.

f. Bitki Özellikleri

Yüzlek köklü ve şaşırtılan bitkiler için yüzlek karıklara ihtiyaç duyulur. Bitki gelişimi ve kök derinliğini yükseltmek için karıklar daha derin yapılmalıdır.

g. Karıklar Arası Mesafe

Karık aralığı esas olarak suyun toprak içerisindeki hareketine, yetiştirilen bitki çeşidine ve toprak işlemeye bağlıdır. Toprak profilinin tamamını ıslatmak için yeterli yanal su hareketi olması gerekmektedir. Bu mesafe genel olarak kumlu topraklarda 0.5 m, killi topraklarda ise 1.2 m veya daha fazla olmaktadır. Uygun bir ekim, hasat ve toprak işleme için sıra bitkileri 0.7-1.0 m aralıklarla ekilip dikilirler. Ayrıca tarımsal işlemlerde kullanılan alet ve makinelerin kolaylıkla çalışması da göz önünde tutulmalıdır.

h. Karıkların Uzunluğu

Karıkların uzunluğunu belirleyen faktörler; toprak tipi, akış debisi, sulama derinliği ve eğimdir. Bu belirleyici faktörler göz önüne alınmak suretiyle oluşturulan en ideal karık uzunlukları Çizelge 4.8 'de verilmiştir.

Eğim (%)	Maksimum Akış debisi (L/s)	Killi		Tınlı			Kumlu		
		Ortalama Sulama Derinliği (mm)							
		75	150	50	100	150	50	75	100
0.05	3.0	300	400	120	270	400	60	90	150
0.1	3.0	340	440	180	340	440	90	120	190
0.2	2.5	370	470	220	370	470	120	190	250
0.3	2.0	400	500	280	400	500	150	220	280
0.5	1.2	400	500	280	370	470	120	190	250
1.0	0.6	280	400	250	300	370	90	150	220
1.5	0.5	250	340	220	280	340	80	120	190
2.0	0.3	220	270	180	250	300	60	90	150

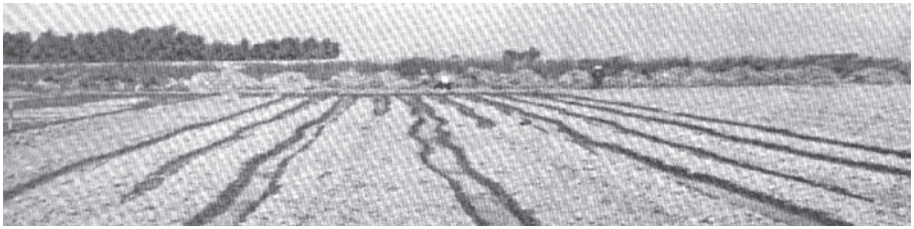
Çizelge 4.8 Tavsiye edilen karık uzunlukları

i. Topoğrafik Durum

İdeal olarak karıklar üniform bir eğime sahip olmalıdır. Karıklarda suyun karık boyunca akışını sağlamak için ve aynı zamanda atık suyun drene olmasını sağlamak için % 0.05 eğime ihtiyaç duyulur.Maksimum eğim toprak erozyon riskine bağlı olarak değişir. Kurak bölgelerde maksimum karık eğimi % 2 olmalı, nemli bölgelerde özellikle yoğun yağış alan yerlerde ise % 0.3 olmalıdır. Sulama doğrultusuna dik yönde eğim olabilir ancak karıklara suyun kolaylıkla alınabilmesi için tarla başı kanalının eğimi % 0.2 'den fazla olmamalıdır.

j. Tarımsal Uygulamalar

Tarımsal uygulamalar açısından, karıklar mümkün olabildiğince uzun olmalıdır. Çünkü bu uygulama, sulama ve drenaj masraflarının azalmasına ve aynı zamanda mekanizasyonun daha iyi uygulanmasına imkân verecektir. Küçük karıklar daha çok dikkat gerektirir, çünkü akış bir karıktan diğerine çok sık değiştirilmek zorundadır. Çiftliklerde traktör kullanımı karık boyunu belirlemede etkili bir unsur olabilir. Karıklar traktör tekerlekleri vasıtası ile sıkıştırılırlar ve bu toprağın su alma hızını düşürür. Bu durum özellikle kumlu topraklarda iyi bir avantaj olup karık boyları ekstra derine sızma kayıpları olmaksızın artırılabilir. Fakat bununla birlikte bütün karıklar aynı sıkışmaya maruz kalmalıdır. Aksi takdirde suyun karıklarda farklı oranlarda ilerlemesi söz konusu olacak ve bu durum üniform olmayan bir sulamaya meydan verecektir (şekil 4.7).



Şekil 4.7 Traktör tekerlekleri ile sıkıştırılmış topraklarda suyun ilerlemesi

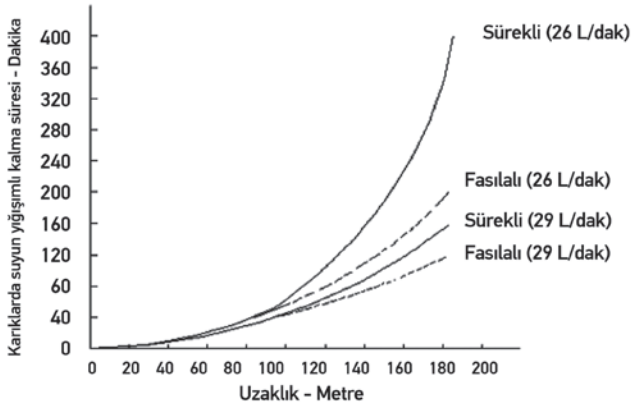
k. Sulama Suyunun Uygulanması

Sulama sırasında aynı anda birden çok fazla karığa su verilir. Aynı anda su verilen karık sayısı bir karık setini oluşturur. Bu nedenle, karık sulama sistemlerinde tarla başı kanalı ya da lateral boru hattından sonra, her karık setine hizmet eden eğimsiz dağıtım kanalları veya delikli boru hatlarının tesisine gerek vardır. Dağıtım kanalları toprak kanal biçimindedir ve dağıtım kanalından karıklara su, sifon veya orifislerle alınır. Düşük basınçlı boru sistemleri söz konusu olduğunda, her karık seti başlangıcına üzerinde her karık aralığına eşit aralıkta açılmış delikler bulunan delikli boru hatları kullanılır. Bu boru hatları genellikle portatiftir ve bir karık setinden diğerine taşınır. Karık sulama metodunda en büyük problem yüzey akış kayıplarıdır. Çok iyi hazırlanmış karıklarda dahi bu oran karığa verilen toplam akış miktarının % 30'unu bulabilmektedir. Bu bakımdan tarla sonunda yüzey drenaj kanallarına ihtiyaç duyulur. Fakat genelde bu husus çoğu arazilerde ihmal edilmekte ve tarla sonunda suyun göllenerek suya duyarlı bitkilerin zarara uğramasına sebep olmaktadır. Karıklara verilen su toprak tipi ve akış debisine bağlı olarak, karık sonuna 20-30 m kalınca tamamen kesilir veya % 50 azaltılır. Böylece karık sonunda yüzey drenaj kanalına gereksiz su akışı veya karık sonunda göllenmeler önlenmiş olur.

l. Fasılalı Sulama

Fasılalı su uygulama ile toprağın infiltrasyon hızı genellikle azaltılmakta ve bu teknikle sürekli akışa kıyasla ilerleme hızlandırılmakta ve yüzey akış kontrol edilmektedir. Fazla erosif topraklar için gerekli erozyona neden olmayan küçük akışlar uzun ilerleme süresi gerektirir. Bu da aşırı derine sızmaya ve düşük randımana neden olur. Şekil 4.8 de gösterildiği gibi, küçük debiler fasılalı uygulamayla etkin bir şekilde ilerletilebilir. Hafif bünyeli topraklarda fasılalı su uygulama daha etkin olduğundan, bu çok önemlidir. Dolayısıyla, makineli tarımda daha etkin olan uzun karıklarda küçük akışlarla fasılalı su uygulanarak sulama yapmak olasıdır. Aynı küçük debilerle sürekli akış uygulandığında, suyun uzun karık sonuna ulaşması mümkün olmayabilir. Fasılalı su uygulamada suyun uygulanma ve kesilme süresinin toplamı döngü süresi olarak tanımlanır. Birinci fasılalı uygulamadan sonra, izleyen fasılalı uygulamalarda infiltrasyon hızı azalır. Ancak belirli bir uygulamadan sonra daha fazla azalamaz. Fasılalı sulama uygulanan karıklarda infiltrasyon üniformitesi sürekli uygulamaya kıyasla artmaktadır.

Fasılalı su uygulama tekniğini etkin olarak kullanmak için sulama sistemleri otomatik hale getirilmelidir. En yaygın sistem, Bir kapaklı borunun ortasında T ile bağlanmış iki yönlü set düzenidir. Bir fasılalı su uygulama seti, vananın her iki tarafında eşit uzunluktaki karıkların birer bloğundan oluşur. Vana akışı dönüşümlü olarak bir taraftan diğer tarafa yönlendirir. Maliyeti en aza indirmek için tarlanın ortasına yerleştirilmiş bir vana yeterli olmaktadır. İzleyen her bir sulama setinde vananın bir tarafındaki farklı karık bloğu sulanır. Boru üzerin-



Şekil 4.8 Siltli – tınlı bir toprakta fasılalı ve sürekli akış için ilerleme eğrileri

deki kapaklar sulanacak karıklara göre elle açılır ve kapatılır. Bu sistemlerde elle kontrol edilen veya elektrik gücüyle çalışan vanalar kullanılmaktadır. Ayrıca güneş enerjisi ile şarj edilen vana kontrol sistemleri de vardır. Bu vanaların çoğu ilerlemeden sonra karık debilerini azaltacak şekilde programlanabilir.

m. Karık Sulama Sisteminin Projelenmesi

Karık sulama sisteminin projelenmesinde amaç, yetiştirilecek bitkinin özellikleri, toprak özellikleri, topoğrafik özellikler, sulanacak tarlanın boyutları ve mevcut su miktarına göre en uygun karık aralığı, karık uzunluğu, karık debisi, sulama süresi ve sulama aralığının saptanmasıdır. Karık sulama sistemlerinin projelenmesi, karıkların sabit ya da değişken debili ve açık ya da kapalı olmalarına göre bazı faklılıklar gösterir. Uygulamada eğimli karıklar açık, eğimsiz karıklar ise kapalı yapılırlar.Sabit debili açık karıklara sulama süresi boyunca sabit debide su verilir. Karık sonundan çıkan suyun tekrar sulamada kullanılma olanağı varsa bu tip karıkların planlanması yoluna gidilir. Aksi takdirde karıklardan çıkan su miktarı oldukça fazla olduğundan su uygulama randımanı düşer. Değişken debili açık karıklara önce belirli debide su verilir. Karık sonuna ulaştıktan sonra karık debisi genellikle % 50 oranında azaltılır. Böylece karık sonundan çıkan su miktarı azaltılarak su uygulama randımanı yükseltilir. Karıklardan çıkan suyun tekrar sulamada kullanılması genellikle söz konusu değildir. Bu su, yüzey drenaj kanallarıyla araziden uzaklaştırılır.

Kapalı karıklar ise, tamamen eğimsiz veya karık uçları arasındaki kot farkı uygulanacak su derinliğinden az olan tarlaların sulanmasında kullanılır. Karık sonları kapalıdır. Eğer eğimli arazilerde uygulanırsa su karık sonlarında toplanır ve bu bölgelerden toprağa giren su miktarı fazla olur. Kapalı karıklara sulama süresi boyunca sabit debide su verilir ve su karık içinde göllendirilerek, istenen su miktarının toprağa girmesi sağlanır. Karık sulama yönteminde, diğer sulama yöntemleri gibi arazi yüzeyinin tamamından su sızması olmadığı için çift silindir infiltrometre vb. yöntemlerle yapılan su alma hızı ölçmeleri kullanılamaz. Karıklara giren ve çıkan suyun ölçülmesi yolu ile eklemeli su alma eşitliğinin bulunması gerekir.
Açık karıklarda erozyona sebep olmayacak maksimum karık debisi;

$$q = \frac{0.64}{S}$$

q : maksimum karık debisi, (L/s)
S : Karık eğimi
eşitliği ile hesaplanabilir.
Karık sulama yöntemi için toprağın su alma hızı, ölçümler sonucu elde edilen değerlerden yararlanarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$I = \frac{qi}{L}$$

Eşitlikte;
I : Birim karık uzunluğunda toprağın su alma hızı, (L/s/m)
qi : Karığa giren ve çıkan su debilerinin farkı, (L/s)
L : Karığın uzunluğu, (m)
Karık sulama yönteminde eklemeli su alma değerleri karık aralığına göre değişmektedir. Projelemede karık aralığı sulanacak bitki cinsine bağlı olmaktadır.

$$D = \frac{6IT}{w}$$

Eşitlikte;
D : Eklemeli su alma, (cm)
I : Su alma hızı (L/s/m)
T : Deneme karığında suyun bulunduğu ortalama süre, (dakika)
w : Karık aralığı, (m)
değerlerini göstermektedir. Bilindiği gibi, tam logaritmik kâğıtta ölçüm zamanları apsise, eklemeli su alma değerleri ordinata işaretlenirse eklemeli zaman ile eklemeli su alma arasındaki ilişkiyi veren bir doğru elde edilir. Bu doğrunun denklemi;

$$D = KT^{n}$$

olarak ifade edilir.

• **Sulama süresi;** Açık karıklarda, suyun karığa verilme süresi (sulama süresi), karık sonunda net sulama suyu ihtiyacının toprağa girmesi için geçen süre (net infiltrasyon süresi) ve suyun karık sonuna ulaşma süresinin toplamına eşittir. Net infiltrasyon süresi;

$$Tn = \frac{dn}{K^{1/n}}$$

Tn : Net infiltrasyon süresi, (dakika)
dn : Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, cm
K,n: Eklemeli su alma eşitliği sabiteleridir.
Buna göre **açık karıklar için sulama süresi;**

$$Ta = Tn + \frac{Tn}{4}$$

Ta : Açık karıklar için sulama süresi, (dakika)
Tn : Net infiltrasyon süresi, (dakika)
eşitliği ile hesaplanır. Çünkü toprakta yeterli bir su dağılımının sağlanması açısından suyun karık sonuna, net infiltrasyon süresinin ¼ 'ü kadar sürede ulaşması istenir. Kapalı karıklarda, suyun karıklara verilmesi kesildiğinde yüzey akış olmadığından karık içerisinde önemli miktarda su kalır ve bu su, zamanla toprağa sızar. Dolayısıyla karığa suyun verilme süresi, suyun toprağa girme süresinden daha az olur.
Bu nedenle, **kapalı karıklarda sulama süresi;**

$$Ta = \frac{wLdt}{60q}$$

Ta : Kapalı karıklar için sulama süresi, (dakika)
w : Karık aralığı, (m)
L : Karık uzunluğu, (m)
dt : Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, (mm)
q : Karık debisi, (L/s)
eşitliği ile hesaplanır.

• **Karık uzunluğu ve karık debisi;** Daha önce arazi denemeleri ile elde edilmiş su ilerleme eğrileri grafiklerinde (Şekil 4.9), suyun karık sonuna ulaşma süresi olan Tn / 4 değeri ordinatta işaretlenir. Bu değerden apsis eksenine bir paralel çizilir. Paralelin eğrileri kestiği noktalardan inilen dikler, her karık debisi için maksimum karık uzunluğunu verir. Parsel boyutları ile bu maksimum karık uzunlukları karşılaştırılarak, proje karık uzunluğuna ve karık debisine karar verilir.

• Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı

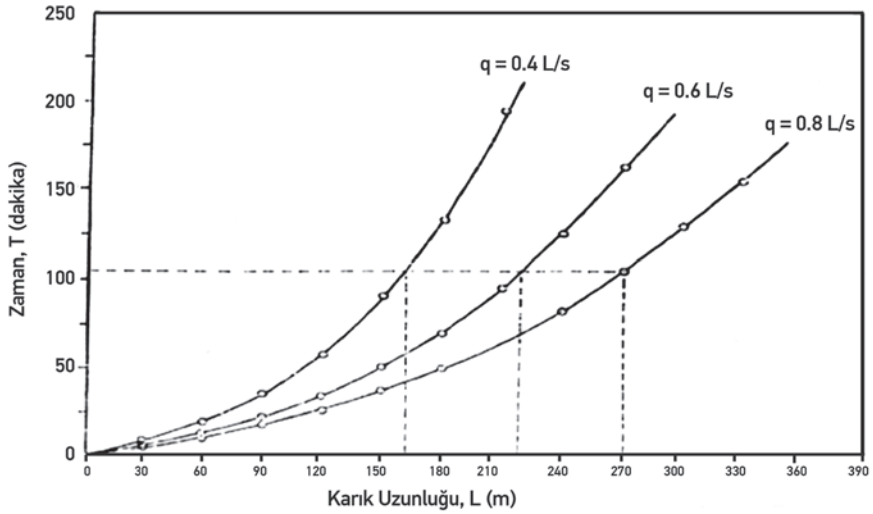
Karık sonunda, bitki kök bölgesinde istenen suyu depolayabilmek için, derine sızma ve yüzey akışlarını da karşılayacak kadar karığa su vermelidir. Karık sulama yönteminde her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı;

Sabit debili açık karıklarda ; $$dt = \frac{60qTa}{wL}$$

Değişken debili karıklarda; $$dt = \frac{60}{wL}\left(q\frac{Tn}{4} + \frac{q}{2} + Tn\right)$$

Kapalı karıklarda; $$dt = 10\ K\ (1.25Tn)^n$$

eşitlikleri ile hesaplanır.
Eşitliklerde;
dt : Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı , (cm)
q : Karık debisi, (L/s)
Ta : Sulama süresi, (dakika)
w : Karık aralığı, (m)
L : Karık uzunluğu, (m)
Tn : Net infiltrasyon zamanı, (dakika)
K,n : Eklemeli su alma eşitliği sabiteleri değerlerini göstermektedir.



Şekil 4.9 Açık karık projesine ilişkin su ilerleme eğrileri

• Su uygulama randımanı;

$$Ea = 100 \frac{dn}{dt}$$

eşitliği ile hesaplanır.
Eşitlikte;
Ea : Su uygulama randımanı, (%)
dn : Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı (mm)
dt : Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, (mm)

• **Yüzey akış ve derine sızan su miktarı;** Yüzey akışı yalnızca açık karıklarda oluşur ve

$$d_{ya} = d_t - d_n - d_s$$

eşitliği ile hesaplanır.

Ortalama derine sızan su miktarı açık karıklarda;

$$d_s = K(0.125Tn)^{n}10$$

kapalı karıklarda ise;

$$d_s = d_t - d_n$$

eşitlikleri ile hesaplanır.
Bu eşitliklerde;
dya : Yüzey akışı, (mm)
dt : Toplam su miktarı, (mm)
dn : Net su miktarı, (mm)
ds : Derine sızan su miktarı, (cm)
Tn : Net infiltrasyon süresi, (dakika)
K,n : Eklemeli su alma eşitliği sabiteleri değerlerini göstermektedir.

4.5. YAĞMURLAMA SULAMA YÖNTEMİ

Yağmurlama sulama yönteminde, sulanacak arazi üzerine, belirli aralıklarla yağmurlama başlıkları yerleştirilir. Sulama suyu, yağmurlama başlıklarından basınç altında püskürtülerek atmosfere verilir. Su, buradan toprak yüzeyine düşer, infiltrasyonla toprak içerisine girer ve bitki kök bölgesinde depolanır. Bu su uygulama biçimi, bir yerde doğal yağışa benzediğinden, yönteme yağmurlama sulama yöntemi adı verilmektedir. Sulama işlemi, istenen miktarda su bitki kök bölgesinde depolanıncaya kadar sürdürülür.

Sulama suyunun başlıklardan basınç altında püskürtülebilmesi için, suyun kaynaktan başlayarak yağmurlama başlıklarına kadar basınçlı boru hatları ile iletilmesi ve dağıtılması, sistem basıncının ise pompa birimi ya da yerçekimi ile sağlanması gerekmektedir.

Yağmurlama Sulama Yönteminin Üstünlükleri

- Yağmurlama sulama yönteminin, özellikle, yüzey sulama yöntemlerine olan üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır. Yüzeyi düzgün olmayan tarım alanlarının tesviyesine gerek yoktur.
- Su alma hızı yüksek hafif bünyeli topraklarda, yüksek su uygulama randımanı sağlanır.
- Geçirimsiz tabaka ya da taban suyunun yakın olduğu yüzlek topraklarda, taban suyu oluşturmadan ya da taban suyunu yükseltmeden kontrollü bir sulama yapılabilir.
- Sulama arazisinin her yerinde daha eş bir su dağılımı sağlandığından, bunun yanında yüzey akışı olmadığından, su uygulama randımanı genellikle daha yüksektir. Ayrıca, su iletimi basınçlı boru hatları ile yapıldığından iletim kayıpları yoktur. Bunların sonucunda, sulama randımanı daha yüksek olur. Bu ise, birim alan sulama suyu gereksinimi ve sistem debisini azaltır. Özellikle, kısıtlı su kaynağı koşullarında mevcut su ile daha geniş alan sulanabilir.
- Tekniğine uygun bir projeleme ve uygulama ile erozyon sorunu ortadan kalkar.
- Boru hatları gömülü olduğundan ya da yüzeyde serili ise açık kanallara oranla daha az yer kapladığından tarım dışı alan daha azdır ve makineli tarımsal işlemler daha kolaylıkla yapılabilir.

- Sulama kolaylıkla yapılır ve işçilik masrafları azalır.
- Özellikle, meyve ağaçlarının taç altından sulandığı ve yapraklarının ıslatılmadığı yağmurlama sistemlerinde, bitki besin elementleri ve toprak hastalık ve zararlıları için kullanılan bazı tarım ilaçları sulama suyu ile birlikte verilebilir.
- Ekonomik değeri yüksek bazı sebzeler ve meyve ağaçları dondan korunabilir.

Yağmurlama Sulama Yönteminin Uygulanmasını Kısıtlayan Etmenler

- Yağmurlama sulama yönteminin uygulanmasını kısıtlayan bazı etmenler de söz konusudur. Bunlar aşağıda açıklanmıştır.
- Yağmurlama sulama sistemlerinin tesis masrafı, yüzey sulama sistemlerine oranla, genellikle daha yüksektir. Bu nedenle, sistemin planlanması ve tasarımı, tekniğine uygun olması koşuluyla, en az maliyeti gerektirecek biçimde yapılmalıdır.
- Gerekli işletme basıncını sağlamak için genellikle bir pompa birimine, dolayısıyla sürekli enerjiye gereksinim vardır. Bu da işletme masraflarını arttırmaktadır.
- Yüksek rüzgâr hızı ve esme süresinin fazla olması suyun dağılımını olumsuz yönde etkiler. Sulamanın, rüzgâr hızının düşük olduğu saatlerde yapılması ya da lateral boru hatlarının etken rüzgâr yönünde dik olacak biçimde yerleştirilmesi yoluyla bu sorun belirli oranda azaltılabilir.
- Yüksek sıcaklık buharlaşma kayıplarını arttırır ve dolayısıyla su uygulama randımanı düşer. Gündüz sıcaklığı yüksek olan yörelerde sulamanın gece yapılmasıyla bu sorun belirli ölçüde ortadan kaldırılabilir.
- Bitkilerin tozlaşma döneminde yapılan sulama meyve bağlama oranını azaltır ve verim düşer. Bu nedenle, tozlaşma döneminde sulama yapmayacak biçimde sulama programı uygulanmalıdır.
- Bitki yaprakları ıslatıldığından, bazı bitki hastalıkları yayılma eğilimi gösterebilir. Bu nedenle, yağmurlama yöntemini, yaprakların ıslanmasından kaynaklanan hastalıklara duyarlı bitkilerin sulanmasında kullanmak genellikle doğru olmaz.
- Sulama, gündüz saatlerinde bitirilirse, bitki yaprakları üzerinde kalacak su damlaları mercek görevi yaparak güneş ışıklarını odaklar ve yaprakların yanmasına neden olabilir. Bu nedenle, sulamanın güneş battıktan sonra tamamlanacak biçimde planlanması yerinde olur.
- Aynı sorun tuzlu sulama suyunun uygulanması koşullarında da meydana gelebilir. Sulama tamamlandıktan ve yapraklar üzerindeki su buharlaştıktan sonra, yapraklar üzerinde kalacak tuz taneleri yaprakların yanmasına neden olabilir. Bu nedenle, tuzluluk açısından 3. Sınıfa giren sulama suyunun, zorunlu kalmadıkça, yağmurlama sulamada kullanılmaması yerinde olur.

Yağmurlama Sulama Yönteminin Uygulanabileceği Koşullar

Yağmurlama sulama yönteminin uygulanabileceği toprak, topografya, bitki ve su kaynağı özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

Toprak ve topografya özellikleri: Yağmurlama sulama yöntemi, su alma hızı yüksek (kullanılabilir su tutma kapasitesi düşük) hafif bünyeli topraklardan, su alma hızı düşük (kullanılabilir su tutma kapasitesi yüksek) ağır bünyeli topraklara kadar her türlü toprak bünye sınıfında, derin topraklarda, geçirimsiz tabaka ya da taban suyunun yakında olduğu yüzlek topraklarda, düşük ya da yüksek eğimde, dalgalı topografyada emniyetle uygulanabilir. Ancak sulanacak arazinin topoğrafik koşullarına uygun sistem tertibi yapılması gerekir. Yağmurlama sulama yöntemi, ayrıca tuzlu toprakların ıslahı için yıkama suyunun uygulanmasında kullanılabilir.

Bitki özellikleri: Yağmurlama sulama yöntemi prensip olarak, yapraklarının ve meyvelerinin ıslanmasından kaynaklanan hastalıklara duyarlı bitkilerin sulanmasında kullanılmaz. Fasulye dışında tüm tarla bitkilerinin sulanmasında uygulanabilir. Genel olarak, yaprakları yenen sebzeler yağmurlama yöntemiyle sulanabilir.

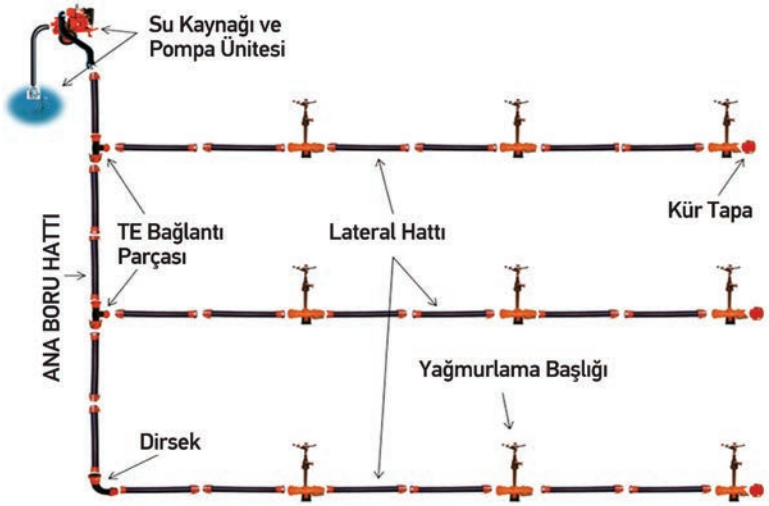
Domates, biber, fasulye, çilek vb. meyveleri yenen sebzeler yağmurlama yöntemiyle sulanmamalıdır. Benzer biçimde, bağda omçalara, meyve bahçelerinde muz dışındaki ağaçlara, bitki üzerinde su verecek biçimde yağmurlama yöntemi uygulanmamalıdır. Meyve ağaçları, ağaç altından su uygulanarak yağmurlama yöntemiyle sulanabilir.

Su kaynağı özellikleri: Yağmurlama sulama yönteminde her türlü su kaynağından yararlanılabilir. Yalnız akarsulardan yararlanıldığında, su içerisinde, boru hatlarında birikebilecek ve yağmurlama başlıklarını tıkayabilecek kadar sediment ve yüzücü cisim bulunmamalıdır. Bu koşulda, akarsudan alınan suyun, havuzlarda dinlendirilerek sediment çökeltildikten ve yüzücü cisimler eleklerle tutulduktan sonra sisteme verilmesi daha doğru olur. Bu ise sulama maliyetini arttırır.

Yağmurlama sulamada, tuzluluk açısından 1. (C1) ve 2. (C2) sınıfa giren (elektriksel iletkenliği 750 µmhos/cm'yi geçmeyen) sulama suları emniyetle kullanılabilir. Ancak önceki bölümde denildiği gibi, 3.sınıfa (C3) giren sulama suyu kullanıldığında, yapraklarda kalabilecek tuzlar yaprak yanmalarına neden olabilir.

4.5.1. Yağmurlama Sulama Sisteminin Unsurları

Bireysel yağmurlama sulama sistemleri, genellikle, pompa birimi, ana boru hattı, lateral boru hatları ve yağmurlama başlıklarından oluşmaktadır (Şekil 4.10). Bu unsurların özellikleri aşağıda açıklanmıştır.



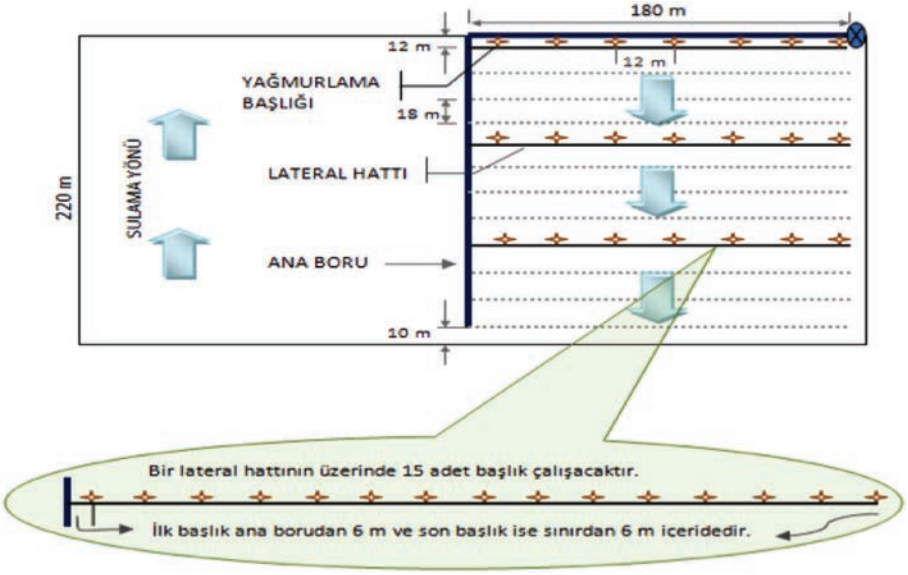
Şekil 4.10. Yağmurlama sulama sistemi unsurları

a. **Pompa Birimi;** Yağmurlama sulama sistemlerinde, gerekli işletme basıncı genellikle pompa birimi ile sağlanır. Pompa birimi, pompa ve pompayı çalıştıran motordan oluşur. Akarsu, göl, kanal, keson kuyu vb. su kaynaklarından yararlanıldığında, diğer bir anlatımla, pompa dinamik emme yüksekliğinin fazla olmadığı koşullarda, yatay milli santrifüj tipi pompalar, derin kuyularda ise derin kuyu pompaları ya da dalgıç tipi pompalar kullanılmaktadır. Pompaların çalıştırılmasında, elektrik enerjisinin sağlandığı koşullarda elektrik motorları, sağlanamadığı koşullarda ise içten yanmalı (genellikle dizel) motorlardan yararlanılır. Enerji masraflarının çok düşük olması, işletme ve bakım kolaylığı sağlanması açısından, elektrik motoru ile çalışan pompalar tercih edilmektedir.

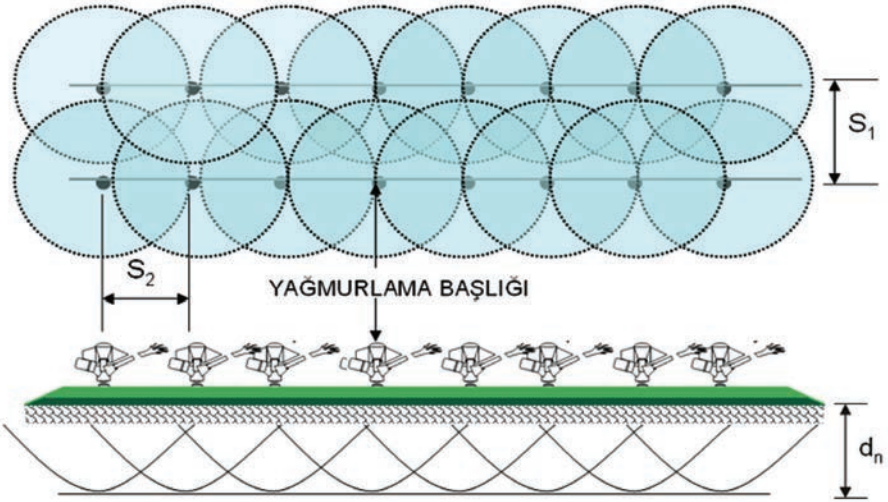
b. Ana Boru Hattı; Ana boru hattı, kaynaktan alınan sulama suyunu lateral boru hatlarına iletir. Gömülü ya da yüzeye serili olabilir. Gömülü olduğunda, en az 10 atm işletme basınçlı sert PVC ya da asbestli çimento borulardan, toprak yüzeyine serildiğinde ise en az 6 atm işletme basınçlı alüminyum ya da sert PE borulardan oluşturulur. Güneşin ulraviyole ışınlarına duyarlı olduğu için, PVC boruların yüzeye serilmesi istenmez. Bunun yanında, ender de olsa, gömülü ana boru hatlarında çelik borularda kullanılabilmektedir.

c. Lateral Boru Hatları; Lateral boru hatları, üzerinde yağmurlama başlıkları bulunan boru hatlarıdır. Portatif ya da yarı sabit yağmurlama sulama sistemlerinde toprak yüzeyine döşenirler ve en az 6 atm işletme basınçlı alüminyum ya da sert PE borulardan oluşturulur. Sabit yağmurlama sulama sistemlerinde ise, lateral boru hatları genellikle gömülü olur. Bu koşulda, en az 10 atm işletme basınçlı sert PVC borular kullanılır. Yalnız, park ve bahçelerde, çim alanların sulanması amacıyla kurulan sabit yağmurlama sulama sistemlerinde, çok küçük boru çapı gerektiğinde (63mm dış çaptan düşük), döşeme kolaylığı açısından, yapıştırma muflu sert PVC borular yerine, esnek (kangal tipi) PE borular kullanılabilmektedir.

Yağmurlama sulama sistemlerinde, ana ve lateral boru hatları toprak yüzeyine serildiğinde, bağlantı yerlerinde, basınç kalkınca boru içerisindeki suyu hızla boşaltabilen özel yağmurlama contaları kullanılır. Gömülü ana ya da lateral boru hatlarında ise, contaların her koşulda sızdırmaz olması gerekir. Bunun yanında, boru hatlarında pompa bağlantısı, dirsek, T parçası kros (+ parçası), redüksiyon, yükseltici boru, yükselticili bağlayıcı (abot), köt tapa gibi bağlantı elemanları bulunur. Ayrıca, boru hatları üzerine, basıncın kontrol edildiği basınç regülâtörü, su hacminin ya da debinin ölçüldüğü su sayaçları ya da debi ölçerler, basıncın ölçüldüğü manometreler ve suyun denetlendiği vanalar yerleştirilir.

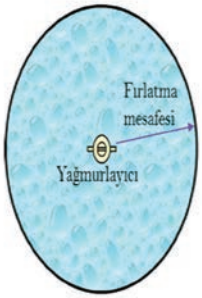


d. Yağmurlama Başlıkları; Yağmurlama sulama sistemlerinin en önemli ve dikkatle seçilmesi gereken unsuru yağmurlama başlıklarıdır. Yağmurlama başlıkları, lateral boru hattı üzerine yerleştirilir ve sulama suyunu lateral boru hattından alıp basınç altında püskürterek atmosfere verirler. Püskürtme işlemi başlık üzerinde bulunan memeler aracılığıyla, su parçalanarak yapılır.

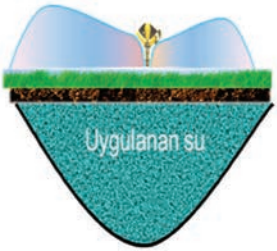


S_1: Lateraller arası mesafe, S_2: Başlıklar arası mesafe

d_n: Net sulama derinliği



ISLATMA ALANI



SU DAĞILIM EĞRİSİ

İşletme basıncı: Yağmurlama sulama sistemlerinde işletme basıncı, başlık memesinin çıkışında istenen basınçtır.

Başlıkların sınıflandırılması: Yağmurlama başlıkları, Şekil 3.2'de sınıflandırılmış ve başlık tipleri aşağıda açıklanmıştır.

Sabit (sprey) yağmurlama başlıkları: Kendi ekseni etrafında dönmeyen yağmurlama başlıklarıdır. İşletme basınçları en çok 3 atm olabilir. Meme çapları 1.0 mm civarındadır. Kullanım alanı sınırlıdır ve genellikle, örtü altındaki bitki yetiştiriciliğinde ortamın bağıl nemini arttırmada, çok dar şeritler halindeki çim alanların sulanmasında, ağaç altı mikro yağmurlama yöntemi ile meyve ağaçlarının sulanmasında ve bitki üzerinden makine ile taşınan lateral sistemlerinde kullanılır.

Döner yağmurlama başlıkları: Bu başlıklar, kendi eksenleri etrafında dönerler. Uygulamada çok yaygın olarak kullanılırlar. İşletme basınçları meme çapları geniş sınırlar arsında değişir. Tek ya da çift memeli olabilir.

Tipik bir döner yağmurlama başlığının kesiti Şekil 4.11'de verilmiş ve başlığı oluşturan unsurlar şeklin yanına yazılmıştır. Başlığın dönmesini, memeden (7) basınç altında çıkan su huzmesi ve çarpma kolu (9) sağlamaktadır. Başlık girişindeki birleştirme somunu (1), şekildeki gibi içten pasolu olabildiği gibi dıştan pasoluda olabilmektedir. Şekilde kör tapa (8) yerine bir diğer meme takıldığında başlık çift memeli olmaktadır.

Yavaş dönen yağmurlama başlıkları: Uygulamada çok yaygın kullanılan döner dipteki yağmurlama başlıklarıdır. Dönme hızı 0.8-1.2 d/d (devir/dakika) arasında değişir. Başlık dönme hızı Şekil 4.11'de yatak yayı (5) ve çarpma kolu yayı (10) gerdirilerek ya da gevşetilerek ayarlanır. Hızla dönenlere oranla, ıslatma çapları daha büyük olduğu için tercih edilirler.

Hızlı dönen yağmurlama başlıkları: Dönme hızları 1.2 d/d'dan daha yüksektir. Uygulamada çoğunlukla, çim alanların sulanmasında kullanılan ve belirli ıslatma açısı verilen başlıklar hızla dönen tiptedir.

Düşük basınçlı yağmurlama başlıkları: İşletme basınçları 2 atm'den düşüktür. Meme çapları genellikle, 3.5 mm'yi, ıslatma çapları ise 16 m'yi geçmez. Sabit ya da döner tipte olabilir. Tarla bitkileri ve sebzelerin sulanmasından çok, meyve ağaçlarının alttan sulanmasında kullanılırlar. Meyve ağaçlarının alttan sulanmasında, her ağaç altına yerleştirilen düşük basınçlı küçük yağmurlama başlıkları (mini sprinkler) yaygın olarak kullanılmaktadır. Küçük yağmurlama başlıklarını meme çapları 1-3 mm, işletme basınçları 1-2 atm ve ıslatma çapları 2-8 m kadardır. Bu tip yağmurlama başlıklarının kullanıldığı yağmurlama yöntemi, işletme basıncı düşük olduğundan ve alanın tamamı ıslatılmadığından, mikro sulama yöntemleri içerisinde yer almakta ve ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemi adı verilmektedir. Bu yöntem ileriki bölümlerde açıklanacaklardır.

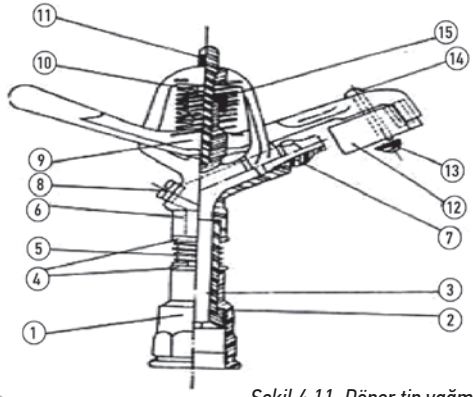
Orta basınçlı yağmurlama başlıkları: İşletme basınçları 2-4 atm arasındadır. Meme çapları, 3.5-6.0 mm, ıslatma çapları 20-36 m ve başlık aralıkları 12-24 m arasında değişir. Genellikle tek ya da çift memeli döner tipte başlıklardır. Çoğunlukla tarla bitkileri ve sebzelerin sulanmasında kullanılır.

Yüksek basınçlı yağmurlama başlıkları: İşletme basınçları 4-6 atm arasındadır. Meme çapları 6.0-12.0 mm, ıslatma çapları 20-60 m ve başlık aralıkları 18-36 m arasında değişir. Genellikle çift memeli döner tipte başlıklardır. Çoğunlukla tarla bitkileri ve sebzelerin sulanmasında kullanılır.

Çok yüksek basınçlı yağmurlama başlıkları: İşletme basınçları 6 atm'den yüksektir. Meme çapları, 12.0-32.0 mm, ıslatma çapları 60-180 m ve başlık aralıkları 30-20 m arasında değişir. Genellikle, çift memeli döner tipte başlıklardır. Çoğunlukla, küçük memenin çapı 6.0 -12.0 mm olur. Bu tip başlıklara uygulamada jet tipi yağmurlama başlığı adı da verilmektedir. (Şekil 3.4). Büyük tarım işletmelerinde, tarla bitkilerinin sulanmasında kullanılır.

Tarla tipi yağmurlama başlıkları: Su püskürtme açıları (meme ekseninin yatay düzlemle yaptığı açı) 30o – 33o'dir. Bu açıda, en yüksek ıslatma çapı elde edilmektedir. Bitkilerin üstten sulanmasında kullanılır.

Bahçe tipi yağmurlama başlıkları: Su püskürtme açıları 10o – 12o'dir. Meyve ağaçlarının alttan, alanın tamamı ıslatılacak biçimde sulanmasında kullanılır. Genellikle, lateraller her iki ağaç sırasında bir ve yağmurlama başlıkları 4 ağacın ortasına gelecek biçimde döşenirler. Lateral boru hatları bir konumdan diğerine taşınırlar. Açının düşük olmasının nedeni, ağaç dal ve yapraklarını ıslatmamak içindir. Ağaç altı mikro yağmurlama yönteminde kullanılan küçük yağmurlama başlıklarında ise, su püskürtme açısı çok daha düşük, hatta ters açıda olabilmektedir.

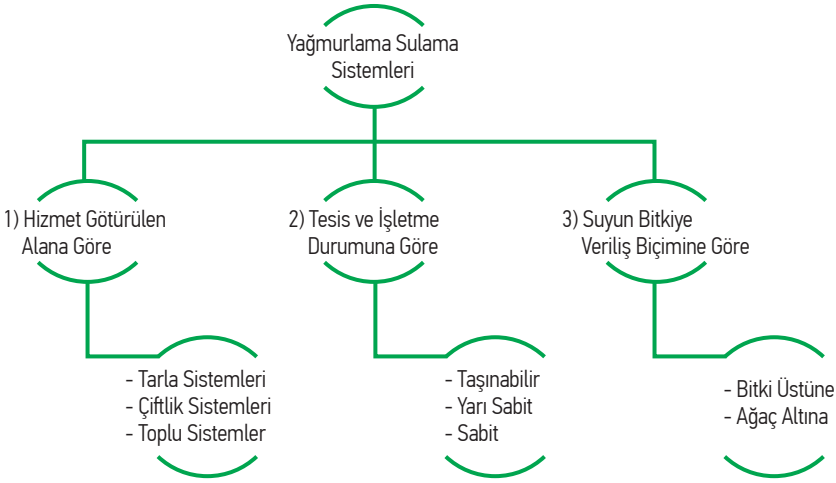


PARÇA NO	PARÇA ADI
1	Birleştirme Somunu
2	Rondela
3	Birleştirici Tüp
4	Plastik Conta
5	Yatak Yayı
6	Gövde
7	Meme
8	Kör Tapa
9	Çarpma Kolu
10	Çarpma Kolu Yayı
11	Ana Gövde Pimi
12	Kama
13	Kopilya
14	Kama Pimi
15	Dönen Milin Contası (lastik)

Şekil 4.11. Döner tip yağmurlama başlığı

4.5.2. Yağmurlama Sulama Sistemlerinin Çeşitleri

Yağmurlama sulama sistemleri; hizmet götürülen alana göre, tesis ve işletme durumuna göre ve suyun bitkiye veriliş biçimine göre sınıflandırılabilir.



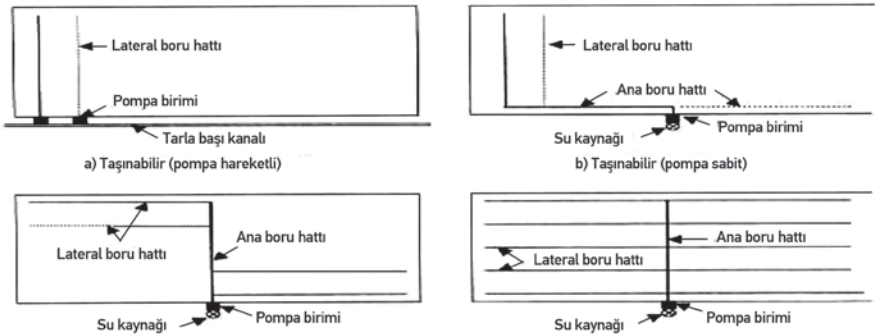
a. Hizmet Götürülen Alana Göre Sistemler

Tarla sistemleri: Tarım işletmesinde uygulanan sulama yöntemi farklı olmasına karşın (genellikle yüzey sulama yöntemleri), bitkilere çimlenme ve çıkış suyu vermek, destekleme sulamaları yapmak ya da ekim nöbetinde yer alan özel bir bitkiyi sulamak amacıyla kurulan yağmurlama sistemlerinde tarla tipi sistemler adı verilir. Genellikle taşınabilir sistem biçimindedir.

Çiftlik sistemleri: Tarım işletmesinde uygulanan sulama yöntemi yağmurlama yöntemi olduğunda kurulan sistemlerdir. Tüm yağmurlama sulama sistem unsurlarını ve etkin bir sulama yapabilmek için gerekli tüm işletme ve kontrol araçlarını kapsarlar. Yaygın olarak, küçük tarım işletmelerinde taşınabilir, orta ve büyük tarım işletmelerinde yarı sabit sistem biçiminde kurulur. Büyük tarım işletmelerinde, laterallerin makine ile hareket ettirildiği taşınabilir sistemler de söz konusu olabilmektedir.

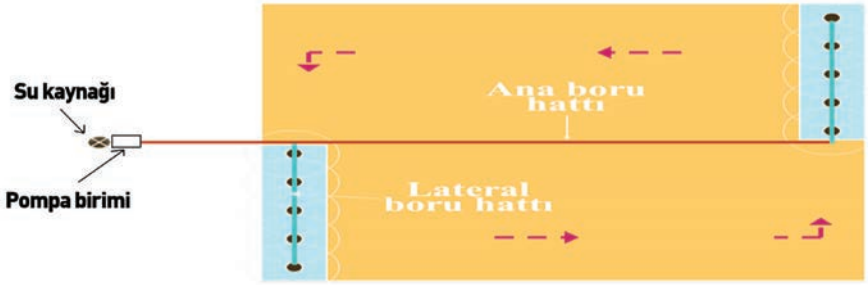
Toplu sistemler: Çok sayıda tarım işletmesini kapsayan büyük alanlara hizmet götüren sistemlerdir. Bu sistemlerde, her tarım işletmesine, su alabileceği bir hidrant yerleştirilir. Her tarım işletmesine bir çiftlik sistemi kurulur. Alandaki hidrantlar uygun biçimde bir su dağıtım ağı ile su kaynağına bağlanır.

b. Tesis ve İşletme Durumuna Göre Sistemler

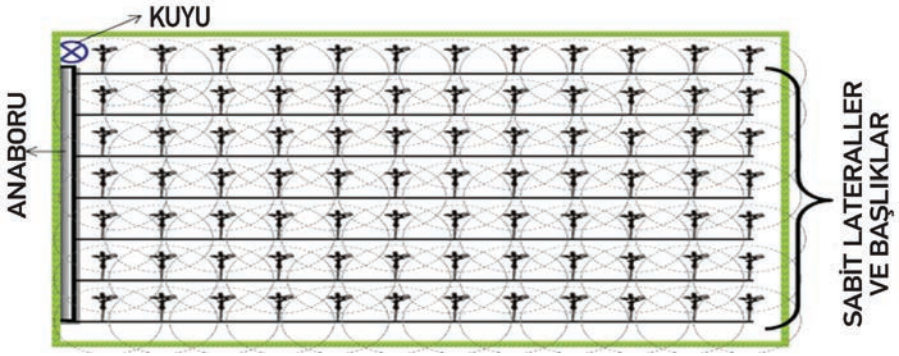


Taşınabilir (portatif) sistemler: Taşınabilir sistemler bir konumda sulama tamamlandıktan sonra, hem ana boru hattı, hem de lateral boru hatlarının bir başka konuma taşındığı sistemlerdir. Pompa birimi taşınabildiği gibi (Şekil 3.6 a) sabit de olabilmektedir. (Şekil 3.6 b). Bu sistemlerde ana ve lateral boru hatları toprak yüzeyine serilirler. Bu tip sistemler, genellikle, küçük tarım işletmelerinde kullanılır. Ana ve lateral boru hatları bir konumdan diğerine el ile taşınır. Birim alan sistem maliyeti düşük, sulama işçiliği masrafları yüksektir.

Yarı sabit sistemler: Yarı sabit sistemlerde, ana boru hattı sabit ve çoğunlukla gömülüdür. Lateral boru hatları, toprak yüzeyine serilirler ve bir konumda sulama tamamlandıktan sonra diğer bir konuma taşınırlar (Şekil 3.6 c). Uygulamada, nispeten büyük tarım işletmelerinde, tarla bitkileri ve sebzelerin sulanmasında, en çok kullanılan sistem tipidir. Laterallerin el ile taşındığı koşulda, taşınabilir sistemlere oranla, birim alan sistem maliyetleri daha yüksek, ancak, sulama işçiliği ve masrafları daha düşüktür.



Sabit sistemler: Sistemin tüm unsurları konum yönünden sabittir (Şekil 3.6 d). Ana ve lateral boru hatları genellikle gömülüdür. Yağmurlama başlıkları, bir yükseltici boru ile toprak üzerine çıkarılır. Birim alan tesis masrafları çok yüksek, buna karşın sulama işçiliği masrafları oldukça düşüktür. Genel olarak tarla bitkileri ve sebzelerin sulanmasından çok, park ve bahçelerde, çim alanların sulanmasında kullanılır. Bunun yanında, meyve ağaçlarının sulanmasında kullanılan ve küçük yağmurlama başlıklarını içeren ağaç altı mikro yağmurlama sulama sistemleri sabit sistem biçimindedir ve lateral boru hatları toprak yüzeyine serilir. Sulama mevsimi sonunda, yağmurlama başlıkları ile birlikte lateral boru hatları da sökülerek depoya kaldırılır.



c. Makine ile taşınan sistemler:

- Tekerlekli yağmurlama sulama sistemi
- Tamburalı yağmurlama sulama sistemi
- Dairesel hareketli (center-pivot) yağmurlama sulama sistemi
- Doğrusal hareketli (Linear move) yağmurlama sulama sistemi

Taşınabilir ya da yarı sabit sistemlerde, büyük tarım işletmelerinde, lateral boru hatlarının makine ile taşınması da söz konusudur. Dünyanın birçok yerinde, büyük tarım alanlarının en ekonomik ve yüksek performansta sulanması amacıyla oluşturulan bu sistemler yıllar geçtikçe, birçok bitkinin farklı arazi ve iklim koşullarında sulanmasıyla da kendisini kabul ettirmiştir. Center Pivot Sulama Makineleri 30-65 metre arasında kulelerden oluşmaktadır.

Center Pivot Sulama Sistemleriyle binlerce dönüm alan, el değmeden otomatik olarak sulanabilmektedir. Center Pivotlar 50 metreden başlayıp 1100 metre yarıçapa kadar ulaşabilmektedir (Yaklaşık 3800 dekara kadar tek bir makine sulama yapabilmektedir).

Center Pivot Sulama Sistemleriyle, diğer yüzey sulama sistemlerine göre % 35-% 50 arasında daha az su kullanarak sulama yapılabilir. Bu başlıklarla, yüzey sulama sistemleri ile farklı yağmurlama sulama atış desenleri ve sulama mesafeleri bitki tipine göre seçilebilmektedir. Ayrıca, sistem sonuna eklenebilen bir ekstra pompa ve sprinkle, daha fazla alanın sulanması da mümkün olmaktadır. Center Pivot ve Lineer Sulama Sistemlerinde kullanılan borular, sıcak daldırma galvanizle kaplanmış çelik veya alüminyum borulardan oluşmaktadır. İsteğe bağlı olarak boruların içleri PVC kaplanarak, kimyasallara dayanımı arttırılmaktadır.

Center Pivot – Lineer (Lineer Pivot ve Tamburlu) Sulama Sistemiyle;
- Pamuk, Mısır, Buğday,
- Mercimek, Arpa, Yonca,
- Şeker Pancarı,
- Bodur Meyve ve Narenciye Ağaçları,
- Kavun-Karpuz,
- Tüm yem bitkileri,
- Soğan, Patates
- Bakliyatlar,
- Ve benzer birçok bitki en ideal şartlarda sulanabilmektedir.

d. Suyun Bitkiye Veriliş Biçimine Göre Sistemler

Bitki üstü yağmurlama sulama sistemleri; tarla bitkileri ve sebzelerin üstünden su verilir. Suyun serbestçe 300-330 açı ile püskürtülmesi ve bitki boyuna göre yükseklik ayarının yapılması ile sulama gerçekleşir.
Ağaç altı yağmurlama sulama sistemleri; Özellikle meyve ağaçlarının sulanmasında düşük debili ve basınçlı mini-jet sprey sprinkler (açılı veya sabit) ile yapılan sulama sistemidir.

4.6. DAMLA SULAMA YÖNTEMİ

Damla sulama yönteminde temel ilke, bitkide nem eksikliğinden kaynaklanan bir gerilim taratmadan, her defasında az miktarda sulama suyunu sık aralıklarla yalnızca bitki köklerinin geliştiği ortama vermektir. Bu yöntemde bazen her gün, hatta günde birden fazla sulama yapılabilmektedir.

Damla sulama yönteminde arındırılmış su, basınçlı bir boru ağıyla bitki yakınına yerleştirilen damlatıcılara kadar iletilir ve damlatıcılardan düşük basınç altında toprak yüzeyine verilir. Su buradan infiltrasyonla toprak içerisine girer, yerçekimi ve kapilar kuvvetlerin etkisi ile bitki köklerinin geliştiği toprak hacmi ıslatılır. Başka bir deyişle, bu yöntemde genellikle alanın tamamı ıslatılmaz. Bitki sırası boyunca ıslak bir şerit elde edilir ve bitki sıraları arasında ıslatılmayan kuru bir alan kalır. Böylece, mevcut sulama suyundan en üst düzeyde yararlanılır.

Damla sulama sistemi sabit sistem biçimindedir. Sistem unsurları, sulama mevsimi boyunca aynı konumda kalırlar. Ancak, sulama mevsimi sonunda bazı unsurları araziden kaldırılır.

4.6.1. Damla Sulama Sisteminin Unsurları

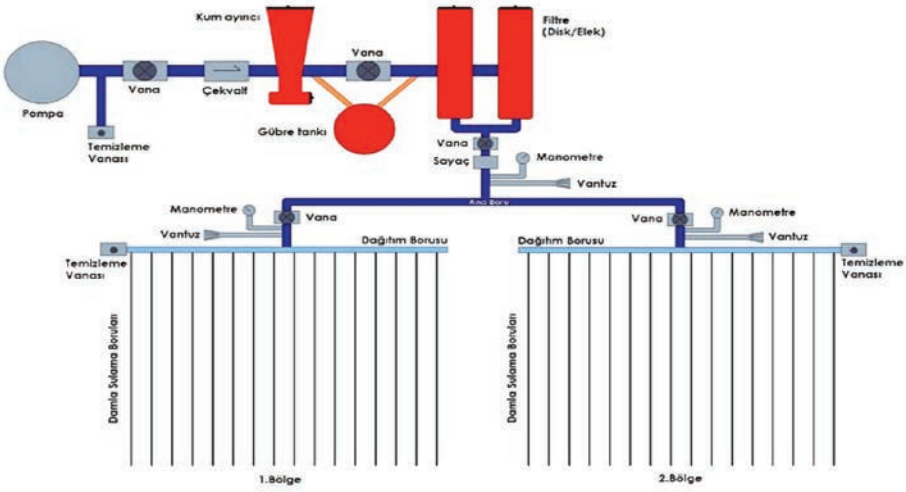
Bir damla sulama sistemi sırasıyla pompa birimi, kontrol birimi, ana boru hattı, manifold boru hatları ve damlatıcılardan oluşur (Şekil 4.13)

Su Kaynağı: Damla sulama yönteminde her türlü su kaynağından yararlanılabilir. Ancak suyun fazla miktarda kum, sediment ve yüzücü cisim içermemesi gerekmektedir. Ayrıca, fazla miktarda kalsiyum ve magnezyum bileşikleri ile demir bileşikleri içeren sular da damla sulama yöntemi için uygun değildir.

Pompa Birimi: Su kaynağının yeteri kadar yüksekte olmadığı koşullarda, gerekli işletme basıncı pompa birimi ile sağlanır. Su kaynağının tipine bağlı olarak santrifüj, derin kuyu ya da dalgıç tipi pompalardan biri kullanılabilir. Pompanın elektrik motoru ile çalıştırılması tercih edilir.

Kontrol birimi: Damla sulamada, suyun çok iyi süzüldükten sonra sisteme verilmesi gerekir.Kontrol biriminde ayrıca, sisteme verilecek sulama suyunun basınç ve miktarı denetlenir ve bitki besin maddeleri sulama suyuna karıştırılır.

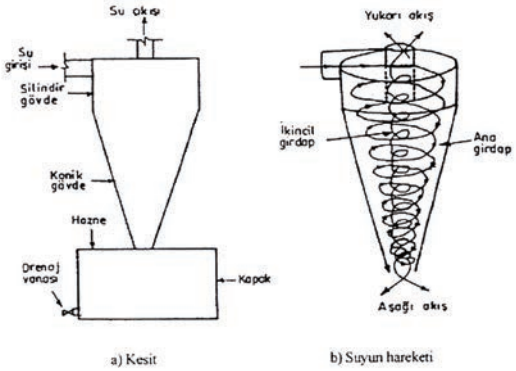
Kontrol biriminde; hidrosiklon, kum-çakıl filtre tankı, gübre tankı, elek-filtre, basınç regülâtörü, su ölçüm araçları, manometreler ve vanalar bulunur (Şekil 4.13)



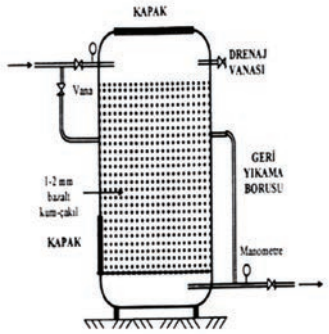
Hidrosiklon, suda bulunabilecek kum parçacıklarının sisteme girmeden önce tutulduğu araçtır. Hidrosiklonun kesiti ve suyun hidrosiklon içerisindeki hareketi şekil 4.14'de görülmektedir. Şekilden izleneceği gibi, su hidrosiklonun üst kısmından çepere doğru girer ve çeper boyunca aşağıya doğru iner. Daha sonra su ortadan yukarıya doğru yükselir ve kum parçacıkları ağır olduğundan tabanda kalır. Kumdan arınan su hidrosiklonun üzerinden sisteme verilir. Tabanda biriken kum belirli aralıklarla temizlenir.

Kum-çakıl filtre tankında, sulama suyunda bulunabilecek sediment ve yüzücü cisimler tutulur. Tipik bir kum-çakıl filtre tankının kesti Şekil 4.15'te verilmiştir. Su tanka üstten girer, çakıl, kum ve çakıl katmanlarından geçtikten sonra tankın altından çıkar. Bu arada sediment ve yüzücü cisimler genellikle üst kesimde tutulur. Tankın tabanında, etrafı elek filtre ile sarılmış delikli boru bulunur. Burada amaç tanktan su ile birlikte kumun çıkışını engellemektir. Kum-çakıl filtre tankında ayrıca suyun alttan girişini ve üstteki vanadan çıkışını sağlayan geri yıkama borusu bulunur. Bu boru aracılığıyla, zaman zaman tankın üst kesiminde sediment ve yüzücü cisimler yıkanarak tank temizlenir.

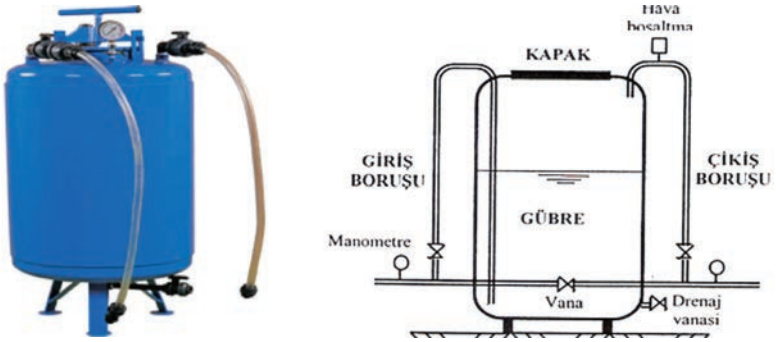
Damla sulama sistemlerinde bitki besin maddeleri sulama suyuna karıştırılarak uygulanır. Bu amaçla sıvı gübre kullanılır. Sulanacak alanın büyüklüğüne göre hesaplanan sıvı gübre miktarı, kontrol birimindeki gübre tankının içerisine konur. Gübre tankı ana boruya üzerinde vanalar bulunan hortumlarla iki noktadan bağlanır. Biri gübre tankına su girişi, diğeri ise su çıkışı içindir. Ana boru üzerine ayrıca, değinilen iki nokta arasında basınç farklılığı yaratmak amacıyla bir vana daha yerleştirilir. Gübre uygulanacağı zaman ana boru üzerindeki vana kısmen kapatılır, gübre tankı giriş ve çıkış vanaları açılır. Böylece, ana borudaki suyun bir kısmı gübre tankına girer, sıvı gübre ile karışır ve tekrar ana boruya döner (Şekil 4.17).



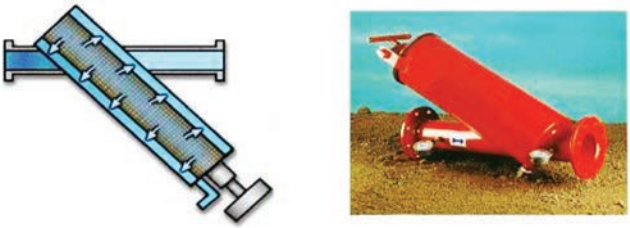
Şekil 4.14. Hidrosiklon



Şekil 4.15. Kum-çakıl filtre



Şekil 4.17 Gübre tankı ve kesiti

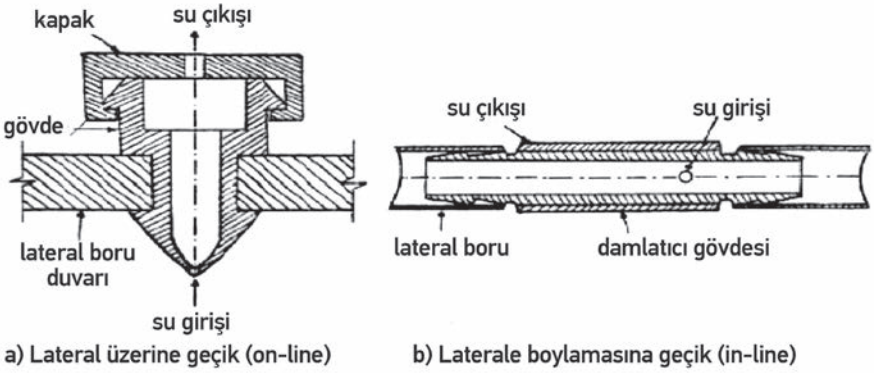


Şekil 4.18 Elek filtrenin kesiti

Elek fitreden sonra, suyun boru hattına sabit basınç altında verilmesini sağlamak için bir basınç regülâtörü yerleştirilir. Basınç regülâtörleri bazen manifold boru hattı girişine de yerleştirilebilir.
Kontrol biriminde ayrıca, kum-çakıl filtre tankının giriş ve çıkışı ile elek filtre girişindeki basıncın ölçülmesi gerekmektedir. Bu amaçla, üç yollu bir manometreden yararlanılır. Böylelikle, basınç farklılıklarından filtrelerin tıkanma derecesi saptanır ve gerekli zamanlarda filtreler temizlenir.
Ana boru hattı: Suyu kaynaktan manifold boru hatlarına iletir. Genellikle gömülüdür ve sert PVC veya PE borulardan oluşturulur. Küçük sistemlerde ana boru hattı (sert PE) toprak yüzeyine döşenebilir.
Manifold boru hattı: Suyu ana boru hattından laterallere iletir. Laterallerin doğrudan ana boru hattına bağlanması durumunda, su girişini denetlemek için her lateralin başına bir vananın yerleştirilmesi zorunluluğu vardır. Bu ise hem sistem maliyetini çok önemli boyutlarda arttırır hem de sistemin işletilmesini güçleştirir. Bunun yerine, belirli sayıdaki lateral boru hattı manifold boru hattına bağlanır ve manifoldun ana boru hattı ile bağlantısı bir vana ile sağlanır. Manifold boru hattına bağlı laterallerin tümü bir işletme birimini oluşturur. Manifold başlangıcındaki vana açıldığında işletme birimindeki tüm laterallere aynı anda su verilmiş olur. Ana boru hatlarında olduğu gibi, manifold boru hatları da genellikle gömülüdür ve sert PVC borulardan oluşturulur. Küçük sistemlerde manifold boru hatları bazen toprak yüzeyine serilir ve bu durumda PE borular kullanılır. Manifold boru hatları, tesviye eğrilerine paralel (eğimsiz) ya da bayır aşağı eğimde döşenmelidir. Bayır yukarı eğimde döşemekten kesinlikle kaçınmalıdır. Bu hatlar, ana boru hattına dik olabileceği gibi paralel de olabilir.
Lateral boru hatları: Üzerine damlatıcıların yerleştirildiği borulardan oluşturulur. Toprak yüzeyine serilir ve bu amaçla yumuşak PE borular kullanılır. Genellikle her bitki sırasına bir lateral döşenir. Bazen, her bitki sırasına iki lateral ya da iki bitki sırasına bir lateral yerleştirilebilmektedir. Lateral boru hatları da, manifold boru hatlarında olduğu gibi, tesviye eğrilerine paralel (eğimsiz) ya da bayır aşağı eğimde döşenmelidir ve bayır yukarı eğimde döşemekten kaçınmalıdır.

Damlatıcılar: Sistemin en önemli ve çok dikkatle seçilmesi gereken elemanlarıdır. Lateral borulardaki basınçlı su damlatıcıya geçtikten sonra, damlatıcı içerisindeki akış yolu boyunca ilerlerken, suyun enerjisi sürtünme ile önemli ölçüde kırılır. Bunun sonucunda, su damlatıcıdan damlalar biçiminde çok düşük debi ile çıkar ve toprağa infiltre olur.

Damlatıcılar genellikle, lateral üzerine gecik (on-line) ve laterale boylamasına gecik (in-line) olmak üzere iki tipte yapılmaktadır (Şekil 4.19). Lateral üzerine gecik damlatıcılarda, damlatıcı girişi lateral boru içinde ve gövde borunun dışındadır. Bu tip damlatıcılar orifis girişli ve genellikle kısa akış yolludur. Suyun enerjisi, girişteki orifis ve akış yolu boyunca kırılır. Laterale boyuna gecik damlatıcılarda ya lateral boru damlatıcının iki ucuna bağlanmakta ya da damlatıcılar lateral boru içerisine sabit aralıklarla ve boylamasına yerleştirilmektedir. Akış yolu genellikle uzundur. Su lateral ya da çeperinden damlatıcıya girmekte, uzun akış yolu boyunca enerjisi kırılmakta ve lateral boru dışına çıkmaktadır. Uygulamada damlatıcılar PVC, PE ve ABC (aknilo-nitril-butanin-stril) den yapılmaktadır.



Şekil 4.19 Lateral üzerine ve boylamasına gecik damlatıcı kesitleri

İşletme basıncı ile damlatıcı debisi arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır;

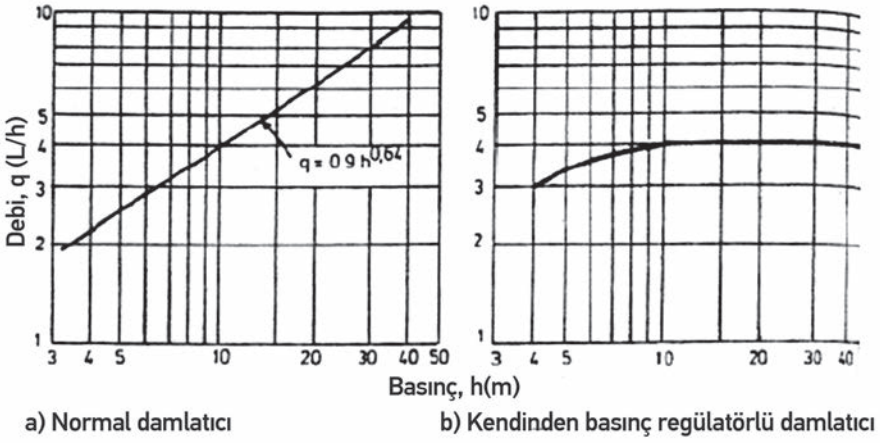
$$q = K_d - h^x$$

Eşitlikte;

q = Damlatıcı debisi, L/h
Kd = Damlatıcı yapım biçimine bağlı katsayı,
h = İşletme basıncı (damlatıcı girişinde istenen basınç),m
x = Damlatıcıda akış rejimine bağlı katsayıdır.

Bu eşitlikte verilen damlatıcı basınç-debi ilişkisi, laboratuar denemeleri ile farklı basınçlarda damlatıcı debileri ölçülerek saptanmaktadır. Bunun yanında, kendinden basınç regülâtörlü damlatıcılarda üretilmektedir. Bu tip damlatıcılarda işletme basıncı değişse bile debi sabit kalmaktadır. Üretici kuruluş, farklı işletme basınçlarında ki damlatıcı debilerini gösteren çizelge ya da grafikleri planlayıcı ve uygulayıcılara vermekle yükümlüdür (şekil 4 .20). Damlatıcı içerisindeki akış yolu boyunca kimyasal madde birikimini engelleme açısından, işletme basıncını zorunlu kalmadıkça 1 atm'den az seçmemek gerekir. İşletme basıncının pompa birimi ile sağlandığı sistemlerde ise basıncın 1 atm'den yüksek seçilmesi enerji masraflarını arttırır. Başka bir deyişle, basıncın pompa birimi ile sağlandığı sistemlerde basıncı bir yerde sabittir ve bu değer 1 atm' dir.

Damlatıcı debisi ise, su alma hızı düşük ağır bünyeli topraklarda düşük, su alma hızı yüksek hafif bünyeli topraklarda yüksek olmalıdır. Uygulamada damlatıcı debisinin ağır bünyeli topraklarda 1.2-4 L/h, orta bünyeli topraklarda 4-6 L/h ve hafif bünyeli topraklarda 6-16 L/h arasında seçilmesi önerilmektedir.



Şekil 4.20. Damlatıcılarda işletme basıncı – debi ilişkisi grafikleri

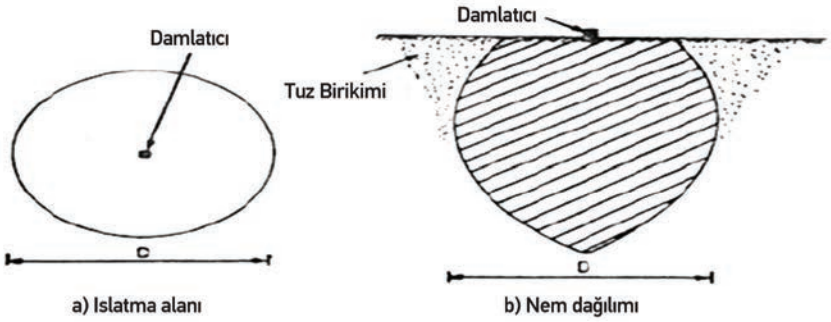
4.6.2. Damla Sulama Yönteminde Islatma Desenleri ve Lateral Tertip Biçimleri

Damla sulama yönteminde bir damlatıcı genellikle daire biçiminde bir alanı ıslatır (Şekil 4.21). Islatma alanının kesiti ise bir soğan başını andırır (Şekil 4.21.).
Lateral boyunca damlatıcılar, ıslatma çapının % 80'i kadar aralıkla yerleştirilir. Böylelikle lateral boyunca ıslak bir şerit oluşturulur. Ancak, özellikle geniş sıra aralığına sahip bitkilerin sulanmasında lateraller arasında ıslatılmayan kuru bir alan kalır (Şekil 4.22.).

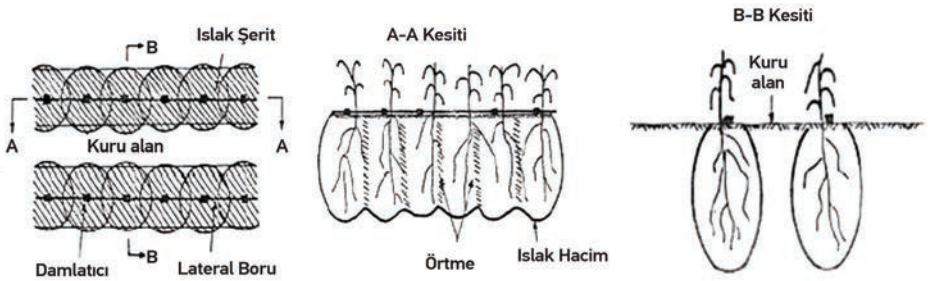
Damlatıcı aralığı, toplam su alma hızı ve damlatıcı debisinin bir işlevidir ve;

$$S_d = 0.9\sqrt{\frac{q}{I}}$$

eşitliği ile hesaplanır.
Eşitlikte;
Sd = Damlatıcı aralığı, m
q = Damlatıcı debisi, L/h
I = Toprağın su alma hızı, mm/h dir.



Şekil 4.21. Bir damlatıcının ıslattığı alan ve toprak içerisindeki nem dağılımı.



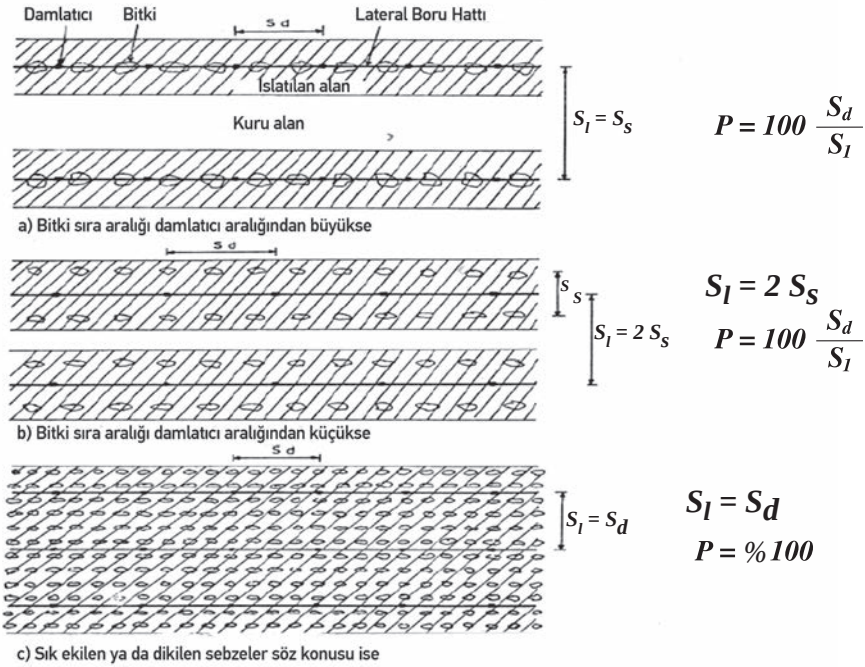
Şekil 4.22. Lateral boyunca ıslatılan alan.

Tarla bitkileri ve sebzelerde, eğer bitki sıra aralığı damlatıcı aralığından büyükse her iki bitki sırasına bir lateral boru hattı döşenir. Başka bir deyişle, lateral aralığı bitki sıra aralığına eşit olur (Şekil 4.23).
Bu durumda ıslatılan alan yüzdesi;

$$P = 100 \frac{S_d}{S_l}$$

eşitliği ile bulunur.
Eşitlikte;
P = Islatma alan yüzdesi, %
Sd = Damlatıcı aralığı, m
Sl = Lateral aralığı, m dir.

Damlatıcı aralığı bitki sıra aralığından büyük, ancak bitki sıra aralığının iki katından küçükse, lateral boru hatları iki bitki sırasının ortasına döşenir ve bir lateral boru hattı ile iki bitki sırası sulanır. Bu durumda, lateral aralığı bitki sıra aralığının iki katına eşit olur (Şekil4). Islatılan alan yüzdesi yukarıda verilen eşitlikle hesaplanır.
Sık ekilen ya da dikilen bitkiler söz konusu ise lateraller, lateral aralığı damlatıcı aralığına eşit olacak biçimde döşenir ve alanın tamamı ıslatılır.
Bağ, genç meyve ağaçları ya da sık dikilen bodur meyve ağaçları söz konusu olduğunda genellikle her ağaç sırasına bir lateral boru hattı döşenir. Lateral boyunca damlatıcılar formülde saptanan aralıkta yerleştirilir. Böylelikle, ağaç sıra üzeri tamamen ıslatılır ve kuru alan bırakılmaz. Kuru alan, ağaç sıra aralarında kalır. Islatılan alan yüzdesi, daha önce verilen eşitlikle hesaplanır.



Şekil 4.23. Tarla bitkileri ve sebzelerde lateral tertip biçimleri.

Olgun meyve ağaçlarında genellikle her ağaç sırasına iki lateral boru hattı döşenir. Her ağaç sırasında lateraller, lateral aralığı damlatıcı aralığına eşit olacak biçimde, ağaçların iki tarafına yerleştirilir. Böylece, ağaç sırası boyunca nemin yeknesak dağıldığı, ancak daha geniş bir ıslak şerit elde edilir. Bu koşulda ıslatılan alan yüzdesi;

$$P = 100\ \frac{2S_d}{S_l}$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;
P = Islatılan alan yüzdesi, %
Sd = Damlatıcı aralığı, m
Sl = Lateral aralığı, m dir.

Geniş aralıklarla dikilen olgun meyve ağaçlarında her ağaç sırasına bir lateral döşenerek, her ağaca bir adet çok çıkışlı damlatıcı yerleştirilebilir (Şekil 4. 24). Damlatıcıda çıkış sayısı 4, 6 ve 8 adet olabilir. Her bir çıkışa çok küçük çaplı kılcal borular monte edilerek su çıkış noktaları, ağaç gövdesi etrafında eşit aralıklarla yerleştirilir. Böylece, her ağacın altında daire biçiminde ıslak bir alan oluşturulur. Ağaç sıraları arasında olduğu gibi, sıra üzerindeki ağaçlar arasında da ıslatılmayan kuru alan kalabilir. Bu koşulda ıslatılan alan yüzdesi;

$$P = 100\ \frac{nS_ç^2}{S_a\, S_s}$$

eşitliği ile hesaplanır.
Eşitlikte,
P = Islatılan alan yüzdesi, %
n = Bir ağaca düşen damlatıcı çıkış sayısı, adet
Sç = Su çıkış noktası aralığı, m
Sa = Sıra üzerinde ağaç aralığı, m
Ss = Ağaç sıra aralığı, m dir.

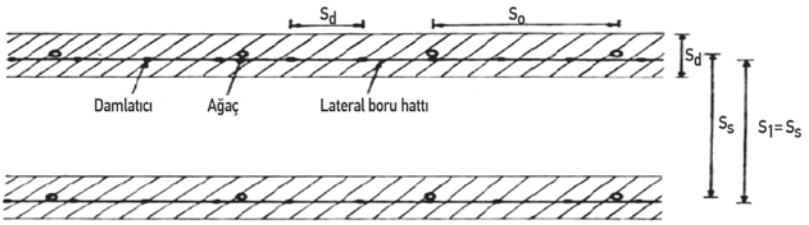
Dikim aralıkları geniş olgun meyve ağaçlarında diğer bir lateral tertip biçimi de, her ağaç sırasına bir lateral boru hattı döşemek ve her ağacın gövdesinin etrafına daire biçiminde daha küçük çaplı bir boru hattı yerleştirmektir. Damlatıcılar bu boru hattı üzerinde bulunur. Buna salkım tertip biçimi denir (Şekil 4.24 d). Böylece, her ağacın altında daire biçiminde bir alan ıslatılır. Sıra üzerindeki ağaçlar arasında ve sıralar arasında kuru alan kalabilir.

Salkım tertip biçiminde ıslatılan alan yüzdesi;

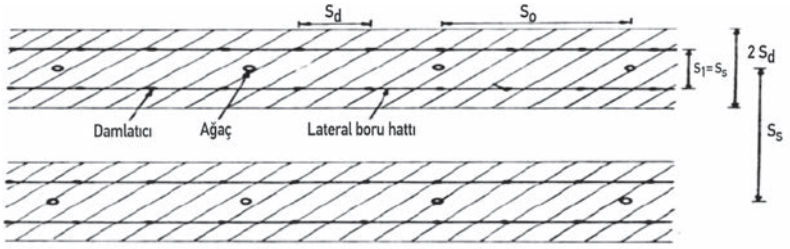
$$P = 100\ \frac{nS_d^2}{S_a\, S_s}$$

eşitliği ile hesaplanır.
Eşitlikte,
P = Islatılan alan yüzdesi, %
n = Bir ağaca düşen damlatıcı çıkış sayısı, adet
Sd = Damlatıcı aralığı, m
Sa = Sıra üzerinde ağaç aralığı, m
Ss = Ağaç sıra aralığı, m dir.

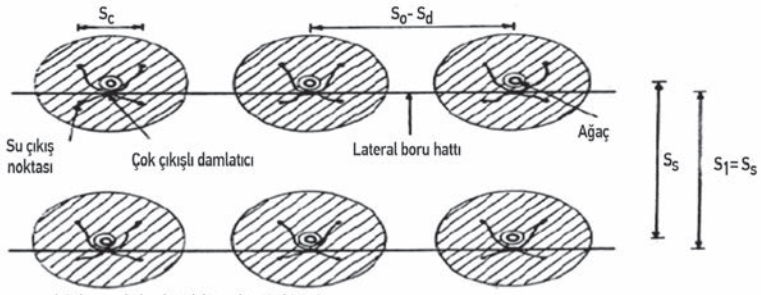
Damla sulama yönteminin uygulandığı alanlarda, ıslatılan alan yüzdesi en az % 30 olmalıdır (P> % 30). Bu değerin altına düşülmesine izin verilmez. Aksi durumda bitki kök bölgesinin tamamının ıslatılamaması sorunun ile karşılaşılabilir. Bu konu özellikle meyve ağaçları için önemlidir.



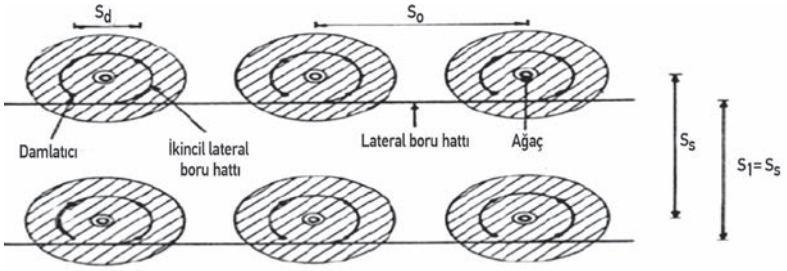
a) Her ağaç sırasına tek lateral tertip biçimi



b) Her ağaç sırasına iki lateral tertip biçimi



c) Çok amaçlı damlatıcılı lateral tertip biçimi



a) Salkım tertip biçimi

4.6.3. Damla Sulama Yönteminin Üstünlükleri ve Uygulanmasını Kısıtlayan Faktörler

Damla sulama yönteminin diğer sulama yöntemlerine olan üstünlükleri şöyle sıralanabilir;

- Arazinin yalnızca belirli bir bölümü ıslatıldığından sulama suyu ihtiyacı azalır ve kısıtlı su kaynağı koşullarında geniş alan sulanabilir.
- Toprağın ıslatılan yüzeyi bitki tarafından gölgelendiğinden toprak yüzeyinden olan buharlaşma, dolayısıyla bitki su tüketimi daha az olur.
- Bitki kök bölgesinde devamlı ve düşük gerilimle tutulan bir nem ortamı sağlandığından bitki topraktan suyu fazla enerji harcamaksızın alır, bu ise ürün artışını sağlayan önemli faktörlerden biridir.
- Bitki besin maddeleri bitkinin ihtiyaç duyduğu zamanda sulama suyu ile birlikte yalnızca bitki köklerinin geliştiği ortama verilir ve gübreden en üst düzeyde yararlanılır.
- Toprakta bulunan tuzlar ıslak şeridin çeperine doğru itilir, dolayısıyla tuzlu topraklarda emniyetle tarım yapılabilir.
- Sulama suyu istenilen miktarda ve en iyi denetimle uygulanabilir, su uygulama randımanı çok yüksektir.
- İşletilmesi kolaydır ve sulama işçiliği minimum düzeydedir.
- Bitkilerin toprak üstü organları ıslatılmadığından bitki hastalıklarının gelişmesi önlenmektedir, yabancı ot kontrolü daha kolaydır.
- Bitki sıraları arasında ıslatılmayan alan kuru alan kaldığından sulama sırasında bile bazı tarımsal işlemler kolaylıkla yapılabilmektedir.
- Yağmurlama sulama yönteminde olduğu gibi yüksek eğimli, dalgalı, hafif bünyeli ya da yüzlek topraklarda emniyetle uygulanabilir.
- İşletme basıncı yağmurlama sulama yöntemine göre daha düşük olduğundan enerji masrafları azdır.

Damla sulama yönteminin değinilen üstünlükleri yanında, bu yöntemin uygulanmasını kısıtlayan bazı etmenlerde vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

- Damla sulama yönteminde en önemli sorun damlatıcıların tıkanmasıdır. Tıkanmaya en çok kum ve silt parçacıkları, organik madde gelişimi ve kimyasal madde birikimi neden olmaktadır. Dolayısıyla, sulama suyunun kontrol biriminde çok iyi süzülmesi ve sistemin belirli aralarla seyreltik asit ile yıkanması gerekmektedir.
- Sulama suyu çok iyi kaliteli olsa bile bir miktar tuz içerir. Ayrıca toprakta da tuz vardır. Damla sulamada bu tuzlar suyun hareketi ile ıslak hacmin çeperine doğru taşınırlar ve burada birikirler. Değinilen tuzlar genellikle kış yağışları ile alt katlara yıkanırlar. Ancak, yıllık yağışın 300 mm'nin altında olan yörelerde bu yıkanma yetersiz kalabilir ve biriken tuzların kök bölgesinin altına yıkanması için destekleyici yağmurlama ya da yüzey sulama yöntemlerini uygulamak gerekebilir.
- Damla sulamada ilk tesis masrafları oldukça yüksektir. Ancak, özellikle su kaynağının kısıtlı olması ve ekonomik değeri yüksek bitki tarımının yapılması koşullarında, daha geniş alan sulanabildiğinden ve birim alandan fazla ürün alınabildiğinden genellikle ekonomik olur.

4.6.4. Her Sulamada Uygulanacak Sulama Suyu Miktarı, Sulama Aralığı ve Sulama Süresi

Damla sulama yönteminde her defasında az miktarda sulama suyu sık aralıklarla uygulanır. Her sulamada uygulanacak en fazla net sulama suyu miktarı, kullanılabilir su tutma kapasitesinin yüzde cinsinden ifade edilmesi koşulunda;

$$dn = \frac{(TK\text{-}SN)R_y}{100} Y_t D$$

Ve kullanılabilir su tutma kapasitesinin derinlik cinsinden ifade edilmesi koşulunda;

$$dn_{max} = d_k D_Y R_y \frac{P}{100}$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

Eşitliklerde;
dnmax = Her sulamada uygulanacak en fazla net sulama suyu miktarı, mm
TK = Tarla kapasitesi, %
SN = Solma noktası, %
Ry = Kullanılabilir su tutma kapasitesinin tüketilmesine izin verilen kısmı,
Yt = Toprağın hacim ağırlığı, g/cm3
D = Islatılacak toprak derinliği, mm
P = Islatılacak alan yüzdesi, %
dk = Kullanılabilir su tutma kapasitesi, mm/m değerlerini göstermektedir.
Damla sulama yönteminde genellikle, kullanılabilir su tutma kapasitesinin % 30' u tüketildiğinde sulamaya başlanır (Ry = 0.30). topraktaki nem eksikliğine nispeten dayanıklı bitkilerde bu değer % 40 'a kadar çıkabilir. Ayrıca, (4.19) ya da (4.20) no'lu eşitliklerle hesaplanan değer uygulanabilecek maksimum net sulama suyu miktarını verir. Bu değer planlayıcı ya da uygulayıcı tarafından azaltılabilir. Başka bir deyişle, dn < dnmax olacak biçimde uygulanacak net sulama suyu miktarı saptanır.
Damla sulama yönteminde, bitki sıraları arasında ıslatılmayan kuru alan kaldığından, bu bölgede toprak yüzeyinden buharlaşma pek söz konusu değildir. Dolayısıyla, bu yöntemde bitki su tüketimi, arazi yüzeyinin tamamının ıslatıldığı sulama yöntemlerine oranla daha düşüktür. Damla sulama yönteminde bitki su tüketimi;

eşitliği ile hesaplanır.

$$T = ET \frac{P_s}{85}$$

Eşitlikte;
T = Damla sulama yönteminde bitki su tüketimi, mm/gün
ET = Geleneksel yöntemlerle hesaplanan bitki su tüketimi, mm/gün
Ps = Bitki tarafından gölgelenen alan yüzdesi, % değerlerini göstermektedir.
Damla sulama yönteminde göz önüne alınabilecek en fazla sulama aralığı;

eşitliği ile bulunur.

$$SA_{max} = \frac{dn_{max}}{T}$$

Eşitlikte;
SAmax = Maksimum sulama aralığı, gün
dnmax = Maksimum net sulama suyu miktarı, mm
T = Bitki su tüketimi, mm/gün dür.
Uygulayıcı ya da planlayıcı, bu değeri SA < SAmax olacak biçimde daha düşük alabilir.
Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı;

eşitliği ile bulunur.

$$d_t = \frac{d_n}{E_a}$$

Eşitlikte;
dt = Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm
dn = her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm
Ea = Su uygulama randımanıdır.
Damla sulama yönteminde su uygulama randımanı, işletme biriminin küçük ve laterallerin kısa olduğu sistemlerde % 90, işletme biriminin nispeten büyük ve laterallerin uzun olduğu sistemlerde % 85 alınabilir. Kendinden basınç düzenleyicili damlatıcıların kullanıldığı sistemlerde bu değerler % 5 arttırılabilir.

Damla sulama yönteminde sulama süresi;

$$T_a = \frac{1000 d_t}{q N}$$

eşitliği ile bulunur.
Eşitlikte;
Ta = Sulama süresi, h
dt = Uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm
q = Damlatıcı debisi, L/h
N = Bir dekar alandaki damlatıcı sayısı, adet/da'dır.

4.6.5. Fertigasyon Ve Damla Sulama Sistemlerinde Ortaya Çıkan Sorunlar Ve Çözüm Yolları

Fertigasyon ve dolayısıyla damla sulama sistemlerinde en önemli sorunların başında sistem unsurlarının zamanla katı partiküller, organik bileşikler ve kireçle tıkanmasıdır. Buna bağlı olarak da, gübre dağılım eşdeşliği (uniformitesi veya homojenitesi) de zamanla bozulabilmektedir. Fertigasyonda su ve gübre dağılım eşdeşliğinin düşük olmasının 5 ana nedeni olabilmektedir (Burt, 1998).

1- Yetiştiricilerin yeterli planlama ve projelendirmeme kriterlerine uyulmadan sistem satın almaları ya da sistemler için uygun projelendirme yapılmaması,
2- Yetersiz filtre kullanımı,
3- Kullanılan sistemde (filtreler, borular v .d.) yeterli düzeyde yıkama yapılmaması ve temizlenmemesi,
4- Fertigasyonda kullanılan kimyasalların birbiri ile olan uygunluklarının kontrol edilmeden kullanılması,
5- Uygulamada görünüşte iyi olan sistem parçalarını yeniden kullanmasıdır.

Bu nedenle, mikro sulama ve fertigasyonda başarılı bir uygulama için, uygun bir filtreleme, uygun kimyasal kullanımı (asit,klor gibi), sisteme verilen gübre ve diğer kimyasalların etki ve diğer özelliklerinin bilinerek dikkatli bir şekilde kullanımı ve sistemin periyodik olarak yıkanması gereklidir.

Tıkanma; Damla sulama sistemlerinde katı partiküller ve mikro organizmalar küçük orifisleri ve damlatıcıları tıkarlar. Bundan başka, gübrelerin sistem içinde çökelmesi ise en önemli sorunlardan birisidir. Boru ve damlatıcılardaki mineral tortular (kalıntı) önlem alınmadığı zaman, zamanla birikerek tıkanmalara neden olabilir. Bu depositler (tortu) genellikle kalsiyum ve magnezyum karbonatlar ile demir oksitlerdir. Bunlar sulama suyu Ph'sının 7.0'nin üzerinde olması durumunda meydana gelir.

Fiziksel oluşumlar (Askıda-yüzen katı partiküller)	Kimyasal oluşumlar (çökelme)	Biyolojik oluşumlar (Bakteri ve algler)
İnorganik partiküller Kum Silt kil	Kalsiyum veya Magnezyum Karbonat Kalsiyum Sülfat	Balçık
Organik partiküller Sucul (aquatic) Bitki (fitoplankton /alg) Sucul hayvanlar (zooplankton) Bakteriler	Ağır metal Hidroksitleri, Karbonatları, Silikatları ve sülfitleri Yağ ve diğer Yağlayıcı maddeler Gübreler Fosfatlar Sıvı amonyak Demir, bakır, Çinko ve mangan	Mikrobiyel tortular Demir Kükürt Mangan

Örneğin sulama suyunda kalsiyum konsantrasyonu 100 ppm'in üzerinde ise karşılaşılan en önemli sorunlardan birisi, sistemin bu nedenle tıkanmasıdır. Eğer sulama suyunda kalsiyum konsantrasyonu yüksek ve sisteme de fosfor enjeksiyonu yapılıyorsa, muhtemelen çökelme de artacaktır. Eğer sulama suyunda kalsiyum ve magnezyum yüksek oranda bulunuyorsa, amonyum fosfat enjeksiyonu laterallerin iç duvarlarında, damlatıcılarda ve yağmurlama başlıklarında tortu oluşumuna neden olacaktır. Bu ise sonunda sistemin tamamen tıkanmasına neden olabilecektir.
Sıcaklık ve/veya pH'daki değişim nedeniyle kimi çözeltiler, çökelti oluşturabilmektedir. Boru ve damlatıcı içindeki bu çözelti veya tortular, damlatıcılardan suyun daha az miktarda geçmesine ve zamanla da sistemin tamamen tıkanmasına neden olabilir. Bu nedenle, kalsiyum ve demir çökeltileri, çoğu sular için potansiyel bir sorundur.
Sulama suyunda yapılacak analizler, bikarbonat veya demir konsantrasyonu çökelti oluşumuna neden olup olmayacağı konusunda bir fikir verir. Genel bir kural olarak, 2.0 me/L'den daha yüksek bikarbonat ve 7.5'dan daha yüksek bir pH, muhtemelen kalsiyum çökeltisi oluşturur. Çizelge 4.23'de mikro sulama sistemlerinde meydana gelen tıkanmaları oluşturan fiziksel, kimyasal ve biyolojik oluşumlar verilmiştir.
Bikarbonat çökelmesi nedeniyle sistemlerin tıkanması durumunda, asit reaksiyonlu gübre kullanımı bu kısmı kısmen çözer. Ancak, asitli gübreler metalik bağlantı parçaları ile asbestli-çimento borularına zarar verebilmektedir. Bu nedenle, fertigasyonda periyodik olarak damlatıcılarda tıkanmayı önlemek ve tortuların çözünmesi için asit kullanımı önerilmektedir. Bu amaç için, fosforik asit, sülfürik asit veya hidroklorik asit kullanılabilmektedir. Hidroklorik asit (HCl) ucuz olduğu için yaygın olarak kullanılabilir. Sisteme asit enjeksiyonu ile aynı zamanda alg, bakteri ve balçık tortularını da uzaklaştırmaktadır. Asit enjeksiyonundan sonra sistem dikkatli bir şekilde yıkanmalıdır.

Yıkama ve Filtreleme; Sistemde tıkanmaları önlemek için, sırasıyla, sistemin iyi bir şekilde bakım ve onarım yapılması, sistem unsurlarının zaman zaman yıkanarak temizlenmesi, filtreleme ve gerekirse kimyasal (asit, klor kullanımı gibi) uygulamalar yapılması gerekir. Yıkama işlemleri için, yıkama vanaları, ana ve ikincil (manifold) boru hatları sonunda olmalıdır. Ayrıca lateral hatları için de bu sağlanmalıdır. Damlatıcı hatlarının sonunda sediment birikimi önleyen vanalar olmalıdır. Böylece filtrelemeye destek verilmiş olunur. Sulama suyunda kil, silt ve biyolojik atıklar son derece yüksekse, otomatik yıkama çok kullanışlıdır. Diğer taraftan, sistem sezon başında, ortasında ve sonunda iyi bir şekilde temizlenmeli ve yıkanmalıdır. Yıkama için sistemde suyun hızı en az 0.3-0.6 m/s (ASAE,1998).
Damla sulama sistemlerinde en önemli aygıtlar, suyun sisteme temiz olarak girmesini sağlayan filtrelerdir. Sulama suyunda istenmeyen organik ve inorganik materyaller filtrelerce tutulur. Bu nedenle, filtreler, sık sık veya belli periyotlarda yıkanmalıdır. Bakım dikkatli bir şekilde yapılmazsa, kum çakıl ve ince- elek filtrelerde 1 atm'e (=10Mss.) yakın su yükü kaybına neden olabilir. Son yıllarda, sulamada otomasyonun gelişimine paralel olarak filtreler, otomatik yıkama yaparlar. Ancak, iyi bir sulama performansı için kontrol ünitesi ve filtreler daima kontrol altında olmalı ve elden geçirilmedir. Elek filtreler, genellikle gübrelerden dolayı tıkanabilirler. Yapışan ya da tortu bırakan gübre artıklarını sistemden uzaklaştırmak ve istenilen oranda ve iyi bir gübreleme ve gerekli akışın sağlanması için elek filtreler her sulamadan önce yıkanmalıdır. Bir damla sulama sisteminde sırasıyla kum ayırıcı (hidrosiklon), kum çakıl filtresi ve gübre tankı ve ince elek ve/veya disk filtre bulunur. İnce elek veya disk filtre gübre ya da kimyasal tankından sonra, diğerleri ise önce yerleştirilir.
Kum ayırıcı (hidrosiklon): Kaynaktan alınan sulama suyunda sudan daha ağır olan kum ve silt olma riski varsa, bu kum ve silt tanelerinin sisteme girmeden tutulması gerekir. Belli bir basınç altında ilerleyen suyun daralma nedeniyle merkezkaç kuvvetinin ekişi ile yapılır. Sulama suyu üst tarafa geniş olan yerden girerek kum taneleri sistemin en altında kalarak, kumdan arınan su merkez kaç kuvveti ile yukarı hareket ederek sisteme verilir.
Kum-Çakıl Filtresi: İçerisinde kum-çakıl bulunur ve suyunda daha çok yüzen cisimlerin (kil, yosun, yabancı ot, yaprak v. b.)tutulması için kullanılır. Paslanmaz metal veya sert plastikten yapılabilir. Manuel veya otomatik olarak geri yıkama ile zaman zaman temizlenmelidir.
İnce-Elek veya Disk Filtre: Genel olarak gübre tankından sonra sistemde yer alır. Hem kum çakıl tankından

hem de gübre tankından gelebilecek, hidrosiklon vekum-çakıl filtresinde tutulamayan gübre tortusunu tutmak için mutlaka disk veya elek filtreler kullanılır. Genellikle 80-200mesh arasında değişen elek filtre kullanılır. Çok yaygın kullanılanlar ise 120-160mesh arasındadır.

*** Tıkanmayı Önlemek veya Gidermek İçin Kullanılan Kimyasallar**

1- Asit Uygulaması; Asit uygulamaları, çözünmeyen depositleri ve kimyasal çözeltileri (tortu) azaltmak için kullanılır. Asit uygulaması, organik materyallerin sedimentleşmesine karşı etkili değildir. Asitler, çok aşındırıcı ve zararlı olabilmektedir. Bu nedenle metalik parçalara, yapıştırılmış yerlere ya da asbestli yapıştırıcı olan yerlere temas ettirilmemelidir. Bu nedenle, zorunlu olmadıkça kullanılmamalı ya da kullanımında çok dikkatli olunmalıdır. Tıkanmaları önlemek için en uygun yol, periyodik olarak sisteme 45-60 dakika süresince asit uygulanmasıdır. Yaygın olarak fosforik asit (aynı zamanda toprağa fosfor da sağlar), sülfürik asit, hidroklorik asit ve nitrik asit kullanılmaktadır. Bunların seçimini ise, maliyeti, mevcut suyun kalitesi, tıkanmanın durumu ve bitkilerin besin ihtiyaçları (örneğin fosfor) göz önüne alınmalıdır.

Sisteme uygulanacak asit miktarının belirlenmesinde, asitin kuvveti, sulama suyunun tamponlama kapasitesi ve tortuları çözmek için sulama suyu pH'sının bilinmesi gerekir. Mevcut sulama suyu pH'sını istenen pH'ya düşürmek için titrasyon testi yapılarak bu belirlenebilir. Bunun için, hacmi belli bir kap, sulama suyu, kullanılacak asit, pipet ve bir pH metre gereklidir. Örneğin hacmi 10 L olan ve içinde kullanılan sulama suyu bulunan kaba kullanılacak olan asitten yaklaşık 1-3 ml ilave edilerek karıştırılır. Sonra pH metre kullanılarak pH ölçülür.Bu şekilde kaptaki sulama suyu pH'sı istenen pH'ya gelinceye kadar (Örneğin sistemde 45-60 dakika süresince asit uygulanması yapılması hedefleniyorsa sulama suyu pH'sı 4.0-5.0 olması yeterlidir) işlem devam ettirilir. Böylece mevcut hacimdeki sulama suyuna ne miktarda ve/veya hacimde asit kullanılacağı tespit edilmiş olur. Bu uygulama, sulama süresince yapılacağı için boru ve damlatıcılarda tortu birikimi engellenmiş olur. Buradan hareketle sisteme ne kadar veya hangi hızda asit uygulanacağı belirlenebilir.

Örneğin, titrasyon yönetimi ile, 100 L hacmindeki bir kapta bulunan sulama suyunun Ph'sının 4.5'e (sulama sisteminde tortuların oluşmaması için sulama suyunda pH düzeyi) düşürülmesi için 10 ml fosforik asit kullanılmıştır. Sistem debisi de 10 L/s'dir. Buna göre kullanılması gereken asit uygulama hızı ne olacaktır.

100 L sulama suyu için 10 ml fosforik asit kullanıldığına göre, 10 ml/100 L = 0,10 ml asit/L sulama suyu elde edilir. Burada 0,10 ml/L/s = 1 ml/s asit uygulama hızı bulunur. Bunun anlamı 10 L/s debisi olan sulama sisteminde 1 ml/s hızda fosforik asit uygulanırsa sulama suyunun pH' ı yaklaşık 4,5 olacaktır. Buradan 60 ml/dak. Veya 3600 ml/h = 3,6 L/h asit uygulanacağı sonucu çıkar. Eğer 45 dakika uygulama yapılacaksa, 45/60 x 3,6 = 2,7 L fosforik asit gerekli olduğu hesaplanır.

Öte yandan, örneğin kireç tortusunun giderilmesi için, yani şok uygulamalarda ise, önerilen asit miktarı, genellikle % 33 lük hidroklorik asitin % 0,6 düzeyinde uygulanmasıdır. Uygulama süresi 10 – 15 dakika olması yeterlidir. Burada yüksek asitlik uygulanarak birikmiş tortular çözülür. Devamlı düşük konsantrasyonda asit uygulamasında ise tortu birikimi engellenmiş olur.

Sonuç olarak, bikarbonatı çözmenin yolu sisteme asit uygulanmasıdır. Fazla bikarbonatı elemine etmek için ucuz ve yeterli konsantrasyonda bir asir seçmek gerekir. Buna karşın, sulama suyu pH 5,5 – 7,0 arasında ise sulama suyundaki fazla bikarbonat miktarı elemine edilir. Yeteri oranda düşük bir pH için sistem kapasitesinin % 0,02 – 0,2 arasında asit uygulanması önerilir.

Sülfirik asit (H_2SO_4) uygulaması daha hızlı ve üniform bir şekilde nispi olarak bitki kök bölgesinin asitliğini artırabilir. Ancak bu asidin uygulanması için özel, küçük tarlalar için ekonomik olmayan ekipmanlar gerekir. Üre-sülfürik asit ile toprağa N, fosforik asit uygulanmasında da aynı zamanda toprağa P uygulanır. Genel bir kural olarak, fosforik asit üre-sülfürik asitten oldukça pahalıdır. Sülfürik veya fosforik asit uygulaması özel ekipman gerektirir. Üre-sülfürik asit, üre ile tamponlanır ve ekipman kullanımını fazla hızlandırmaz. Genel olarak, üre-sülfürik asit plastik materyallerde iyi çalışır.

Sisteme asit uygulamasından sonra sistem mutlaka mevcut sulama suyu ile iyi bir şekilde yıkanmalıdır.

Daha önce belirtildiği gibi, damla sulama sistemlerinde en büyük problem boru ve damlatıcıların tıkanmasıdır. Bu nedenle, bunu önlemek zaman zaman asit ve klor uygulanması gerekir. Bu kimyasalların ne kadar ve nasıl uygulanacağını tespit etmek için öncelikle kimyasalların sisteme giriş hızını (yâda enjeksiyon hızının) bilinmesi gerekir. Bu ise aşağıda verilen eşitlik yardımıyla bulunabilir (Keller ve Bleisner, 1990).

$$q_c = K \frac{u.Q_s}{c^1}$$

Eşitlikte;
qc = Uygulanan kimyasalın sisteme giriş hızı, L/h
K = Dönüşüm katsayısı, 3,6 x 10-3
u = Sulama suyundaki kimyasalın istenen miktarı, ppm veya mg/L
Qs = Sulama sistemi kapasitesi – debisi, L/s
c' = Sıvı kimyasal çözeltideki (stok-tankta) istenen kimyasalın (bileşiğin) konsantrasyonu, kg/L veya yüzdelik değeri

Örnek Asit uygulama hesabı:
Sulamanın son 15 dakikasında boru ve damlatıcılarda biriken kireci çözmek için HCl kullanılacaktır. Bunun için, sulama suyundaki HCl miktarının % 0,5 (= 5000 ppm) olması istenmektedir. Kullanılacak asit yoğunluğu d= 1.1 g/cm3 olan % 20 lik HCl olacaktır. Sistem debisi 5 L/s dir. Buna göre asit uygulama hızını ve gerekli asit miktarının bulunuz.
Çözüm:

$$q_c = K \frac{u.Q_s}{c^1}$$

c'= 1.1 x 0.20 = 0.22

Asit uygulama hızı

$$q_c = K \frac{u.Q_s}{c^1} = 3.6 \times 10\text{-}3 \quad \frac{5000.S}{0.22} = 409 \text{ L/h} = 6.8 \text{ L/dak.} = 113.6 \text{ ml/s}$$

Gerekli olan asit miktarı:
Asit konulacak tank 100 L olup, asit tankından sisteme asit giriş hızı ile sistem debisi arasındaki oran gereklidir. Sistem debisi 5 L/s ve asit uygulama hızı ise 409 L/h dir. Buna göre, 5 L/s = 18 000 L/h olduğuna göre 18 000 / 409 = 44 dür. Bunun anlamı sulama sisteminden sulama suyu 44 birim verilirken asit tankından ise ancak 1 birim asit uygulanmaktadır. Yani bu oran 1/44 dür. Buna göre gerekli olan asit miktarı aşağıda verildiği şekilde hesaplanabilir.

% 5 lik HCl (= 5 000 ppm = 5 x 10-3 kg/L)

$$= \frac{x}{100} \times \frac{20}{100} \times 1.1 \frac{1}{44}$$

X = 100 L
Bu asitten 100 L alınır ve yukarıda verilen sistem özelliklerine, yani 409 L/h asit uygulamasına göre, 15 dakikada yaklaşık olarak 100 L uygulanmış olacaktır. Bu durumda 15 dakika süresince sulama suyundaki HCl düzeyi % 0.5 veya 5 000 ppm olacaktır.
Klor Uygulaması; Sulama suyundaki bakteriler tarafından oluşturulan alg ve balçık gibi organik maddeler, boru ve damlatıcılarda tıkanmalara neden olur. Bunlar klorlama yapılarak önlenebilir. Bu durumda genellikle sulama süresince sulama suyunda 1 ppm veya sulamanın son 20 dakikasında 10 – 20 ppm arasında klor uygulanması

önerilir. Daha fazla tıkanmalarda ise kısa süreli daha yüksek konsantrasyonda (100 – 200 ppm gibi) şok uygulama şeklinde yapılabilir. (Wheeler ve Brown, 2001).
Klorlamada, sıvı sodyum hipoklorür (Na (OC)) en sık kullanılan kimyasaldır. Kalsiyum hipoklorür (Ca (OCl2)) yüzme havuzlarında kullanılır ancak sulama sistemlerinde kullanılması tortu oluşturma riski (sulama suyu pH'ını yükseltmesi) nedeniyle önerilmez.
Öte yandan, eğer sulama suyunda 0.3 ppm kadar demir olsa bile damla sulama sistemlerinde çökelti oluşturabilir. Kimyasal bir uygulama olarak, klor ilavesi ile demir oksidasyonu sağlanabilir. Bu nedenle demir ve diğer organik bileşikler için sulama suyuna 1-2 ppm klorürün 30 – 60 dakika uygulanması önerilir.
Bir fosfat şelatı ile demirin şelatlanması da demir çökelmesinin önleyebilir. Eğer demir 10 ppm'den fazla ise mekanik bir araçla sulama suyu havalandırılarak oksidasyon sağlanmalıdır. Genel olarak farklı organik maddeler ve demir çökelmesini önlemek için aşağıda verilen klor dozlarının uygulanması, Keller ve Bleisner (1990) tarafından aşağıda verildiği şekilde önerilmiştir.
Alg (yosun) için sulama sistemlerinde, sulama süresince sulama suyunda 1 ppm klor bulunması veya sulamanın son 20 dakikasında 20 ppm klor bulunması, Hidrojen sülfür için, hidrojen sülfürün 3.6 – 8.4 katı klor kullanılması, Demir bakterileri için, sulama suyundaki mevcut demir miktarından 1 ppm fazlası klor kullanılması, Demir çökelmesinin önlemek için, laterallerin sonunda 1 ppm serbest klorun bulunması için Fe+2 içeriğinin 0.64 katı klor kullanılması, Mangan çökelmesini önlemek için, sulama suyundaki Mn içeriğinin 1.3 katı klor kullanılması, Diğer balçık gibi oluşumları önlemek için de lateralin sonunda 1 ppm klor olacak şekilde klor uygulaması önerilir.
Öte yandan, sulama suyunun pH'ının farklı düzeyleri, klorun biyolojik aktivitesi üzerine de farklı etkisi vardır. Hipoklorik asit (HOCl), hipoklorür iyonundan (OCl-) 80 kez daha etkilidir. pH = 5 düzeyinde klorun % 90'nından fazlası HOCl olarak bulunur. pH = 7 de ise, bu oran % 60, pH = 7.5 da ise % 40'dır. Bu açıklamalar ışığında, sulama suyunun pH'ı yükseldikçe klorun etkinliği azalır. Bu nedenle, sulama suyuna klor ilave edilirken, sulama suyunun pH'ını düşürmek için asit ilave edilir. Ancak, hiçbir zaman klor üzerine asit ilave edilmemelidir. Çünkü öldürücü düzeyde klor gazı oluşur (Wheeler ve Brown, 2001).
Sisteme klor ilave edilmesinde, klorun uygulama hızı ve miktarının tespit edilmesinde eşitlik 9.1 kullanılır. Örnek bir çözüm aşağıda verilmiştir.

Örnek klor uygulama hesabı:
Sulama suyunda 15 ppm klor olması istenmektedir. Sistem kapasitesi 15 L/s olup % 2'lik sodyum hipoklorür kullanılacaktır. Buna göre klor uygulama hızı nedir?
Çözüm:

$$q_c = K\frac{u.Q_s}{c^1}$$ = 3.6 x 10-3 ((15 x 15) / 0.12 = 7 L/h klor uygulama hızı bulunur.

Klor uygulama hızı 8 L/h olan bir sistemde, sulama suyu debisi 12 L/s'dir. % 12'lik sodyum hipoklorür kullanılacaktır. Buna göre sulama suyundaki klor düzeyi nedir ?
Çözüm:

$$q_c = K\frac{u.Q_s}{c^1}$$

bu eşitlikten u değeri çekildiğinde ve değerler yerine konulduğunda sonuç u = 22 ppm olacaktır.

- **Fertigasyonda Uyulması Gereken Önemli Hususlar**

* Fertigasyonda gübre ve diğer kimyasalların etkin ve doğru bir şekilde uygulanabilmesi için, aşağıda verilen bilgilere göre hareket edilmesi son derece önemlidir (Burt, 1998).

* Kimyasalların sisteme verilmesi (enjeksiyonu) mutlaka ince filtreden önce olmalıdır. Ancak kuvvetli asit veya çok düşük pH koşullarında filtrenin zarar görmemesi için filtreden sonra olabilir.
* Kimyasalların iyi karışması için uygulanan kimyasallar sisteme giriş borusunun merkezine enjekte edilmelidir.
* Katı, suda eriyebilen gübreler için, iyi bir karıştırma için çözelti kabının en fazla % 50-75'i gübre ile doldurulmalıdır.
* Gübre tankına katı, eriyebilen gübre ilave etmeden önce daima karıştırma kabının içindeki suya sıvı gübre ilavesi yapılmalıdır. (İlave edilecek sıvı, katı gübrelerin solüsyonu soğutma karakteristiklerine sahip olması için bir miktar ısı sağlar.)
* Çözünebilir veya çözünmeyen büyük oluşumları önlemek için gübre tankına gübre karışımları yavaş yavaş ilave edilmelidir.
* Sulama sisteminde gübre miktarı en fazla 5 g/L olmalıdır.
* Asit kullanımında, asit suya ilave edilmeli, ancak asite su ilave edilmemelidir.
* Klor gazı ile klorlama yaparken, daima klor suya ilave edilmelidir.
* Asla bir asidi ya da asitli gübre klor ile karıştırılmamalıdır. Asit ve klor aynı oda içinde saklanmamalıdır.
* Herhangi bir asit ile anhidrik amonyak veya sıvı amonyak karıştırılmamalıdır, oluşacak reaksiyon çok şiddetli ve ani olur.
* Konsantre bir gübre solüsyonu diğer bir konsantre gübre solüsyonu ile karıştırılmamalıdır.
* Kalsiyum içeren bir bileşik ile sülfat içeren bir bileşik karıştırılmamalıdır. Çünkü sonuçta çözünmeyen jips karışımı oluşacaktır.
* Gübrelerin birbiri ile kullanımının uyumlu olup olmadığı ve çözünürlüğü konusundaki bilgiler sağlanmalı ve kontrol edildikten sonra kullanılmalıdır.
* Kullanılan kimyasallar çok düşük oranda ise ve kimyasalların birbiri ile bağdaşmaması durumunda, kullanılan gübrelerin bir yararı olmayacaktır.
* Mümkün olduğunca, fosfat içeren gübreler ile kalsiyum içeren gübreler birlikte kullanılmamalıdır.
* Çok sert sular (nispi olarak kalsiyum ve magnezyum içeriği yüksek sular) kullanılmamalıdır. Çünkü sert sular fosfat, nötral fosfat ve sülfat bileşiklerini çözünmeyen hale dönüştürür.
* Kimyasal enjeksiyon sistemlerinde geriye dönüşü önleyen ekipmanlar kullanılmalıdır.
* Su ölçüm aygıtları (su sayaçları) her farklı kimyasal uygulamasında kalibre edilmelidir. Çünkü kimyasalların yoğunluğu ve akıcılığı su ölçüm aygıtlarının okumalarını etkiler.

4.7. Ağaç altı Mikro Yağmurlama Sulama Yöntemi

Ağaç altı yağmurlama sulama yöntemi, meyve bahçelerinin sulanmasında küçük yağmurlama başlıklarından yaygın olarak faydalanılmaktadır. Küçük yağmurlama başlıklarının kullanıldığı yağmurlama sulama yöntemine ağaç altı yağmurlama sulama yöntemi adı verilmektedir. Sistem unsurları, damla sulama sistem unsurları ile aynıdır. Tek fark, damlatıcılar yerine küçük yağmurlama başlıklarının kullanılmasıdır.
Başka bir deyişle, ağaç altı mikro yağmurlama sulama sistemi;

- Pompa birimi,
- Kontrol birimi,
- Ana boru hattı,
- Manifold boru hatları,
- Lateral boru hatları
- Küçük yağmurlama başlıklarından oluşur.

Bu yöntemde, her ağaç sırasına bir lateral hattı döşenir ve lateral boyunca her ağacın altına bir yağmurlama başlığı konur. Ağaç altı mikro yağmurlama sulama yönteminde, işletme basıncı 1 – 2 atm kadardır. Başlık debileri ise 30 – 200 L/h arasında değişmektedir. Bir yağmurlama başlığı, genellikle ağaç tacının izdüşümü kadar bir alanı ıslatır. Bu nedenle, gerek sıra üzerindeki gerekse ağaç sıraları arasında ıslatılmayan kuru bir alan kalabilir. Bu yöntemde, başlık aralığı sıra üzerindeki ağaç aralığına, lateral aralığı ise ağaç sıra aralığına eşittir.

Meyve ağaçları sulanmasında kullanılan küçük yağmurlama başlıkları döner tipte olduğu gibi, sabit tipte de olabilir. Küçük yağmurlama başlıkları üreten her kuruluş, başlık teknik özelliklerini belirten bir çizelgeyi planlayıcı ya da uygulayıcıya vermekle yükümlüdür. Bu teknik çizelgede; optimum işletme basınçları, başlık debileri, ıslatma çapları ve yağmurlama hızı değerleri yer alır. Sistemin planlanması ve işletilmesi bu değerlere göre yapılır.
Küçük yağmurlama başlıklarında ortalama yağmurlama hızı;

$$I_y = \frac{4q}{\pi D^2}$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;
Iy = Yağmurlama hızı, mm/h
q = Başlık debisi, L/h
D = Başlık ıslatma çapı,m dir.
Bu değer toprağın su alma hızına eşit veya küçük olmalıdır.Meyve bahçelerinde her ağacın altına bir küçük yağmurlama başlığının yerleştirildiği sistemlerde ıslatılan alan yüzdesi;

$$P = 100\,\frac{\pi D^2}{4S_sS_a}$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;
P = Islatma alan yüzdesi, %
D = Islatma çapı, m
Sa = Sıra üzerinde ağaç aralığı, m
Ss = Ağaç sıra aralığı, m'dir. Islatılan alan yüzdesi % 30'dan az olmamalıdır.

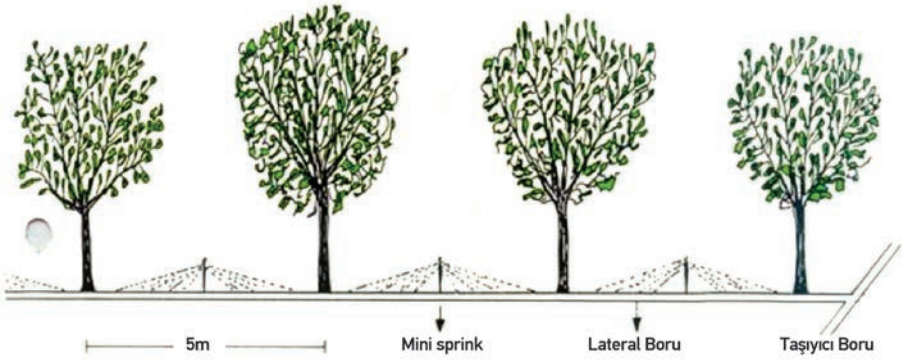
Mikro yağmurlama sulama yönteminde sulama süresi,

$$Ta = \frac{d_t}{I_y}$$

ile hesaplanır. Her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı, sulama aralığı ve bitki su tüketiminin hesaplanması ise damla sulama yönteminde olduğu gibidir. Bu yöntemde genellikle, kullanılabilir su tutma kapasitesinin % 40'ı tüketildiğinde sulamaya başlanır (Ry=0.40) ve su uygulama randımanı ortalama % 70 civarındadır (Ea= 0.70).
Mikro yağmurlama sulama yönteminde, her ağaç sırasına bir lateral ve yağmurlama hızı toprağın su alma hızını geçmeyecek biçimde her ağaç başına bir mikro yağmurlama başlığı yerleştirilmiştir. Mikro yağmurlama sulama yönteminde, ıslatılan alan oranının, nemli bölgelerde en az % 25 ve en çok % 50 olacağı yaklaşımı dikkate alınmalıdır.
Meyve bahçelerinin ağaç altından sulanmasında özel olarak yapılmış küçük yağmurlama başlıkları kullanılmaktadır. Bu sistemde her ağaç sırasına yüzeye serili bir polietilen (PE) lateral boru hattı döşenir ve her ağacın altına özel olarak yapılmış küçük bir yağmurlama başlığı yerleştirilir. Sistem bütünüyle sabit olup, istenirse sulama sezonu sonunda sadece yağmurlama başlıkları toplanır. Bu tip sistemlere ağaç altı mikro yağmurlama sistemi de denilmektedir. Bir yağmurlama başlığı yaklaşık bir ağaç tacının çapı kadar bir alanı ıslatır.

Avantajları: Diğer normal yağmurlama sistemlerinin avantajlarına ilave olarak;

* Bütün su iletim sisteminin gömülü olması nedeniyle zirai faaliyetin engellenmemesi
* Sistemin tümden gömülü olması nedeniyle ömrünün uzun olması kuş ve kemirgenlerden zarar görmemesi
* Metodun ağaç kök gelişimine rahatça ayak uydurabilmesi,
* Normal yağmurlama sistemlerine göre ilk tesis giderlerinin daha az olması,
* Damla sulamaya göre meme delikleri daha büyük olduğu için daha geniş açıklıklı filtreden geçirilerek kullanılabilmesi,
* Damla sulama yöntemine göre daha fazla alan ıslatıldığı için ağacın kök yapısının doğal olarak yayılabilmesi,
* Normal yağmurlama sistemlerinde ağaç tacının sulama sırasında ıslanması nedeniyle meyve ve yapraklarda mantar hastalıklar geliştiği için çoğu zaman kullanılamadığı halde mini springin burada emniyetle kullanılabilmesidir.



4.8. Sızdırma Sulama Yöntemi

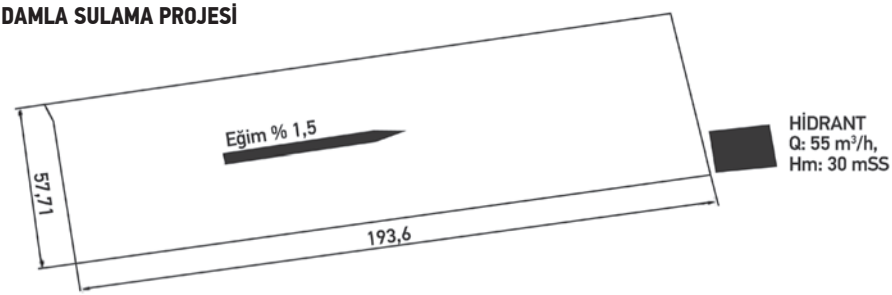
Sızdırma sulama yönteminde su, bitki kök bölgesinde toprak altından sızdırılarak verilir. Bu amaçla, ya taban suyunun kontrol etmek için belirli aralıklarla açılmış derin tarla hendeklerinden yararlanılır, ya da toprak altına düşük basınç altında çalışan delikli ya da geçirgen boru hatları yerleştirilir.
Tarla hendekleri sisteminde, taban suyu belirli derinlikte tutulur. Su, taban suyu seviyesinden itibaren kapilarite ile kök bölgesine yükselir ve böylelikle bitki su ihtiyacı karşılanır. Tarla hendekleri ile sızdırma sulama biçimi çok sınırlıdır ve hemen hemen uygulamadan kalkmıştır.

Basınç altında çalışan delikli ya da geçirgen boru hatları, toprak altına sık aralıklarla ve genellikle yüzlek olacak biçimde yerleştirilirler. Bazıları 1 m gibi oldukça düşük işletme basıncında çalışabilmektedir. Bu boru hatlarından toprağa sızan su, yerçekimi ve kapilaritenin etkisi ile kök bölgesine dağılmaktadır. Gerekli sistem basıncı pompa ya da yüksekçe bir yere kurulan su deposu aracılığıyla sağlanmaktadır. Su dağıtım sistemi, pompa birimi, su deposu, kontrol birimi, ana boru hatları, manifold boru hatları ve lateral boru hatlarından oluşur.
Ana, manifold ve lateral boru hatlarının tamamı toprak altına gömülüdür. Bu nedenle, ilk yatırım masrafları çok yüksektir. Ayrıca, delikli ya da geçirgen özellikte olan lateral boru hatlarının tıkanması önemli sorunlar doğurmaktadır. Dolayısıyla basınçlı sızdırma sulama yöntemi uygulamada çok ender olarak özel koşullarda kullanılmaktadır.

ÖRNEK PROJELER

Damla Sulama Örnek Projeler

ÖRNEK PROJE 1:
DAMLA SULAMA PROJESİ



PAMUK (Şanlıurfa-Merkez)

Alan	: 10 da
Toprak Bünye Sınıfı	: Killi Tın
Pamuk Dikim Aralıkları	: Ss x Sa = 0.70 x 0.15 m
Maksimum Bitki Su Tüketimi	: E.T= 6.7 mm/gün
Mevsimlik Toplam Sulama Suyu Gereksinimi	: 1480 mm/mevsim
Toplam Sulama Suyu Miktarı	: 1036 mm
Hidrant (kanalet) Debisi	: Q = 12 L/s
Sulama Suyu Kalite Sınıfı	: C2 S1
Kullanılabilir Su Tutma Kapasitesi	: dk= 180 mm/m
Su Alma Hızı	: I = 13 mm/h
Etkili kök derinliği	: 90 cm

CROPWAT yazılımında Penman - Monteith yöntemi ile hesaplanan aylık bitki su tüketimi değerleri;

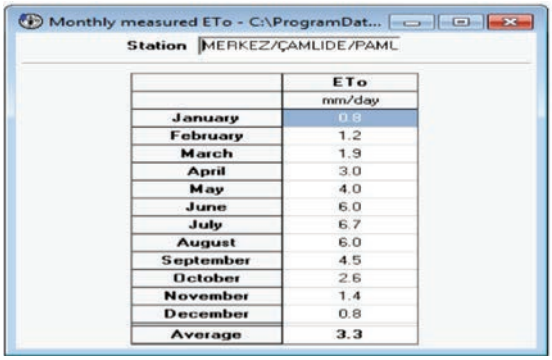
Monthly ETo Penman-Monteith - C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\ŞANLIURFA\MER...

Country: TÜRKİYE — Station: ŞANLIURFA/MERKEZ

Altitude: 474 m. — Latitude: 37.15 °N — Longitude: 39.05 °E

Month	Avg Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	%	m/s	hours	MJ/m²/day	mm/day
January	5.8	71	0.9	4.1	7.8	0.85
February	7.1	67	1.0	5.0	10.6	1.23
March	11.1	62	1.1	6.2	14.8	2.04
April	16.3	58	1.2	7.7	19.3	3.19
May	22.5	47	1.3	9.6	23.6	4.71
June	28.4	36	1.6	11.4	26.8	6.39
July	32.2	33	1.7	11.7	26.8	7.14
August	31.4	37	1.5	11.4	24.9	6.44
September	26.9	40	1.3	10.1	20.5	4.82
October	20.3	49	0.9	8.2	14.8	2.81
November	12.6	62	0.9	6.0	9.9	1.49
December	7.5	71	0.8	4.2	7.3	0.86
Average	18.5	53	1.2	8.0	17.3	3.50

CROPWAT yazılımında Penman - Monteith yöntemi ile damla sulama yöntemine uygun olarak hesaplanan aylık bitki su tüketim değerleri;



	ETo mm/day
January	0.8
February	1.2
March	1.9
April	3.0
May	4.0
June	6.0
July	6.7
August	6.0
September	4.5
October	2.6
November	1.4
December	0.8
Average	3.3

İşlem Basamakları:

1-İşletme Basıncı:

Basınç pompa ile sağlandığından ho = 1.0 atm alınmıştır.

2-Seçenek Damlatıcı Debileri:

1.0 atm işletme basıncında seçenek damlatıcı debileri (piyasa koşullarına uygun)

q = 1.2 L/h

q = 2.0 L/h

q = 4.0 L/h

3-Seçenek Damlatıcı Debilerinde Damlatıcı Aralıkları:

q = 1.2 L/h için ; Sd = 0,9x √q/l

Sd = 0,9 x√ 1.2/13 = 0,27 m (piyasada bulunmadığından 0,30 m olarak alınmıştır)

q = 2.0 L/h için ; Sd = 0,9x √q/l

Sd = 0,9 x√ 2.0/13 = 0.35 m (piyasada bulunmadığından 0,40 m olarak alınmıştır)

q = 4.0 L/h için ; Sd = 0,9x √q/l

Sd = 0,9 x√ 4.0/13 = 0.49 m (piyasada bulunmadığından 0,50 m olarak alınmıştır)

4-Islatılan Alan Oranı:

P = k x (Sd /Sl) k = 1.0 alınır.

q = 1.2 L/h için P = 1.0 (0.30 / 0.70)= 0.43 = % 43

q = 2.0 L/h için P = 1.0 (0.40 / 0.70)= 0.57 = % 57

q = 4.0 L/h için P = 1.0 (0.50 / 0.70)= 0.71 = % 71

P ≥ 0,30 olmalıdır. Bu damlatıcılardan 1.2 L/h, 2.0 L/h ve 4.0 L/h olan damlatıcılar uygun ıslatma alanını sağlamaktadır. Ancak sistem maliyetini artırmamak için 2.0 L/h debiye sahip damlatıcılar seçilmiştir.

4-Uygun Damlatıcı Debisi:

q = 2.0 L/h damlatıcı debisi uygun görülmüştür.

Bu projede, 1.0 atm işletme basıncında 2.0 L/h debiye sahip damlatıcı seçilmiştir.

İki lateral arasındaki uzaklık;

Sl = k x Sd = 1.0 x 0.70 = 0.70 m dir.

ÖN PROJELEME FAKTÖRLERİ

Damlatıcı debisi : 2.0 L/h

Damlatıcı aralığı (Sd) : 0.40 m

Lateral Aralığı : 0.70 m
Islatılan alan oranı (P) : 0.57

Sulama ile ıslatılacak toprak derinliği:

Etkili kök derinliği, etkili toprak derinliğine eşit alınmıştır.

D = 90 cm = 0.90 m

Sistem Tertibi:

Lateral boru hatları tesviye eğrilerine paralel ya da bayır aşağı eğimde olmalıdır. Manifold boru hatları laterallere dik, eğimsiz ya da bayır aşağı olmalıdır. Ana boru hatları, olanaklar ölçüsünde parsel sınırından geçirilir.

1) Lateral Boru Çapı:

a) Lateral uzunluğu, Ll = 98 m

b) Lateral üzerindeki damlatıcı sayısı

n_d = Ll = 98 / 0.40 = 245 adet

c) Lateral Debisi

Q_l =nd x q = 245 x 2.0 = 490 L/h

d) Lateral Eğimi

S_l = % 1.5 (bayır aşağı) Eo = 0.662 ve Lo= 0.288

e) İşletme Basıncı

ho = 1.0 atm =10 m

f) Lateral boru hattının 4 atm işletme basınçlı PE damla sulama borularından tasarlanmasına karar verilmiştir.

g) Lateral Boru Çapı

Williams Hazen'e göre 1.0 işletme basıncında 2.83 m yük kaybı ve 0.60 m/s akış hızı ile 20 mm çapında lateral boru seçilmiştir.

14) Lateral Giriş Basıncı

H_l = h0 + E0 x hfl – L0 x hgl

H_l = 10 + 0.662 x 2.83 - 0.288 (0.015 x 98)

H_l = 11.45 m

15) Manifold Boru Çapı

a) Manifold Uzunluğu

Lm = 60 m

b) Manifold üzerindeki lateral sayısı

nl = 86 adet

c) Manifold debisi

Qm= nl . q = 86 x 490 = 42 140 L/h

d) Manifold eğimi

Sm = % 0 (eğimsiz) Eo = 0.738 ve Lo= 0.370

e) Lateral giriş basıncı

Hl = 11.45 m

f) Manifold boru hatlarının 6 atm işletme basınçlı sert PE borulardan oluşturulması gerekmektedir.

g) Manifold Boru Çapı

William Hazen'e göre manifold boru çapları 1.42 m yük kaybı ve ortalama 1.59 m/s akış hızı olduğu koşullar için boru çapları aşağıda görüldüğü şekilde seçilmiştir.

Ø 110/6 – 60 m

Manifold boru hatları 6 atm işletme basınçlı PE borulardan oluşturulacaktır.

Manifold giriş basıncı

$H_m = H_l + E_0 \times h_{fl} - L0 \times h_{gl}$

= 11.45 + 0.738 x (1.42) + 0.370 x (60 x 0.0)

= 12.50 m

16) Ana Boru Çapı
a) Ana Boru Uzunluğu
La = 194 m
b) Ana boru üzerindeki manifold sayısı
n_a = 1 adet
c) Ana Boru debisi
Qa= Qm x 1 = 42.14 L/h
Hm = 12.50 m % 1.5 (Bayır yukarı) Eo = 0.717 ve Lo= 0.362
d) Ana boru hatlarının 6 atm işletme basınçlı sert PE borulardan oluşturulması gerekmektedir.
e) Ana Boru Çapı
William Hazen'e göre ana boru çapları 18.90 m işletme basıncında 4.45 m yük kaybı ve 1.59 m/s akış hızı olduğu koşullar için boru çapı aşağıda görüldüğü şekilde seçilmiştir.
Ø 110/6 – 194 m
f) Ana Boru giriş basıncı
Ha $= H_m + E_o \times h_{fl} - L_o \times h_{gl}$
$= 12.50 + 0.717 \times 4.45 + 0.362 \times (194 \times 0.015)$
$= 16.74$ m
g) Ana boruda istenen basınç
Ha = Hm + hy = 16.74 + 0.26 = 17 m.
h) Sistem debisi
Q = Q m = 42.14 m^3/h = 11.7 L/s

KONTROL BİRİMİ UNSURLARI
Su kaynağı açık kanaldan borulu sistem ile hidrant olduğundan dolayı sulama suyunda yosun ve asılı maddeler ayrıca kum olacaktır. Bu nedenle kontrol birimi unsurları şunlardır;

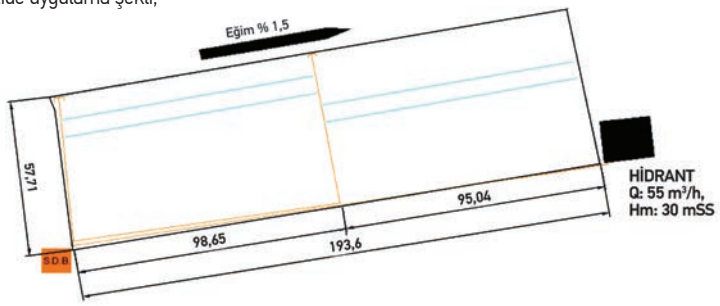
Yosun (Graver) Filtre
Disk Filtre
Gübre tankı

GÜBRE TANKI :
V = (F. A)/ C
Tasarım aşamasında F = 3,5 kg/da , C = 0,5 kg/l alınır.
V = 70 L

YOSUN FİLTRE : Yük kayıpları 0.95 m
DİSK FİLTRE : Yük kayıpları 0.18 m
BAĞLANTI ELEMANLARI : 0.97 m
POMPA ÇIKIŞ BASINCI : Hh = Ha +Hf = 17 + 0.95+0.18+0.97= 20.10 m.
MANOMETRİK YÜKSEKLİK : Hm = Hh + Hde= 20.1 + 1 = 21.10 m.

Hidrant Hm = 21.10 m, Q = 11.7 L/s özelliklerindedir.

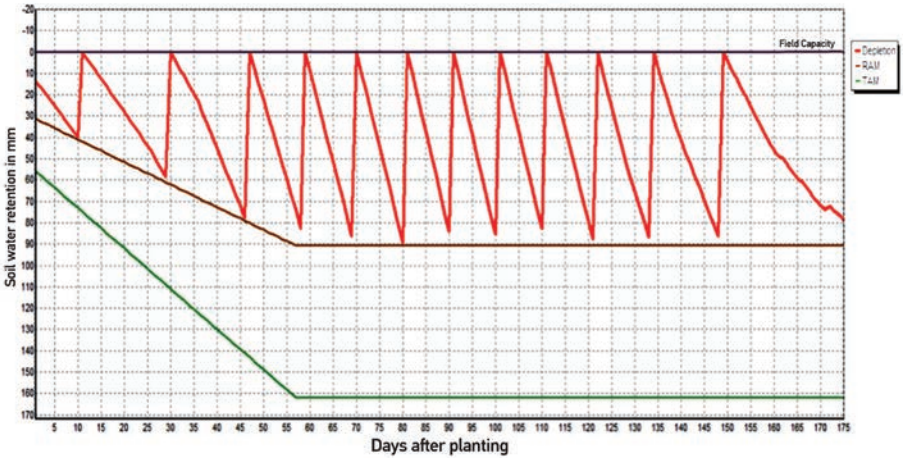
Projenin arazide uygulama şekli;



Projenin malzeme keşif özeti;

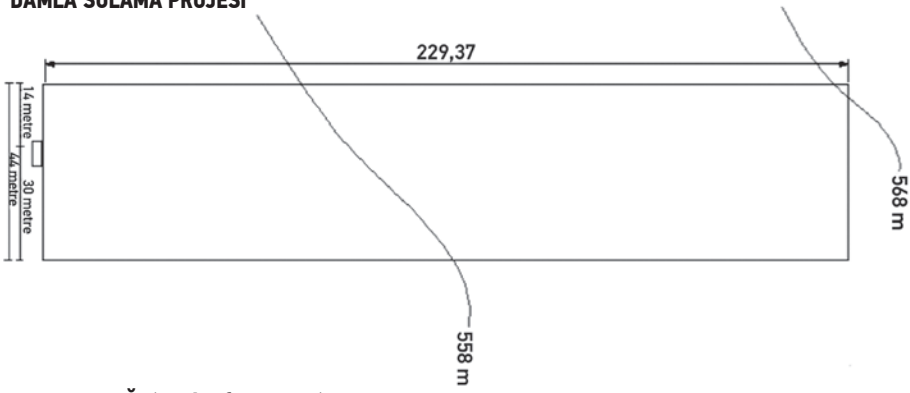
SIRA	MALZEME CİNSİ	MİKTAR	BİRİM
1	(2"X2")4" Tekli Ters Yıkamalı Yosun (Graver) Filtre Ünitesi	1	Adet
2	70 L Gübreleme Ünitesi	1	Adet
3	Ø110 / 4 Atü Pe Mandallı Boru	330	Mt
4	Ø110 / 4 Atü Pe Mandallı Boru Contası	55	Adet
5	Ø110 / 4 Atü (1 Metre) Pe Mandallı Boru	2	Adet
6	20/40/2.0 In-Line Damlama Laterali	14400	Mt
7	110 X 4 " Pe Mandallı Erkek Motopomp	2	Adet
8	Ø 110 Pe Mandallı Dirsek	3	Adet
9	Ø 110 Pe Mandallı Te	2	Adet
10	Ø110 Pe Mandallı Erkek Körtapa	3	Adet
11	Ø 110 Mandallı Hat Vanası	2	Adet
12	20 Mm Nipel	200	Adet
13	20 Mm Tırnaklı Damlama Conta	200	Adet
14	20 Mm Gözlü Körtapa	200	Adet
15	Teflon Bant	15	Adet

Projenin araziye uygulanmasından sonra CROPWAT yazılımında Penman-Monteith yöntemiyle hesaplanan Sulama Zaman Planlaması (SZP) ve takip formu;



Tarih	Gün	Dönem	Net Sul. Suyu Mik.(mm)
25.Nis	11	Başlangıç	42,7
14.May	30	Çiçeklenme	62,3
31.May	47	Çiçeklenme	83,1
12.Haz	59	Koza	91,4
23.Haz	70	Koza	94,9
04.Tem	81	Koza	99,0
14.Tem	91	Koza	93,9
24.Tem	101	Koza	94,9
03.Ağu	111	Koza	91,5
14.Ağu	122	Koza	96,2
26.Ağu	134	Olgunlaşma	94,1
10.Eyl	149	Olgunlaşma	92,1
		Toplam	**1036,1**

ÖRNEK PROJE 2
DAMLA SULAMA PROJESİ



ANTEP FISTIĞI (Şanlıurfa-Bozova)

Alan	: 10 da
Toprak Bünye Sınıfı	: Killi Tın
Dikim Aralıkları	: Ss x Sa = 7.0 x 7.0 m
Maksimum Bitki Su Tüketimi	: ET= 4.6 mm/gün
Mevsimlik Toplam Sulama Suyu Gereksinimi	: 794 mm/mevsim
Toplam Sulama Suyu Miktarı	: 556 mm
Hidrant Debisi	: Q = 7 L/s
Kullanılabilir Su Tutma Kapasitesi	: dk= 160 mm/m
Su Alma Hızı	: I = 7 mm/h
Etkili kök derinliği	:120 cm

CROPWAT yazılımında Penman - Monteith yöntemi ile hesaplanan aylık bitki su tüketimi değerleri;

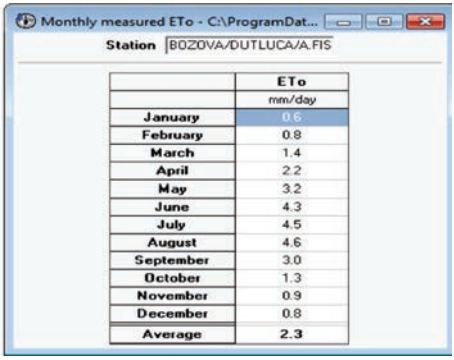
Monthly ETo Penman-Monteith - C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\ŞANLIURFA\BOZ...

Country: TÜRKİYE — Station: ŞANLIURFA/BOZOVA

Altitude: 542 m. — Latitude: 37.45 °N — Longitude: 38.35 °E

Month	Avg Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	%	m/s	hours	MJ/m²/day	mm/day
January	3.5	60	0.5	4.1	7.8	0.78
February	5.0	60	0.5	4.4	10.0	1.01
March	9.3	55	0.5	6.0	14.4	1.75
April	13.5	52	0.6	6.9	18.2	2.67
May	18.9	44	0.6	9.5	23.5	3.88
June	24.8	35	0.8	11.5	26.9	5.18
July	28.4	34	0.7	11.8	26.9	5.50
August	28.0	37	0.6	10.7	23.9	4.92
September	22.0	39	0.5	9.6	19.8	3.68
October	8.0	47	0.4	7.0	13.4	1.52
November	17.1	54	0.3	5.8	9.7	1.09
December	9.7	60	0.4	4.4	7.4	0.93
Average	15.7	48	0.5	7.6	16.8	2.74

CROPWAT yazılımında Penman-Monteith yöntemi ile damla sulama yöntemine uygun olarak hesaplanan aylık bitki su tüketim değerleri;


Monthly measured ETo - C:\ProgramDat...

Station BOZOVA/DUTLUCA/A.FIS

	ETo
	mm/day
January	0.6
February	0.8
March	1.4
April	2.2
May	3.2
June	4.3
July	4.5
August	4.6
September	3.0
October	1.3
November	0.9
December	0.8
Average	2.3

İşlem Basamakları:

1-İşletme Basıncı:
Basınç pompa ile sağlandığından h_0 = 1.5 atm alınmıştır.

2-Seçenek Damlatıcı Debileri:
1.5 atm işletme basıncında seçenek damlatıcı debileri (piyasa koşullarına uygun)
q = 2.0 L/h
q = 4.0 L/h
q = 6.0 L/h

3-Seçenek Damlatıcı Debilerinde Damlatıcı Aralıkları:
q = 2.0 L/h için ; Sd = 0,9x √q/l
Sd = 0,9 x√ 2.0/7.0 = 0,48 m (piyasada bulunmadığından 0,50 m olarak alınmıştır)
q = 4.0 L/h için ; Sd = 0,9x √q/l
Sd = 0,9 x√ 4.0/7.0 = 0.68 m (piyasada bulunmadığından 0.60 m olarak alınmıştır)
q = 6.0 L/h için ; Sd = 0,9x √q/l
Sd = 0,9 x√ 6.0/7.0 = 0.83 m (piyasada bulunmadığından 0.90 m olarak alınmıştır)

4-Islatılan Alan Oranı:
P = k x (Sd /Sl) k = 1.2 alınır.
q = 2.0 L/h için P = 0.09 = % 9
q = 4.0 L/h için P = 0.11 = %11
q = 6.0 L/h için P = 0.15 = % 15
P ≥ 0,30 olmalıdır. Bu damlatıcılardan 2.0 L/h, 4.0 L/h ve 6.0 L/h olan damlatıcılar uygun ıslatma alanını sağlamamaktadır. Bu nedenle çift lateral tertip biçimi ile tekrar hesaplanacaktır.
P = 2 x k x (Sd /Sl) k = 1.2 alınır.
q = 2.0 L/h için P = 0.18 = % 18
q = 4.0 L/h için P = 0.22 = % 22
q = 6.0 L/h için P = 0.30 = % 30
P ≥ 0,30 olmalıdır. Bu damlatıcılardan 6.0 L/h olan damlatıcılar uygun ıslatma alanını sağlamaktadır.

4-Uygun Damlatıcı Debisi:
q = 6.0 L/h damlatıcı debsisi uygun görülmüştür.
Bu projede, 1.5 atm işletme basıncında 6.0 L/h debiye sahip damlatıcı seçilmiştir.

ÖN PROJELEME FAKTÖRLERİ

Damlatıcı debisi	: 6.0 L/h
Damlatıcı aralığı (Sd)	: 0.90 m
Lateral Aralığı	: 7.0 m
Islatılan alan oranı (P)	: 0.30

SİSTEM TERTİBİ
Lateral boru hatları tesviye eğrilerine paralel ya da bayır aşağı eğimde olmalıdır. Manifold boru hatları laterallere dik, eğimsiz ya da bayır aşağı olmalıdır. Ana boru hatları, olanaklar ölçüsünde parsel sınırından geçirilir.

1) Lateral Boru Çapı:
a) Lateral uzunluğu, Ll = 77 m
b) Lateral üzerindeki damlatıcı sayısı
nd = Ll = 85 adet
c) Lateral Debisi
Ql =nd x q = 85 x 6.0 = 510 L/h
d) Lateral Eğimi
Sl = % 5.0 (Bayır aşağı) Eo = 0.510 ve Lo= 0.230
e) İşletme Basıncı
ho = 1.5 atm =15 m
f) Lateral boru hattının 4 atm işletme basınçlı PE damla sulama borularından tasarlanmasına karar verilmiştir.
g) Lateral Boru Çapı
Williams Hazen'e göre 1.5 işletme basıncında 7.88 m yük kaybı ve 1.02 m/s akış hızı ile 16 mm çapında lateral boru seçilmiştir.

14) Lateral Giriş Basıncı
Hl = h0 + E0 x hfl – L0 x hgl
Hl = 15 + 0.510 x 7.88 – 0.230 (0.05 x 77)
Hl = 18.13 m

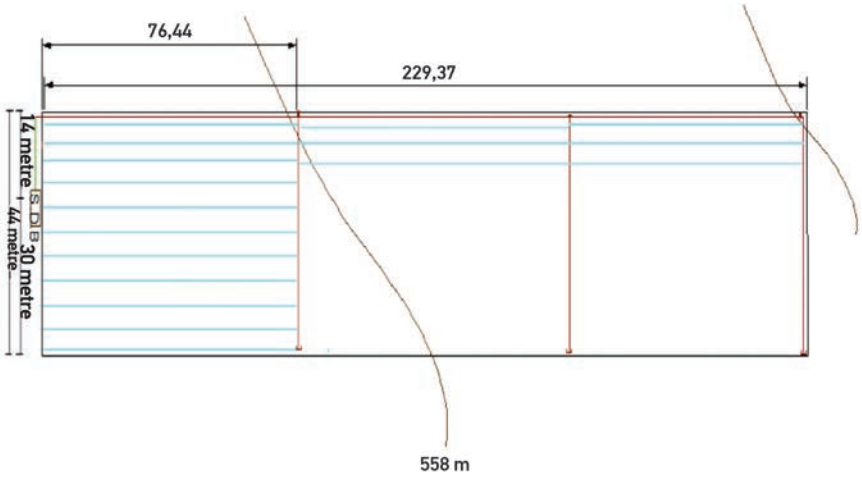
15) Manifold Boru Çapı
a) Manifold Uzunluğu
Lm = 44 m
b) Manifold üzerindeki lateral sayısı
nl = 12 adet
c) Manifold debisi
Qm= nl . q = 12 x 510 = 6 120 L/h
d) Manifold eğimi
Sm = % 1 (bayır aşağı) Eo = 0.675 ve Lo= 0.328
e) Lateral giriş basıncı
Hl = 18.13 m
e) Manifold boru hatlarının 6 atm işletme basınçlı PE borulardan oluşturulması planlanmıştır.
f) Manifold Boru Çapı

William Hazen'e göre manifold boru çapları 6 atm işletme basıncında aşağıda belirtilen şekilde planlanmış ve projelendirilmiştir.
Ø 50/6 PE boru 70 m, 6 120 L/h debi, 6.12 m yük kaybı ve 1.12 m/s hız,
g) Manifold giriş basıncı
Hm = Hl + E0 x hfl – L0 x hgl
= 18.13 + 0.675 x (6.12) - 0.328 x (44 x 0.01)
= 22.12 m

16) Ana Boru Çapı
a) Ana Boru Uzunluğu
La = 230 m
b) Ana boru üzerindeki manifold sayısı
Aynı anda na = 1 adet
c) Ana Boru debisi
Qa= Qm = 6.12 m3/h
d) Ana boru hatlarının 6 atm işletme basınçlı PE borulardan oluşturulması gerekmektedir.
e) Ana Boru Çapı
William Hazen'e göre ana boru çapları 19.47 m işletme basıncında 6.89 m yük kaybı ve 1.12 m/s akış hızı olduğu koşullar için boru çapı aşağıda görüldüğü şekilde seçilmiştir.
Ø 50/6 PE boru 230 m, 6 120 L/h debi, 6.89 m yük kaybı ve 1.12 m/s hız
g) Ana Boru giriş basıncı
Ha= Hm + E0 x hfl – L0 x hgl
= 22.12 + 0.843 x 6.89 + 0.468 x (230 x 0.07)
= 35.46 m
h) Ana boruda istenen basınç
Ha = Hm + hy = 35.46 + 0.54 = 36 m.
ı) Sistem debisi
Q = Q m = 6.12 m3/h

KONTROL BİRİMİ UNSURLARI
Su kaynağı açık kanaldan borulu sistem ile hidrant olduğundan dolayı sulama suyunda yosun ve asılı maddeler ayrıca kum olacaktır. Bu nedenle kontrol birimi unsurları şunlardır;
Yosun (Graver) Filtre
Disk Filtre
Gübre tankı

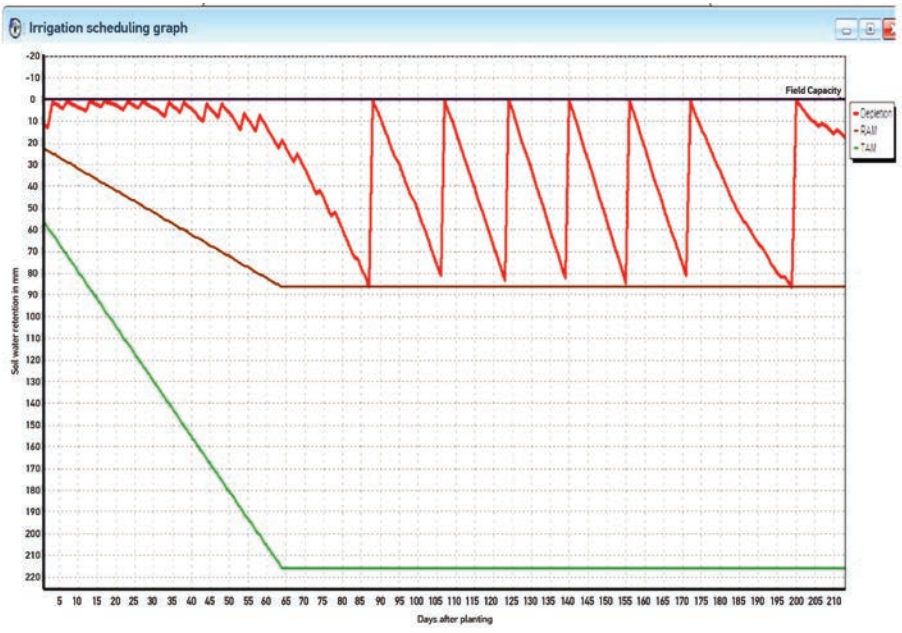
GÜBRE TANKI :
V = (F. A)/ C
Tasarım aşamasında F = 3,5 kg/da , C = 0,5 kg/l alınır.
V = 70 L
YOSUN FİLTRE : Yük kayıpları 0.95 m
DİSK FİLTRE : Yük kayıpları 0.18 m
BAĞLANTI ELEMANLARI : 0.97 m
HİDRANT ÇIKIŞ BASINCI : Hh = Ha +Hf = 346+ 0.95+0.18+0.97= 38.10 m.
MANOMETRİK YÜKSEKLİK : Hm = Hh + Hdh= 38.10 + 0.5 = 38.60 m.
Hidrant Hm = 38.60 m, Q = 6.12 m3/h özelliklerindedir.



Projenin malzeme keşif özeti;

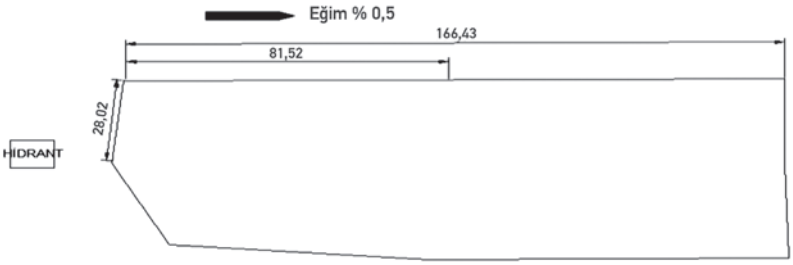
SIRA	MALZEME CİNSİ	MİKTAR	BİRİM
1	(2" X 2")3"TERS YIKAMALI YOSUN (GRAVER) FİLTRE ÜNİTESİ	1	ADET
2	100 L. GÜBRE TANKI	1	ADET
3	Ø 75/6 ATÜ PE BORU	250	MT
4	Ø 60/6 ATÜ PE BORU	250	MT
5	3" X 2 1/2 " GALVANİZ M.F. REDÜKSİYON	1	ADET
6	75 X 2 1/2" PE ERKEK DİRSEK	1	ADET
7	75 mm KAPLİNG PE MANŞON	3	ADET
8	50 mm KAPLİNG PE MANŞON	3	ADET
9	1 1/2" TAM GEÇİŞLİ KÜRESEL VANA	3	ADET
10	75 X 1 1/2" X 75 PE KAPLİNG ERKEK TE	3	ADET
11	50 X 1 1/2 " PE KAPLİNG ERKEK DİRSEK	3	ADET
12	75 mm KAPLİNG KÖRTAPA	1	ADET
13	50 mm KAPLİNG KÖRTAPA	3	ADET
14	16/90/6 İN-LINE B.R. LATERAL	3000	MT
15	16 mm 5 ATÜ YPE BORU	80	MT
16	Ø 75/90 PE DİRSEK	2	ADET
17	16 mm GÜVENLİ DAMLAMA ÇIKIŞ NİPELİ	80	ADET
18	16 mm KURTAĞZI NİPELİ	80	ADET
19	16 mm YUMUŞAK TİP DAMLAMA CONTA	80	ADET
20	16 mm GÖZLÜ KÖRTAPA	80	ADET

Projenin araziye uygulanmasından sonra CROPWAT yazılımında Penman – Monteith yöntemiyle hesaplanan Sulama Zaman Planlaması (SZP) ve takip formu;



Tarih	Gün	Dönem	Net Sul. Suyu Mik.(mm)
27 Mayıs	88	Çiçeklenme	86.5
15 Haziran	107	Çiçeklenme	86.6
2 Temmuz	124	Çiçeklenme	89.2
18 Temmuz	140	Meyve	88.1
3 Ağustos	156	Meyve	90.0
19 Ağustos	172	Olgunlaşma	86.5
16 Eylül	200	Hasat	88.4
		Toplam	615.4

ÖRNEK PROJE 3
DAMLA SULAMA PROJESİ



DOMATES (OTURAK) (Şanlıurfa-Merkez)

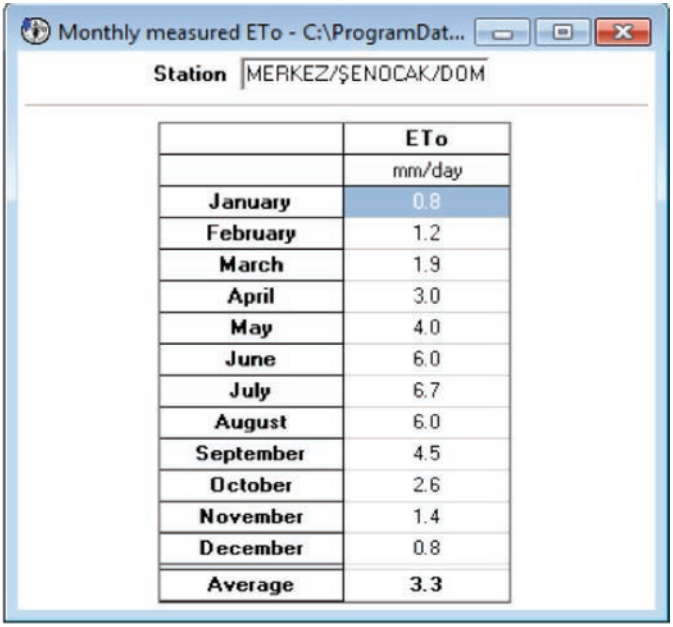
Alan : 5 da
Toprak Bünye Sınıfı : Killi Tın
Domates Dikim Aralıkları : Ss x Sa = 0.60 x 1.40 m
Maksimum Bitki Su Tüketimi : E.T= 6.7 mm/gün
Mevsimlik Toplam Sulama Suyu Gereksinimi : 1739 mm/mevsim
Toplam Sulama Suyu Miktarı : 1217 mm
Hidrant (kanalet) Debisi : Q = 13 L/s
Sulama Suyu Kalite Sınıfı : C2 S1
Kullanılabilir Su Tutma Kapasitesi : d_k= 170 mm/m
Su Alma Hızı : I = 13 mm/h
Etkili kök derinliği : 90 cm
CROPWAT yazılımında Penman - Monteith yöntemi ile hesaplanan aylık bitki su tüketimi değerleri;

Monthly ETo Penman-Monteith - C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\ŞANLIURFA\MER...

Country TÜRKİYE Station ŞANLIURFA/MERKEZ
Altitude 454 m. Latitude 37.12 °N Longitude 39.10 °E

Month	Avg Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	%	m/s	hours	MJ/m²/day	mm/day
January	5.8	71	0.9	4.1	7.8	0.85
February	7.1	67	1.0	5.0	10.7	1.23
March	11.1	62	1.1	6.2	14.8	2.04
April	16.3	58	1.2	7.7	19.3	3.19
May	22.5	47	1.3	9.6	23.6	4.71
June	28.4	36	1.6	11.4	26.8	6.39
July	32.2	33	1.7	11.7	26.8	7.14
August	31.4	37	1.5	11.4	24.9	6.44
September	26.9	40	1.3	10.1	20.5	4.82
October	20.3	49	0.9	8.2	14.8	2.81
November	12.6	62	0.9	6.0	9.9	1.49
December	7.5	71	0.8	4.2	7.3	0.86
Average	18.5	53	1.2	8.0	17.3	3.50

CROPWAT yazılımında Penman-Monteith yöntemi ile damla sulama yöntemine uygun olarak hesaplanan aylık bitki su tüketim değerleri;



	ETo
	mm/day
January	0.8
February	1.2
March	1.9
April	3.0
May	4.0
June	6.0
July	6.7
August	6.0
September	4.5
October	2.6
November	1.4
December	0.8
Average	3.3

İşlem Basamakları:

1-İşletme Basıncı:

Basınç pompa ile sağlandığından ho = 1.0 atm alınmıştır.

2-Seçenek Damlatıcı Debileri:

1.0 atm işletme basıncında seçenek damlatıcı debileri (piyasa koşullarına uygun)

q = 1.2 L/h

q = 2.0 L/h

q = 4.0 L/h

3-Seçenek Damlatıcı Debilerinde Damlatıcı Aralıkları:

q = 1.2 L/h için ; Sd = 0,9x √q/l

Sd = 0,9 x√ 1.2/13 = 0.27 m (piyasada bulunmadığından 0.25 m olarak alınmıştır)

q = 2.0 L/h için ; Sd = 0,9x √q/l

Sd = 0,9 x√ 2.0/13 = 0.35 m (piyasada bulunmadığından 0.40 m olarak alınmıştır)

q = 4.0 L/h için ; Sd = 0,9x √q/l

Sd = 0,9 x√ 4.0/13 = 0.49 m (piyasada bulunmadığından 0.50 m olarak alınmıştır)

4-Islatılan Alan Oranı:
P = k x (Sd /Sl) k = 1.0 alınır.
q = 1.2 L/h için P = 1.0 (0.30 / 1.40) = 0.21 = % 21
q = 2.0 L/h için P = 1.0 (0.40 / 1.40) = 0.29 = % 29
q = 4.0 L/h için P = 1.0 (0.50 / 1.40) = 0.36 = % 36
P ≥ 0,30 olmalıdır. Bu damlatıcılardan 4.0 L/h olan damlatıcılar uygun ıslatma alanını sağlamaktadır.

4-Uygun Damlatıcı Debisi:
q = 4.0 L/h damlatıcı debisi uygun görülmüştür.
Bu projede, 1.0 atm işletme basıncında 4.0 L/h debiye sahip damlatıcı seçilmiştir.

ÖN PROJELEME FAKTÖRLERİ
Damlatıcı debisi : 4.0 L/h
Damlatıcı aralığı (Sd) : 0.50 m
Lateral Aralığı : 1.40 m
Islatılan alan oranı (P) : 0.36

Sistem Tertibi:
Lateral boru hatları tesviye eğrilerine paralel ya da bayır aşağı eğimde olmalıdır. Manifold boru hatları laterallere dik, eğimsiz ya da bayır aşağı olmalıdır. Ana boru hatları, olanaklar ölçüsünde parsel sınırından geçirilir.

1) Lateral Boru Çapı:
a) Lateral uzunluğu, Ll = 82 m
b) Lateral üzerindeki damlatıcı sayısı
n_d = Ll = 82 / 0.50 = 164 adet
c) Lateral Debisi
Q_l =nd x q = 164 x 4.0 = 656 L/h
d) Lateral Eğimi
S_l = % 0.5 (Bayır aşağı) ve E_o = 0.705 , L_o = 0.358
e) İşletme Basıncı
ho = 1.0 atm =10 m
f) Lateral boru hattının 4 atm işletme basınçlı PE damla sulama borularından tasarlanmasına karar verilmiştir.
g) Lateral Boru Çapı; Williams Hazen e göre 1.0 işletme basıncında 4.05 m yük kaybı ve 0.81 m/s akış hızı ile 20 mm çapında lateral boru seçilmiştir.

14) Lateral Giriş Basıncı
Hl = h0 + hfl x Eo – hgl x Lo
Hl = 10 + 4.05 x 0.705 - (82 x 0.005) x 0.358
Hl = 12.85 m

15) Manifold Boru Çapı
a) Manifold Uzunluğu
Lm = 30 m
b) Manifold üzerindeki lateral sayısı

nl = 21 adet
c) Manifold debisi
Qm= n_l . q = 21 x 656 = 13 776 L/h
d) Manifold eğimi
Sm = % 0 (eğimsiz) E_o = 0.738 , L_o = 0.370
e) Lateral giriş basıncı
Hl = 12.85 m
f) Manifold boru hatlarının 6 atm işletme basınçlı sert PE borulardan oluşturulması gerekmektedir.
g) Manifold Boru Çapı
William Hazen e göre manifold boru çapları 1.34 m yük kaybı ve ortalama1.59 m/s akış hızı olduğu koşullar için boru çapı aşağıda görüldüğü şekilde seçilmiştir.
Ø 63/6 – 30 m
Manifold boru hatları 6 atm işletme basınçlı PE borulardan oluşturulacaktır.
ı) Manifold giriş basıncı
Hm = Hl + hfl x E_o – hgl x L_o
H_m = 12.85 + 1.34 x 0.738 - (30 x 0.0) x 0.370
H_m = 13.84 m

16) Ana Boru Çapı
a) Ana Boru Uzunluğu
La = 88 m
b) Ana boru üzerindeki manifold sayısı
n_a = 1 adet
c) Ana Boru debisi
Qm= Qa = 13 776 L/h
Hm = 13.84 m
d) Ana boru hatlarının 6 atm işletme basınçlı PE borulardan oluşturulması planlanmıştır.
e) Ana Boru Çapı
William Hazen e göre ana boru çapları 3.85 m yük kaybı ve 1.59 m/s akış hızı olduğu koşullar için boru çapı aşağıda görüldüğü şekilde seçilmiştir.
Ø 63/6 – 88 m
h) Ana Boru giriş basıncı
Ha = Hl + hfl x Eo – hgl x Lo
H_a = 13.84 + 3.85 x 0.705 - (88 x 0.0) x 0.370
H_a = 16.55 m
ı) Ana boruda istenen basınç
Ha = Hm + hy = 16.55 + 0.44 = 17 m.
i) Sistem debisi
Q = Q m = 13.78 m3/h = 3.82 L/s

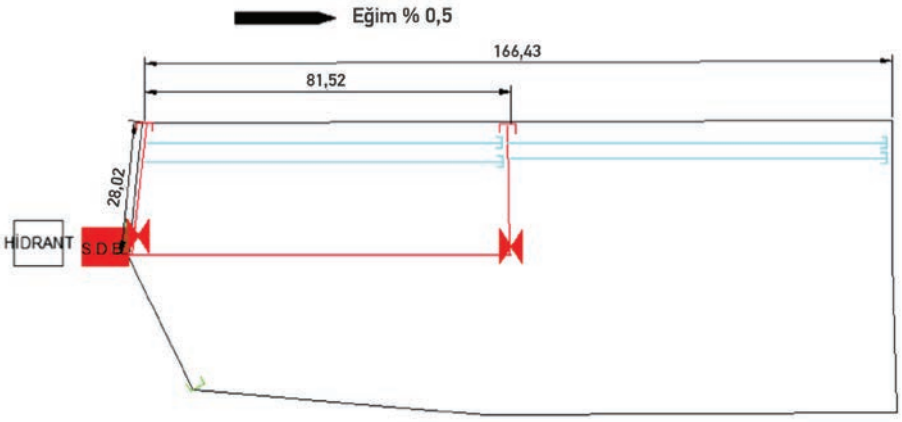
KONTROL BİRİMİ UNSURLARI

Su kaynağı açık kanaldan borulu sistem ile hidrant olduğundan dolayı sulama suyunda yosun ve asılı maddeler ayrıca kum olacaktır. Bu nedenle kontrol birimi unsurları şunlardır;
Yosun (Graver) Filtre
Disk Filtre
Gübre tankı

GÜBRE TANKI :
V = (F. A)/ C
Tasarım aşamasında F = 3,5 kg/da , C = 0,5 kg/l alınır.
V = 35 L

YOSUN FİLTRE : Yük kayıpları 0.95 m
DİSK FİLTRE : Yük kayıpları 0.18 m
BAĞLANTI ELEMANLARI : 0.97 m
HİDRANT ÇIKIŞ BASINCI : Hh = Ha +Hf = 17 + 0.95+0.18+0.97= 19.10 m.
MANOMETRİK YÜKSEKLİK : Hm = Hh + Hdh= 19.1 + 1.0 = 20.10 m.
Hidrant Hm = 20.10 m, Q = 3.82 L/s özelliklerindedir.

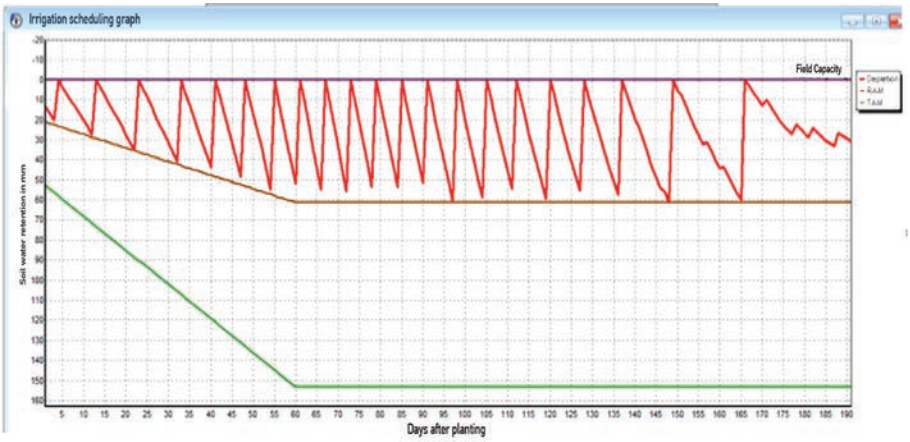
Projenin arazide uygulama şekli;



Projenin malzeme keşif özeti;

SIRA	MALZEME CİNSİ	MİKTAR	BİRİM
1	3" TEKLİ TERS YIKAMALI YOSUN(GRAVER) FİLTRE ÜNİTESİ	1	ADET
2	50 L GÜBRELEME ÜNİTESİ	1	ADET
3	Ø63 / 6 ATÜ PE MANDALLI BORU	144	MT
4	Ø63 / 6 ATÜ PE MANDALLI BORU CONTASI	24	ADET
5	20/50/4 IN-LİNE YUVARLAK DAMLAMA LATERALİ	3600	MT
6	Ø63 PE MANDALLI DİŞİ MOTOPOMP(ERKEK)	2	ADET
7	Ø63 PE MANDALLI VANA	2	ADET
8	63 X 63 PE MANDALLI DİRSEK	2	ADET
9	Ø63 PE MANDALLI KÖRTAPA	2	ADET
10	Ø63 PE MANDALLI İSTAVROZ	2	ADET
11	20 mm KURTAĞZI NİPEL	100	ADET
12	20 mm YUMUŞAK TİP DAMLAMA CONTA	100	ADET
13	20 mm GÖZLÜ KÖRTAPA	100	ADET

Projenin araziye uygulanmasından sonra CROPWAT yazılımında Penman – Monteith yöntemiyle hesaplanan Sulama Zaman Planlaması (SZP) ve takip formu;



Tarih	Gün	Dönem	Net Sul. Suyu Mik.(mm)
13 Mayıs	4	Başlangıç	23.3
22 Mayıs	13	Başlangıç	31.5
1 Haziran	23	Başlangıç	39.9
11 Haziran	33	Gelişme	47.1
19 Haziran	41	Gelişme	50.3
26 Haziran	48	Gelişme	56.7
3 Temmuz	55	Gelişme	64.9
9 Temmuz	61	Meyve	62.2
15 Temmuz	67	Meyve	66.0
21 Temmuz	73	Meyve	66.6
27 Temmuz	79	Meyve	64.4
2 Ağustos	85	Meyve	63.6
8 Ağustos	91	Meyve	61.6
15 Ağustos	98	Meyve	70.1
22 Ağustos	105	Meyve	67.7
29 Ağustos	112	Meyve	63.4
6 Eylül	120	Meyve	67.7
14 Eylül	128	Meyve	62.8
23 Eylül	137	Meyve	62.1
5 Ekim	149	Meyve	66.5
22 Ekim	166	Meyve	63.0
		Toplam	1221.5

KAYNAKLAR

GÜNGÖR, Y.; ERÖZEL, Z.; YILDIRIM, O., 2004 Sulama. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 1540, Ankara
GÜNGÖR, Y.; ERÖZEL, Z.; YILDIRIM, O., 1996 Sulama. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 1443, Ankara
OPANOĞLU, N.; SÜLLÜ, A.; EZBER, Y.; ÖZENÇ, L.; AKILLI, E.; SABAH, M., 2010 Sulama Projelerinin Yapımı ve Değerlendirme Kriterleri. T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Söke Zirai Üretim İşletmesi Tarımsal Yayım ve Hizmet içi Eğitim Merkezi Müdürlüğü
ÇETİN, Ö; 2012. Sulama ve Fertigasyon Eğitim Notları. GAP BKİ Başkanlığı GAP TEYAP Sulama Grubu Eğitim Notları,
YENİKALE, A; Havalandırılmış Sulama Suyunun Soğan Bitkisi Tuz Toleransına Olan Etkileri, 2004, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü T.Y.S. Ana Bilim Dalı Yük. Lis. Tezi,
YENİKALE A; GAP TEYAP Sulama Demonstrasyon Projeleri ve SZP, 2012, GAP BKİ Başkanlığı GAP TEYAP Sulama Grubu Eğitim Notları,
DSİ Genel Müdürlüğü Yayınları, www.dsi.gov.tr,