

Ankara Üniversitesi
ZİRAAT FAKÜLTESİ

Yayın No: 1540
Ders Kitabı: 493

SULAMA

(3. BASKI)

Prof. Dr. Yetkin GÜNGÖR *Prof. Dr. A. Zeki ERÖZEL*
Prof. Dr. Osman YILDIRIM

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

ANKARA

2004

Ankara Üniversitesi
ZİRAAT FAKÜLTESİ

Yayın No: 1540
Ders Kitabı: 493

SULAMA

(3. BASKI)

Prof. Dr. Yetkin GÜNGÖR Prof. Dr. A. Zeki ERÖZEL
Prof. Dr. Osman YILDIRIM

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

ANKARA
2004

ISBN: 975-482-323-5

ANKARA ÜNİVERSİTESİ BASIMEVİ • 2004
www.ankara.edu.tr

İÇİNDEKİLER

	<i>Sayfa</i>
ÖNSÖZ	vii
ÜÇÜNCÜ BASKI İÇİN ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. SULAMANIN TANIMI VE ÖNEMİ	1
1.2. SULAMANIN YARARLARI	3
1.3. SULAMANIN TARİHÇESİ	3
1.4. TÜRKİYE'DE SULAMA	4
1.5. SULAMA YÖNTEMİ, SULAMA SİSTEMİ VE SULAMA PROJESİ	5
2. SULAMA SİSTEMLERİ	7
2.1. SULAMA PROJELERİ	8
2.1.1. Sulama Projesi Unsurları	9
2.1.2. Sulama Projelerinin Sınıflandırılması	10
2.1.3. Sulama Projelerinde Sağlanması Gerekli Koşullar	10
2.1.4. Sulama Projelerinin Hazırlanmasında Gerekli Bilgiler	11
2.2. SULAMA PROJELERİNİN GELİŞTİRİLMESİ	13
2.3. SULAMA SİSTEMİNİN UNSURLARI	14
2.4. SULAMA SİSTEMLERİNİN İŞLETİLMESİ YÖNTEMLERİ	16
3. TOPRAK-BİTKİ-SU İLİŞKİLERİ	22
3.1. SULAMA YÖNÜNDEN ÖNEMLİ BAZI TOPRAK ÖZELLİKLERİ	22
3.2. SULAMA SUYU UYGULANACAK TOPRAK DERİNLİĞİ	27
3.3. TOPRAK NEMİ İFADE BİÇİMLERİ	28
3.4. SULAMA YÖNÜNDEN ÖNEMLİ TOPRAK NEMİ SABİTELERİ	32
3.5. TOPRAĞIN KULLANILABİLİR SU TUTMA KAPASİTESİ	34
3.6. TOPRAK ÖRNEKLERİNİN ALINMASI	35
3.7. TOPRAK NEMİNİN ÖLÇÜLMESİ	36
3.8. TOPRAKTA SUYUN HAREKETİ	40
3.9. TOPRAĞIN SU ALMA HIZI	42
3.9.1. Çift Silindirik İnfiltrometre Ölçümleri	43
3.9.2. Karıklara Giren ve Çıkan Suyun Ölçülmesi	50
3.10. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ	54
4. SULAMA SUYU İHTİYACI	57
4.1. BİTKİ SU TÜKETİMİ	57
4.1.1. Bitki Su Tüketimini Etkileyen Faktörler	58
4.1.2. Bitki Su Tüketiminin Saptanması	59
4.1.3. Kıyas Bitki Su Tüketiminin Tahmininde Penman-Monteith Yöntemi	61

4.1.4. Kıyaslı Bitki Su Tüketiminin Tahmininde Kap Dönerleşmesi Yöntemi	77
4.1.5. Kıyaslı Bitki Su Tüketiminin Tahmininde Blaney-Criddle Yöntemi	71
4.1.6. Bitki Katsayısı	75
4.1.7. Bitki Su Tüketimi	82
4.1.8. Bitki Su Tüketiminin Tahmininde Blaney-Criddle Yöntemi (USDA-SCS Modifikasyonu)	85
4.2. SULAMA RANDIMANI	88
4.3. ETKİLİ YAĞIŞ	95
4.4. SULAMA SUYU İHTİYACI	97
4.4.1. Proje Alanı Sulama Suyu İhtiyacı ve Sulama Modülü	97
4.4.2. Her Sulamada Uygulanacak Sulama Suyu Miktarı ve Sulama Aralığı	102
4.4.3. Sistem Kapasitesi	105
4.4.4. Sulama Zamanının Planlanması	107
4.5. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ	116
5. ARAZİNİN SULAMAYA HAZIRLANMASI	119
5.1. KAYNAK ARAŞTIRMASI	120
5.1.1. Planlama Haritası	120
5.1.2. Toprak Bilgileri	121
5.1.3. Bitki Özellikleri	121
5.1.4. Su Kaynağı Özellikleri	121
5.1.5. İklim Özellikleri	121
5.1.6. Diğer Bilgiler	121
5.2. TARLA PARSELLERİNİN DÜZENLENMESİ	121
5.3. SULAMA VE DRENAJ SİSTEMLERİNİN PLANLANMASI	122
5.4. ARAZİ TESVİYESİ	124
5.4.1. Arazi Tesviyesinin Yararları	124
5.4.2. Arazi Tesviyesinin Uygulanmasını Kısıtlayan Etmenler	124
5.4.3. Arazi Tesviyesi Tipleri	125
5.4.4. Tesviye Projelendirme Yöntemleri	126
5.4.5. Tesviye Öncesi Hazırlık ve Ölçme İşlemleri	127
5.4.6. En Küçük Kareler Tesviye Projelendirme Yöntemi	130
5.4.7. En Küçük Kareler Tesviye Projelendirme Yönteminin Düzgün Olmayan Şekilli Araziye Uygulanması	139
5.4.8. Arazinin Tesviye Edilmesi	141
5.4.9. Tesviyenin Yıllık Bakımı	143
5.5. TARLA İÇİ SU DAĞITIM SİSTEMLERİ	143
5.5.1. Açık Kanal Sistemleri	144
5.5.2. Açık Kanalların Boyutlandırılması	145
5.5.3. Kontrol Yapıları	151
5.5.4. Düşük Basıncılı Boru Sistemleri	153

5.6. AKIŞ ÖLÇMELERİ	172
5.7. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ	178
6. SULAMA YÖNTEMLERİ	181
6.1. UYGUN SULAMA YÖNTEMİNİN SEÇİLMESİ	182
6.1.1. Su Kaynağı ve Sulama Suyunun Özellikleri	182
6.1.2. Toprak Özellikleri	184
6.1.3. Topografik Özellikler	185
6.1.4. İklim Özellikleri	186
6.1.5. Bitki Özellikleri	186
6.1.6. Ekonomik Koşullar	187
6.1.7. Sosyal ve Kültürel Durum	187
6.2. SALMA SULAMA YÖNTEMİ	188
6.3. GÖLENDİRME SULAMA YÖNTEMİ	189
6.3.1. Tava Sulama Yöntemi	190
6.4. UZUN TAVA SULAMA YÖNTEMİ	193
6.5. KARİK SULAMA YÖNTEMİ	198
6.6. YAĞMURLAMA SULAMA YÖNTEMİ	208
6.6.1. Yağmurlama Sulama Sisteminin Unsurları	209
6.6.2. Tesis ve İşletme Durumuna Göre Yağmurlama Sulama Sistemi Tipleri	212
6.6.3. Yağmurlama Başlıklarında Su Dağılımı	213
6.6.4. Sistem Tertibi ve Sulama Süresi	216
6.7. DAMLA SULAMA YÖNTEMİ	218
6.7.1. Damla Sulama Sisteminin Unsurları	219
6.7.2. Damla Sulama Yönteminde İslatma Desenleri ve Lateral Tertip Biçimleri	227
6.7.3. Damla Sulama Yönteminin Üstünlükleri ve Uygulanmasını Kısıtlayan Etmenler	233
6.7.4. Her Sulamada Uygulanacak Sulama Suyu Miktarı, Sulama Aralığı ve Sulama Süresi	235
6.8. AĞAÇ ALTI MİKRO YAĞMURLAMA SULAMA YÖNTEMİ	239
6.9. SIZDIRMA SULAMA YÖNTEMİ	244
6.10. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ	245
7. SULAMA SUYU KALİTESİ VE SORUNLU TOPRAKLAR	248
7.1. SULAMADA SU KALİTESİNİN ÖNEMİ	248
7.2. SULAMA SUYU KALİTESİNİN TAYİNİ İÇİN YAPILAN İŞLEMLER	250
7.2.1. Su Örneklerinin Alınması	250
7.2.2. Elektriksel İletkenlik ve pH'nın Ölçülmesi	250
7.2.3. Sulama Suyunda Yapılan Kimyasal Analizler	251
7.2.4. Sulama Suyu Kalite Kriterlerinin Belirlenmesi	253
7.2.5. Sulama Suyu Kalitesinin Sınıflandırılması	255
7.3. YIKAMA İHTİYACI	258

7.4. SULAMA SUYU KALİTESİ İLE SULAMA YÖNTEMLERİ İLİŞKİSİ	259
7.5. SULAMA SUYU KALİTESİ VE SORUNLU TOPRAKLAR	260
7.5.1. Tuzlu Topraklar	261
7.5.2. Sodyumlu Topraklar	262
7.5.3. Tuzlu-Sodyumlu Topraklar	265
7.5.4. Bor'lu Topraklar	265
7.6. SORUNLU TOPRAKLARIN İSLAHI	265
7.6.1. Tuzlu ve Bor'lu Toprakların İslahı	267
7.6.2. Sodyumlu ve Tuzlu-Sodyumlu Toprakların İslahı	267
7.7. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ	268
8. DRENAJ	269
8.1. SULAMADA DRENAJIN ÖNEMİ	269
8.2. DRENAJIN TANIMI VE YARARLARI	269
8.3. TARIM ALANLARINDA DRENAJ SORUNLARI	270
8.4. DRENAJ ETÜTLERİ	271
8.4.1. Mevcut Verilerin Toplanması	272
8.4.2. Ön Etüt Çalışmaları	272
8.4.3. Ayrıntılı Etüt Çalışmaları	273
8.5. DRENAJ YÖNTEMLERİ	274
8.5.1. Yüzeysel Drenaj Yöntemleri	274
8.5.2. Toprakaltı Drenaj Yöntemleri	279
YARARLANILAN KAYNAKLAR	287

ÖNSÖZ

Toprak ve su kaynaklarının geliştirilmesi çalışmaları içerisinde sulama, diğer tarımsal girdilerin etkinliğini artıran, bitkisel üretimde kararlılığı sağlayan ve çağdaş tarımın ayrılmaz parçası olan bir bitkisel üretim ögesidir.

Sulamadan beklenen başarı, koşullara en uygun sulama yönteminin seçilmesi, bu yöntemin gerektirdiği sulama sisteminin planlanması, projelenmesi, projede öngörüldüğü biçimde kurulması ve işletilmesine bağlıdır. Bu ise tarımcı ve uygulayıcıların, diğer tarımsal girdilerde olduğu gibi, sulama konusunda da belirli bilgi düzeyine erişmesi ile olmalıdır.

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri ve Toprak Bölümleri öğrencilerine okutulmakta olan "Sulama" dersinin kitabı niteliğinde hazırlanan bu eser, giriş dışında, sulama sistemleri, toprak-bitki-su ilişkileri, sulama suyu ihtiyacı, arazinin sulamaya hazırlanması, sulama yöntemleri, sulama suyu kalitesi ve sorunlu topraklar ile drenaj yöntemleri bölümlerinden oluşmakta ve bu konularda temel bilgileri içermektedir.

Eserin öğrencilerimize ve ilgililenenlere yararlı olmasını dileriz.

Ankara, Aralık 1995

Prof.Dr. Yetkin GÜNGÖR

Prof.Dr. A. Zeki ERÖZEL

Doç.Dr. Osman YILDIRIM

ÜÇÜNCÜ BASKI İÇİN ÖNSÖZ

Bir yıl gibi çok kısa sürede ikinci baskısı tükenen bu eser, ağırlıklı olarak bitkisel üretimin önemli girdilerinden olan sulamanın temel unsurlarını açıklayan konuları kapsamaktadır. Eser, Ziraat Fakültesi öğrencilerine "Sulama" derslerinde kaynak oluşturduğu gibi uygulayıcıların da başvurduğu önemli kaynak eserler arasında yer almaktadır.

Su kaynaklarının geliştirilmesi çalışmalarında sulama ve drenajın önemi oldukça fazladır. Büyük yatırımlarla gerçekleştirilen sulama projelerinin başarısı, bir bakıma, kaynak araştırması, planlama, tasarım, kurma ve işletme aşamalarındaki temel bilgilerin özümsemesine ve kullanım etkinliğine bağlıdır.

Sulama ve drenajın temel konularının kuramsal yaklaşımlar ve sayısal örneklerle açıklandığı bu eserin öğrencilerimize ve uygulayıcılara yararlı olmasını dileriz.

Ankara, Mart 2004

Prof.Dr. Yetkin GÜNGÖR

Prof.Dr. A. Zeki ERÖZEL

Prof.Dr. Osman YILDIRIM

GİRİŞ

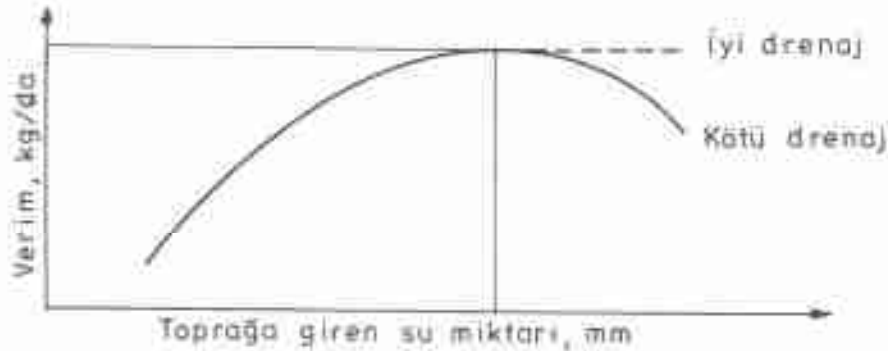
1.1 SULAMANIN TANIMI VE ÖNEMİ

Bitkiler normal gelişmelerini sürdürebilmeleri için, çok yıllık bitkilerle kış dinlenme periyodu dışında, kökleri aracılığıyla topraktan devamlı su alırlar. Bitki tarafından alınan bu su;

1. Bitki dokularında su olarak kalır,
2. Parçalanarak bitki bünyesinde çeşitli bileşiklerin yapımında kullanılır ve
3. Bitki yapraklarından terleme yoluyla atmosfere verilir.

Sulama açısından, ilk iki maddede belirtilen su miktarı terleme yoluyla atmosfere verilen su miktarı yanında göz önüne alınmayacak kadar azdır. Bu nedenle, sulama suyu ihtiyacı hesaplarında bitki yapraklarından terleme (transpirasyon) miktarı dikkate alınmaktadır.

Büyüme mevsimi boyunca bitki kök bölgesinde yeterli nemin bulunması bitki gelişmesi açısından çok önemlidir. Gereğinden az yada fazla toprak nemi genellikle verim azalmasına neden olur. Kuru su-verim ilişkisi eğrisi ile açıklanabilir. Tipik bir su-verim ilişkisi eğrisi Şekil 1.1 de görülmektedir.



Şekil 1.1 Bitkilerde su-verim ilişkisi eğrisi

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

Büyüme mevsimi boyunca bitki kök bölgesinde gereğinden az nemin bulunması koşulunda verim azalmasının nedeni, su moleküllerinin toprak zerreleri tarafından tutulma 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 ve
3. Toprakta bitki besin maddelerinin alınmasını engelleyen zararlı bileşiklerin oluşmasıdır.

Bu etmenler bitki gelişmesini olumsuz yönde etkiler ve dolayısıyla verim azalması meydana gelir.

Sonuç olarak, bitkinin normal gelişmesini sağlamak için önemli koşullardan biri büyüme mevsimi boyunca kök bölgesinde yeterli düzeyde nemin bulundurulmasıdır. Bu nem sağlayan kaynaklardan ilki doğal yağışlardır. Nemli bölgelerde bitki büyüme mevsimi boyunca düşen yağışların miktarı ve dağılımı genellikle bitki su ihtiyacını karşılayacak düzeyde olmaktadır. Ancak, kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde bitki büyüme mevsimi boyunca düşen yağışlar hem miktar hem de dağılım açısından yetersiz kalmakta ve bitki su ihtiyacını karşılayamamaktadır. Dolayısıyla, bitki kök bölgesindeki eksik nem sulama suyu ile tamamlanmaktadır. Doğu Karadeniz Bölgesindeki dar bir alan dışında Türkiye'nin tüm bölgeleri kurak ve yarı kurak iklim kuşağında yer almaktadır. Dolayısıyla, Türkiye'de sulama bitkisel üretim için oldukça önemlidir.

Sulama, bitkilerin normal gelişmeleri için ihtiyaç duydukları suyun doğal

yağışlarla karşılanamayan kısmının toprağa, bitki kök bölgesine verilmesi biçiminde tanımlanmaktadır.

Sulanmayan alanlarda yetiştirilen kültür bitkilerinin oldukça sınırlı kalması, bu bitkilerin bile sulanması ile verim artışı sağlanması, bunun yanında, sulanmayan alanlarda diğer tarımsal girdilerin kasıtlı kalması, sulamanın önemini vurgulayan konulardır. Bu nedenle sulama, önemli tarımsal girdilerden biridir ve modern tarımın ayrılmaz bir parçasıdır.

1.2. SULAMANIN YARARLARI

Sulamanın yararları şöylece sıralanabilir;

- 1) Büyüme mevsimi boyunca bitkinin ihtiyaç duyduğu su miktarı kök bölgesinde depolanır, böylelikle devamlı ve kararlı bir bitki yetiştiriciliği yapılır,
- 2) Topraktaki fazla tuzun yıkanması sağlanır,
- 3) Toprakta mevcut taban taşı yumuşatılır,
- 4) Toprak ve bitki civarındaki hava serinletilir,
- 5) Ticari gübreler su ile birlikte toprağa verilebilir.

1.3. 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 doğduğu ülkenin Mısır olduğu kabul edilir. Bu ülkede sulama uygulamalarına milattan çok önceleri başlanmıştır. Örneğin, M.Ö. 5000 yıllarında Nil nehrinden 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 bazılarında bugün halen yararlanılmaktadır.

Hindistanın Indus vadisinde M.Ö. 3000 yıllarında hüküm sürmüş Mahon Jo Daro medeniyeti sırasında, çağına göre oldukça ileri sayılabilecek sulama ve drenaj sistemleri kurulmuştur.

Arap yarımadası, Türkiye, İran ve Orta Doğunun diğer bölgelerinde de zamanımızdan 3000 yıl kadar önce sulama uygulamaları yapılmıştır. Babil kralı Hammurabi, M.Ö. 1700 yıllarında çıkardığı kanunlarla, sulama sistemlerinin kurulması ve işletilmesini devlet eliyle yapmış, suyu kurallara göre kullanmayan çiftçilere bazı cezalar getirmiştir.

Bundan sonra yaşamış medeniyetlerde de bunlara benzer sulama tesisleri kurulmuştur. Bugün, birçok alanda asırlar boyunca hızlı ilerlemeler sağlanmasına karşın, özellikle yüzey sulama uygulamaları eski zamandakine benzemektedir. Bir an için taş yerine çimentonun kullanılması, daha karmaşık ölçüm araçlarının geliştirilmesi, daha iyi kanal kaplanması gibi gelişmeler bir tarafa bırakılrsa, sulama alanında belirtilebilecek çok büyük aşamalar oldukça azdır. Günümüzde, dünyanın birçok yerindeki yüzey sulama sistemleri, eski sulama sistemlerinden çok az farklılık göstermektedir. Bu ise, eski sulama sistemlerinin yapısında oldukça üst düzeyde uzmanlık ve beceri kullanıldığını ortaya koymaktadır. Kral Menes'in yaptırdığı batı, Mısır ve diğer ülkelerde yapılan büyük kapasiteli, kilometrelerce uzunluktaki kanallar ve toprakaltı galerileri bunun tipik örnekleridir.

1.4. TÜRKİYE'DE SULAMA

Osmanlı İmparatorluğu döneminde, sulama çalışmalarına başlanması ve devlet eliyle bu hizmetlerin yürütülmesi 19. yüzyıl sonlarına rastlar. Bu amaçla, bugün sınırlarımız dışında kalan İskodra ve Selanik'te dere ıslahı, Medine'de sulama kanallarının inşası, Musul ovasında sulama şebekesi kurulması gibi çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar içerisinde Konya ovası sulaması, sınırlarımız içerisinde kalan ilk sulama sistemi olmuştur. Birinci Dünya Savaşının hemen öncesinde büyük akarsularımızın bazılarına ıslahı ve bu akarsu havzalarında sulama çalışmaları planlanmış, ancak savaşın başlaması ile bu çalışmalar tamamlanamamıştır. Türkiye'de sulama çalışmalarına, İkinci Dünya Savaşından sonra önem vermeye başlanmış, özellikle DSI ve TUPRAKSU Genel Müdürlüklerinin kurulmasından sonra hız kazanmış ve birçok sulama projesi kamu yatırımı ile gerçekleştirilmiştir.

Bugün, Türkiye'de $28,1 \times 10^6$ ha tarım alanı mevcuttur. Bu alanın % 6 ya kadar eğime sahip kısmı içerisinde $13,5 \times 10^6$ ha'nın sulanabilir özellikte olduğu yaklaşımla yapılmaktadır. Türkiye'de tüketici amaçlarla yararlanılabilecek su kaynakları potansiyeli ise, 95×10^9 m³/yıl'ı yerüstü ve 12×10^9 m³/yıl'ı yeraltı olmak üzere, toplam 107×10^9 m³/yıl'dır. Bugün, Türkiye'de uygulanmakta olan sulama teknolojileri göz önüne alındığında, sulamaya ayrılabilecek su kaynakları potansiyeli ile sulanabilecek alanın $8,5 \times 10^6$ ha olacağı hesaplanmaktadır. Bunun

da koşulu, havzalar düzeyinde su naklinin yapılmasıdır.

DSİ Genel Müdürlüğünün 1996 yılı verilerine göre, Türkiye'de toplam 4.4×10^6 ha alan sulamaya açılmıştır. Kesin veriler bulunmamakla birlikte, sulanan alanlarda uygulanan basınçlı sulama yöntemlerinin % 10'dan daha az olduğu söylenebilir. Diğer bir deyişle, Türkiye'de sulanan alanların % 90'dan fazlasında yüzey sulama yöntemleri uygulanmaktadır. Yüzey sulama yöntemlerinin uygulandığı alanın yaklaşık % 60'ında ise, sulama maddesini son derece düşük oran sulama sulama yöntemi kullanılmaktadır. Oysa, ekonomik faktörler dışında, yalnızca teknik açıdan, % 0-6 eğim grubu içerisinde yer alan sulanabilir alanın % 63'ünde basınçlı sulama yöntemlerinin uygulanması gerektiği belirlenmiştir. Görüldüğü gibi, su kaynaklarımızın optimum kullanımı açısından, Türkiye'de mevcut durumda uygulanan sulama teknolojilerini iyileştirmek, gerekli yerlerde basınçlı sulama yöntemlerini uygulamak ve böylelikle mevcut su kaynakları potansiyeli ile daha geniş alanı sulamaya açmak zorunluluğu vardır.

1.5. SULAMA YÖNTEMİ, SULAMA SİSTEMİ VE SULAMA PROJESİ

Sulama yöntemi, suyun toprağa, bitki kök bölgesine verilmiş biçimi olarak tanımlanır. Sulama sistemi ise, suyun kaynaktan alınması, sulanacak alana iletilmesi ve dağıtılması için gerekli yapıların bütünüdür. Her sulama yönteminin kendine özgü bir sulama sistemi vardır. Bu nedenle uygulamada, önce mevcut su kaynağı, toprak, topografya, bitki, iklim, ekonomik durum, sosyal ve kültürel durum gibi faktörler dikkate alınarak koşullara en uygun sulama yöntemi seçilmekte ve sonra sulama yönteminin gerektirdiği sulama sistemi planlanmakta, kurulmakta ve işletilmektedir.

Sulama yöntemlerini, yüzey ve basınçlı sulama yöntemleri olmak üzere iki grup altında toplamak mümkündür. Salma sulama, tava, uzun tava, karık gibi yüzey sulama yöntemlerinde su toprak yüzeyinden akıtılarak verilmektedir. Sulama suyu toprak yüzeyinde yerçekiminin etkisi ile ilerlerken infiltrasyonla toprak içerisine girmekte ve bitki kök bölgesinde depolanmaktadır. Basınçlı sulama yöntemlerinden yağmurlama sulama yönteminde, tarla parseli üzerine belirli aralıklarla yerleştirilen yağmurlama başlıklarından su basınç altında püskürtülerek doğal yağışa benzer biçimde atmosfere verilmektedir. Buradan toprak yüzeyine düşen su, infiltrasyonla toprak içerisine girmekte ve kök bölgesinde depolanmaktadır. Damla sulama yönteminde ise, bitki yakınına yerleştirilen damlatıcılardan, su damlalar biçiminde düşük debi ile toprağa verilmektedir. Su, toprak yüzeyinden toprak içerisine infiltrasyonla girmekte, yerçekimi ve kapılar kuvvetlerin etkisi ile bitki köklerinin geliştiği ortamda depolanmaktadır.

Hizmet ettikleri alan açısından sulama sistemlerini, büyük sulama sistemleri ve tarla sulama sistemleri biçiminde ikiye ayırmak mümkündür. Büyük sulama sistemleri, binlerce hektar alana hizmet edecek şekilde kurulur. Tarla sulama sistemleri ise bir ya da birkaç tarım işletmesine hizmet götüren küçük kapasiteli sulama sistemleridir. Su kaynağı, büyük sulama sistemlerinin tersiyer kanalları üzerindeki tarla prizleri olabileceği gibi, işletmeye ait kuyu, gölet ya da küçük bir akarsu olabilmektedir. Tarla sulama sistemine; çiftlik sulama sistemi, tersiyer altı sulama sistemi ya da tarla içi su dağıtım sistemi gibi isimler de verilmektedir.

Sulama projesi ise, sulama ve drenaj sistemlerini de içine alan bir kavramdır ve sulu tarım alanı, bu alan üzerindeki sulama ve drenaj sistemleri ile sulu tarım alanında alınan tüm diğer teknik ve biyolojik önlemleri kapsamaktadır.

SULAMA SİSTEMLERİ

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

Sulama sistemlerini, hizmet ettikleri alana göre, büyük sulama sistemleri ve tarla sulama sistemleri, su iletim ve dağıtımına göre ise, yüzey ve basınçlı (düşük ve yüksek basınçlı) sulama sistemleri biçiminde sınıflandırmak mümkündür (Şekil 2.1).

Bir önceki bölümde de belirtildiği gibi, büyük sulama sistemleri, binlerce hektar alana hizmet götüren sulama sistemleridir. Sistem unsurlarının kapasiteleri büyüktür. Çok fazla miktarda yatırımı gerektirdiğinden bu tip sistemler devlet eliyle gerçekleştirilmektedir. Kurulması ve işletilmesini Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü üstlenmiştir.



Şekil 2.1. Sulama sistemlerinin sınıflandırılması

Tarla sulama sistemleri, bir ya da birkaç tarım işletmesine hizmet götüren küçük kapasiteli sistemlerdir. Bu sistemlere, çiftlik sulama sistemleri, tarla içi su dağıtım sistemleri ya da tersiyer altı sulama sistemleri adı da verilmektedir. Bir büyük sulama sistemine ait tersiyer kanalların altında çok sayıda tarla sulama sistemi bulunur. Büyük sulama sistemlerinin olmadığı yerlerde, bireysel tarla sulama sistemleri kurulabilmektedir. Bu sistemlerin yapımını, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Tarım Bakanlığına bağlı kuruluşlar ya da bireysel olarak çiftçiler gerçekleştirmektedir.

Yüzey sulama sistemlerinde suyun iletimi ve dağıtımı, toprak ya da kaplamalı açık kanallarla yapılmaktadır. Bu nedenle bu sistemlere, yerçekimi sulama sistemleri ya da açık kanal sistemleri adı da verilmektedir. Sulamada kullanılan en yaygın sistemlerdir. Genellikle, yüzey sulama yöntemleri söz konusu olduğunda kullanılırlar.

Düşük basınçlı sulama sistemlerinde suyun iletimi ve dağıtımı, toprak altına gömülü ya da toprak yüzeyine serili düşük basınçlı boru hatları ile yapılmaktadır. Yüzey sulama yöntemleri söz konusu olduğunda ve suyun açık kanallarla iletimi ve dağıtımı güç olduğunda tercih edilirler. Bu sistemlerde iletim sırasındaki buharlaşma ve sızma kayıpları pratik olarak ortadan kalkar ve su kontrollü kolaylaşır.

Yüksek basınçlı sulama sistemlerinde, so bitkiye kadar yüksek basınca dayanıklı boru hatları ile ulaştırılır. Yağmurlama ve damla sulama yöntemleri söz konusu olduğunda bu tip sistemler kullanılır.

Herhangi bir sulama sistemi kurulmadan önce, sistemin planlanması, sistem unsurlarının boyutlandırılması, sistemin kurulması ve işletilmesi için gerekli tüm bilgiler yapılacak etütlerle derlenmelidir. İyi projelendirilmiş ve projede öngörüldüğü gibi kurulan ve işletilen bir sulama sistemi ile, mevcut su kaynağından sağlanan sulama suyundan en üst düzeyde yararlanılır.

Büyük kapasiteli yüzey sulama sistemleri bu bölümde kısaca açıklanacak, tarla sulama sistemlerine ilerideki bölümlerde yer verilecektir.

2.1. SULAMA PROJELERİ

Genel olarak sulama projeleri, tarımsal üretim için suyun kontrollü olarak toprağa verildiği tesislerden oluşmaktadır. Sulama projeleri büyüklükleri yönünden bir ya da birkaç çiftlik biriminden binlerce hektarlık birimlere kadar değişebilir.

Küçük bir tarım işletmesine ait sulama projesinde, suyun temini, iletimi ve dağıtımında küçük kapasiteli yapılar kullanılmasına karşın, büyük sulama projelerinde yapılar daha büyük kapasiteli ve karmaşıktır.

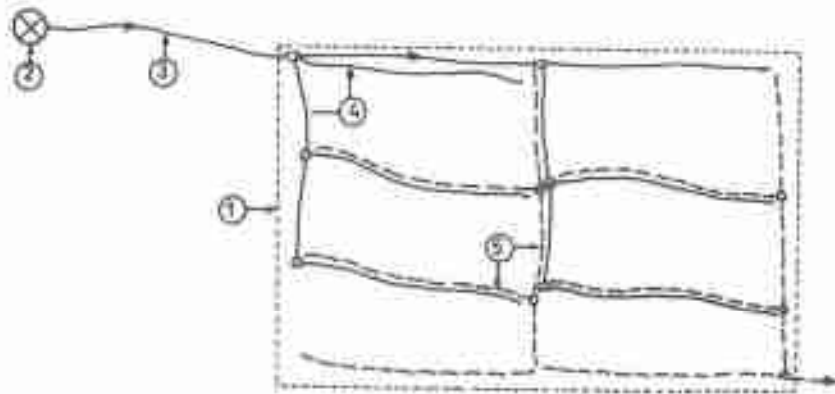
2.1.1. Sulama Projesi Unsurları

Bir sulama projesi şu unsurlardan oluşur (Şekil 2.2).

- 1) Sulanan tarım arazisi,
- 2) Suyun temin edildiği tesisler,
- 3) Suyun proje alanına iletildiği tesisler,
- 4) Suyun dağıtımına ile ilgili mühendislik tesisleri ve
- 5) Drenaj tesisleri.

Burada sıralanan tüm unsurların ayrıntılı bir biçimde hazırlanması sonucu birim alandan elde edilen ürünün artırılmasına olanak sağlanmış olur.

Bir sulama projesi alanında, suyu tarımda kullanılabilen tüm alanı sulanabilir arazi denir ve toplam proje alanını oluşturur. Proje alanı sulama suyu ihtiyacı hesaplarında, toplam proje alanının %94'ü, ekonomik analiz hesaplarında ise toplam proje alanının %84,6'sı göz önüne alınır. Bunun nedeni, toplam proje alanı içerisinde, tarımsal yollar, sulama ve drenaj sistemlerine ait kanallar gibi tarım dışı alanların söz konusu olmasıdır. Bu tarım dışı alanların, toplam proje alanının % 6'sı olduğu yaklaşımla yapılır. Bunun yanında, Ülkemiz koşullarında, sulama suyu ihtiyacı hesaplanan ve sulanması öngörülen alanın tamamında



Şekil 2.2 Sulama projesi unsurları

sulamanın gerçekleştirilemediği ve bu alanın ancak % 90'ının sulanabildiği DSİ Genel Müdürlüğü teknisyenlerince belirtilmektedir. Dolayısıyla, gelir artışı sağlanabilecek arazi, toplam proje alanının % 84,6'sı (% 94 x % 90) kadar olmaktadır.

Küçük bir tarım işletmesine ait sulama projesinde, suyun temini, iletilmesi ve dağıtımında, küçük bir saptırma savağı, düşük kapasiteli bir pompa birimi, küçük kapasiteli kanallar, küçük çaplı boru hatları ve basit su kontrol yapıları yeterli olabilir. Buna karşın büyük sulama projelerinde, sulama sisteminin tüm unsurları daha büyük, karmaşık ve pahalıdır. Buna örnek olarak, depolama barajları, regülatörler, bentler, kaptaj tesisleri, kuyular, galeriler, kilometrelerce uzunlukta kanallar, büyük çaplı borular, çok sayıda kontrol yapısı ve ek tesisler sayılabilir.

Sulama projelerinde sulama suyunun tarla parsellerine kadar dağıtımı değişik kesitli açık kanallarla ya da basınçlı boru hatları ile yapılmaktadır.

Bir sulama projesinin en önemli unsurlarından biri de, bitki için zararlı olabilecek fazla suyun araziden uzaklaştırıldığı drenaj tesisleridir. Drenaj sistemi bulunmayan bir sulama projesini düşünmemek gerekir.

2.1.2. Sulama Projelerinin Sınıflandırılması

Sulama projelerini, projeyi idare edenlerin organizasyon biçimine ve suyun temini ve dağıtımında kullanılan yöntemlere göre iki grup altında toplamak mümkündür. İlkinde, özel, ticari, kooperatif ve devlet sulama projeleri, ikincisinde ise, yerçekimi, pompaj ve kombine sulama projeleri söz konusudur (Şekil 2.3).

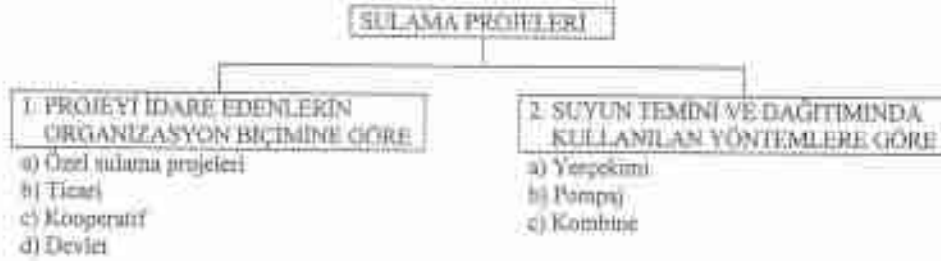
Komumuz açısından ikinci sınıflandırma daha önemlidir. Bu sınıflandırmada yer alan projelerden en çok kullanılan yerçekimi sulama projeleridir. Son yıllarda, sulama geliştirme çalışmalarının çoğu kombine amaçlı projelerin bir parçası olarak planlanmakta ve inşa edilmektedir.

2.1.3. Sulama Projelerinde Sağlanması Gerekli Koşullar

Sulama projelerinin başarılı olabilmesi için gerekli koşullar şöylece sıralanabilir.

1) Mevcut iklim koşullarında, özellikle sıcaklık ve büyüme mevsimi uzunluğu bitkilerin iyi bir biçimde gelişmesine ve olgunlaşmasına uygun olmalıdır.

2) Sulanabilir alan içerisindeki arazi; toprak, topografya ve drenaj bakımından devamlı tarımsal işleme uygun olmalıdır.



Şekil 2.3: Sulama projelerinin sınıflandırılması

3) Temin edilen su, miktar ve kalite açısından sulamaya uygun olmalıdır.

4) Suyun maliyeti, çiftçinin ödeyebileceği düzeyde olmalıdır.

2.1.4. Sulama Projelerinin Hazırlanmasında Gerekli Bilgiler

Sulama projelerinin iyi bir biçimde hazırlanabilmesi için bazı bilgilere gerek vardır. Bu bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

1) Proje alanının topografik haritası : Sulama projelerinin yapılabilmesi için 1/500 - 1/25000 ölçekli topografik haritalara gerek vardır. Bu haritalar, ya harita Genel Komutanlığı, Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü gibi kurumlardan sağlanır ya da arazide topografik ölçümler yapılarak hazırlanır. Haritalardaki tesviye eğrilerinin aralıkları 0,25 - 1,00 m arasında değişir.

2) Proje alanının sulu tarım arazi sınıflandırma (SAT) haritası : Sulu tarım arazi sınıflandırma haritası, topografik haritalardan yararlanarak hazırlanır. Bu tip haritaların yapımında, arazi gözlemleri ve laboratuvar analizleri sonucunda elde edilen bulguların yararlanır. Proje alanının sulu tarım yönünden özelliklerini belirleyen bu haritalarda altı sınıf bulunur, bu sınıfların özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

1. sınıf arazi : Hiçbir kısıtlayıcı faktöre sahip olmayan sulanabilir araziyi göstermektedir. Haritada sarı renge boyanır.

2. sınıf arazi : Toprak, topografya ve drenaj yetersizliği nedeniyle sınıfı düşük sulanabilir araziyi göstermektedir. Haritada yeşil renge boyanır.

3. sınıf arazi : İkinci sınıfa oranla daha çok toprak, topografya ve drenaj yetersizliğine sahip araziyi göstermektedir. Haritada mavimsi yeşil renge boyanır.

4. sınıf arazi : Üçüncü sınıfa oranla daha çok toprak, topografya ve drenaj yetersizliğine sahip ve ancak bazı bitkilerin sulanması ekonomik olan araziyi göstermektedir. Haritada kahverengine boyanır.

5. sınıf arazi : Mevcut durumda sulamaları uygun olmayan, ancak sulanabilmeleri için daha fazla etüdü gerektirecek kadar değerli olan araziyi göstermektedir. Bu tip arazi, geçici olarak sulanamayan, ek olarak yapılacak mühendislik çalışmaları sonucunda sulanabilir sınıflardan birine katılan yada sulama dışı bırakılan arazidir. Haritada pembe renge boyanır.

6. sınıf arazi : Çok değişik kısıtlayıcı faktörler nedeniyle sulanabilir özellikte olmayan araziyi göstermektedir. Haritada boyanmaz.

2) Proje alanındaki bitki deseni : Sulanacak alanda yetiştirilen ya da yetiştirilmesi düşünülen bitkilerin bu alana dağılışı, uygulamada bitki deseni (bitki paterni) olarak adlandırılır. Proje alanındaki ortalama sulama suyu ihtiyacı bitki desenine göre hesaplanır.

Bitkinin ihtiyacı olan su ile araziye verilmesi gereken sulama suyu aralığında fark vardır. Projelerde, araziye verilmesi gereken sulama suyunun hesabı yapılır ve aylara dağılımı belirlenir. Sonuçta, bitkilerin sulama suyuna en çok ihtiyaç duydukları ay saptanır. Bu aylar genellikle Temmuz ya da Ağustos'tur. Su alma yapısı ile su iletim ve dağıtım kanallarının kapasiteleri bitkilerin bu kritik devredeki sulama suyu ihtiyacına göre belirlenir.

3) Proje alanında taban suyu durumu : Havzadaki taban suyu seviyesi, tarımı yapılan bitkilerin kök derinliği bakımından önemlidir. Taban suyu, gözlem kuyularından yararlanılarak etüt edilir ve taban suyu seviye haritaları çıkarılır. Bu haritalardan yararlanılarak yüzlek ve derin drenaj kanallarının geçeceği yerler saptanır. Buna paralel olarak kanalların aralıkları da laboratuvar ve arazi denemeleri ile bulunan permeabilite değerlerine göre belirlenir.

4) Proje alanının hidrolojik etütleri : İlk aşamada, yağışlar ve bölge akarsularının etütleri yapılır. İkinci aşamada, havzada yetiştirilen bitkilerin su ihtiyaçları saptanır.

Havzaya düşen 5, 10 ve 15 yıllık yağışlar belirlenir. Bunlar, bitkiye verilecek sulama suyunun ve drenaj şebekesinin hesabı için gereklidir.

Bölge akarsularının gözlemleri yapılır. En az 20 yıllık gözlem sonuçları gerekmektedir. Akarsularda debi ve seviye ölçmeleri yanında taşkınların ölçülmesi ve tahminlerine de gerek vardır.

Bütün bu kısıtlar belirlendikten sonra, proje alanında bitki deseni göz önüne alınarak aylara göre birim alan sulama suyu ihtiyacı saptanır. Buna sulama

modülü denir ve L/s/ha cinsinden ifade edilir. Su iletim ve dağıtım kanallarının boyutlandırılmasında, en yüksek sulama modülü değeri dikkate alınır.

5) Proje alanındaki akarsulara ilişkin bilgiler : Proje alanından geçen akarsular ayrıntılı olarak etüt edilir. Seviye ve debi gözlemleri yapılır. Akarsuların belirli yerlerine konulan eşeller yardımıyla akarsuyun taşıdığı su miktarı belirlenir. Proje alanı sulama suyu ihtiyacının bu akarsularla karşılanıp karşılanamayacağı saptanır.

6) Proje alanındaki suların kaliteleri : Proje alanındaki su kaynaklarına ilişkin suların sulamaya uygunluk yönünden kaliteleri, laboratuvar analizleriyle belirlenir. Tarımı yapılacak bitkilerin mevcut su kaynakları ile sulanıp sulanmayacağına karar verilir.

7) Proje alanında yapılacak tesislerde kullanılacak malzeme : Proje alanı için gerekli su yapıları ve diğer tesislerde kullanılacak malzemenin yeri, malzemeyi inşaat yerine taşımak için yol durumu ve malzeme ocaklarının kapasiteleri etüt edilir. Bunun yanında, su iletim ve dağıtım ağının tüm kanalları boyunca değişik aralıklarla zemin sondajlarının yapılması gerekir.

2.2. SULAMA PROJELERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Büyük alanlara hizmet eden sulama projelerinin geliştirilmesi, genellikle beş aşamada tamamlanır. Bunlar sırasıyla; ön etüt, planlama, inşa, yerleşme, işletme ve bakım aşamalarıdır.

Ön etüt aşamasında, bölgenin arazi, su, bitki, insan gücü gibi faktörleri göz önüne alınarak projenin uygulanıp uygulanmayacağına karar verilir.

Planlama aşamasında, önce bir ön planlama yapılır ve projenin ekonomik yönden uygunluğu etüt edilir. Daha sonra, projenin tüm unsurlarının yer ve güzergahlarının belirlendiği ayrıntılı su ve arazi kullanma planlaması yapılır. Sonunda, sulama projesinin tüm unsurları ayrı ayrı boyutlandırılır.

İnşa aşamasında, projenin tüm unsurları inşa edilir.

Yerleşme aşamasında, işletmeler için uygun parsel büyüklükleri saptanır. Çiftçiye dağıtım yapılır. Gerekli donanım temin edilir. Yerleşme olanakları sağlanır.

İşletme ve bakım aşamasında ise, servis ömrü boyunca sulama ve drenaj sistemlerinin en yararlı biçimde kullanılması ve korunması sağlanır.

2.3. SULAMA SİSTEMİNİN UNSURLARI

Bu kısımda, daha önce de belirtildiği gibi yerçekimi sulama projelerinin uygulandığı büyük sulama sistemlerinin unsurları gözden geçirilecek, tarla sulama sistemlerinin unsurlarına ilerideki bölümlerde yer verilecektir. Tipik bir yerçekimi sulama sisteminin unsurları Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Şekilden de izleneceği gibi, yerçekimi sulama sistemlerinde başlıca beş unsur bulunur.

1) **Su toplama yapısı** : Sulama suyunun temin edildiği yere yapılan baraj, gölet, rezervuar, kayu, galeri, kaptaj tesisi vb. yapılardır.

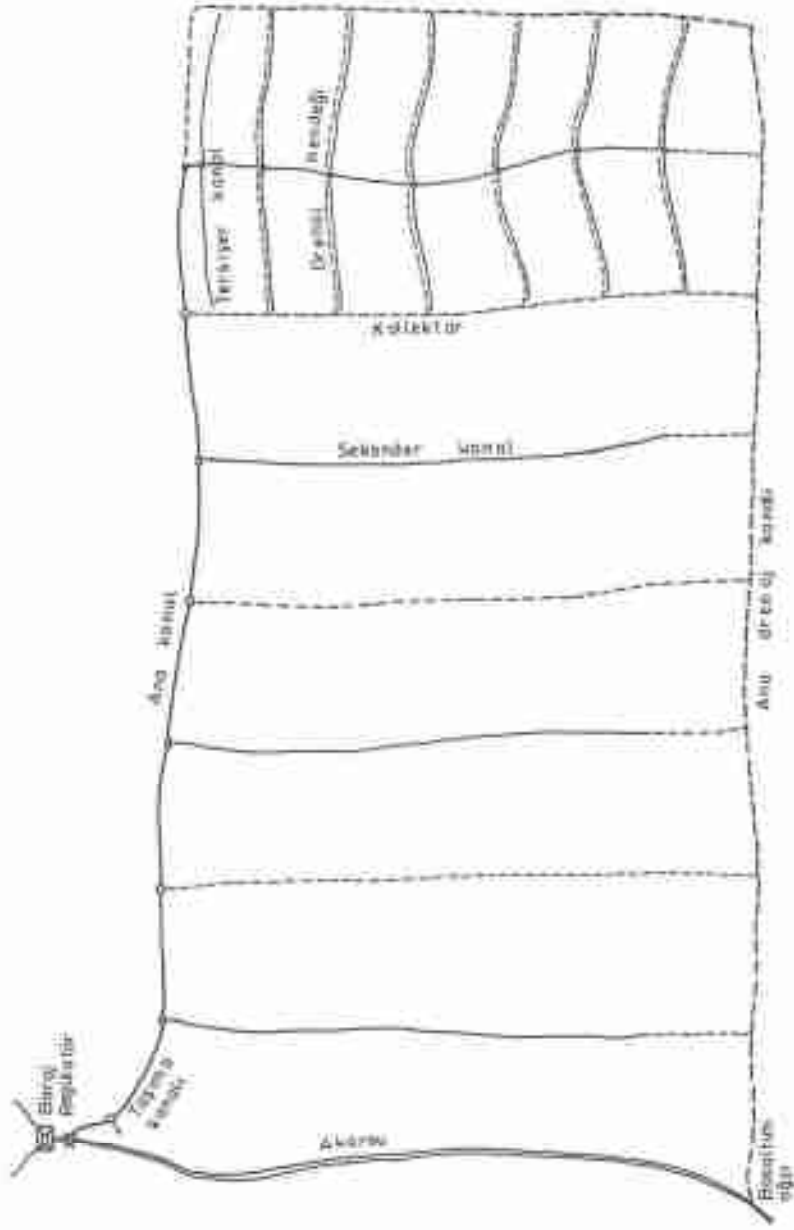
2) **Su alma yapısı** : Sulama suyunu doğal yatağından alıp taşıma kanalına ileten regülatör, bent, pompa birimi vb. yapılardır.

3) **Taşıma (sule) kanalı** : Sulama suyunu kaynaktan alıp proje alanına taşıyan kanaldır.

4) **Su dağıtım sistemi** : Sulama suyunu, proje alanındaki tarım işletmelerine kadar taşıyan kanallardır. Büyük sulama projelerinde suyun araziye kontrollü bir biçimde verilebilmesi için su dağıtım sistemine gerek vardır. Böyle bir sistemin unsurları ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

a) **Ana kanal** : Sulama suyunu taşıma kanalından alıp sulama alanına ileten kanaldır. Kanal güzergahı, tüm sulama alanına hakim konumdadır. Eğimi düşük, su taşıma kapasitesi yüksektir. Uzunlukları 40 - 50 km kadar olabilir. eğimleri 0.0002 - 0.0005 arasında seçilir. Siltasyonu önleme açısından kanalda akan suyun hızı 0.30 m/s den düşük olmalıdır. Düşük hız, toprak kanallarda aynı zamanda otlanmaya neden olduğundan hem kanal kapasitesi azalır, hem de kanalın temizlenmesi zor ve masraflı olur. Oyalmayı önleme açısından ise kanalda akan suyun hızı, beton kanallarda 2.4 m/s, toprak kanallarda 1.2 m/s den fazla olmamalıdır. Ana kanaldaki su seviyesine emniyetli bir hava payı verilmelidir. Kaplamasız ve kaplamalı kanallara verilecek hava payı tabaklar yardımı ile hesaplanır. Ana kanaldan yedek kanala geçişte priz yük kaybı 10 cm alınır. Ana kanal bütün sulama alanına su verecek kapasitede olmalıdır. Ana kanalın bakımı için kanal boyunca servis yolu yapımı gerekir. Bazı yerlerde kanaldan çıkan sedde toprağı sıkıştırılıp yol olarak kullanılır.

b) **Yedek (sekonder) kanallar** : Suyu ana kanaldan alıp tersiyer kanala iletirir. Uzunlukları, arazinin topografik durumuna göre 10 - 15 km kadar olabilir. Arazinin hakim eğim doğrultusunda inşa edilirler. Kanal eğimi 0.007 den az olmalıdır. Arazi eğimi bu değerden fazla ise kanal üzerine çit ve düşüm tesisleri yapılır. Kanal aralıkları 5 - 6 km civarında olabilir. Yedek kanaldan tersiyer kanala geçişte priz yük kaybı 10 cm alınır. Yedek kanalların bakımı ve prizlerde su kontrolü için kanala paralel servis yolu yapımı gerekir.



Şekil 2.4 Yerçekimi sulama sistemi unsurları

c) **Tersiyer kanallar** : Yedek kanaldan aldıkları suyu tarım işletmelerine verirler. Tersiyer eğrilerine paralel doğrultuda inşa edilirler. Eğimleri çok düşüktür ve genellikle 0.0002 - 0.0005 arasında değişir. Kanaldan akan suyun hızı 0.5 m/s den az olmalıdır. Tersiyer kanalda akan suyun üst seviyesi, arazi yüzeyinden 20 cm yukarıda olmalıdır. Tersiyerlerin uzunlukları 2.5 - 3 km, aralıkları 300 - 400 m kadar olabilir. Tersiyer üzerinde 200 - 250 m aralıkla priz inşa edilir. Prizden alınan su, tarla içinde su dağıtımını sağlayan tarla sulama sistemine (tarla içi su dağıtım sistemi) verilir. Tersiyer kanalların kesitleri 2 yada 3 kez değiştirilir. Burada amaç, kanal boyunca prizden alınabilecek yükseklikte suyun akmasını sağlamaktır.

d) **Drenaj hendekleri (emciler)** : Üst tersiyer sulama alanının sulamadan artan suları ile yağış sularını alıp toplayıcı kanala iletirler. Tersiyer kanallara paralel inşa edilirler. Özellikleri aynıdır. Yüzey sularını alanların derinlikleri 0.6 m, taban arıtımı alanların derinlikleri 1.5 - 2 m arasında değişir.

e) **Kollektörler (toplayıcılar)** : Emici kanallardan aldıkları suyu, ana drenaj kanalına iletirler. Sekonder kanalın özelliklerini gösterirler. Boyutları, yedek kanala oranla genellikle daha büyüktür.

f) **Ana drenaj (tahliye) kanalı** : Toplayıcı kanallardan aldığı suyu bir boşaltma ağzına (çıkış yerine) iletir. Eğimi çok düşük, dolayısıyla keniti oldukça büyüktür. Ana sulama kanalı özelliklerini gösterir.

5) **Sulama yapıları** : Sulama yapıları, suyun temin edildiği yerdeki yapılar ve su dağıtımında kullanılan yapılar olmak üzere iki grupta toplanabilir. Suyun temin edildiği yerdeki yapılar; depolama yapıları, regülatör, su alma yapısı, pompa birimi, savak ve kontrol kapakları gibi yapılardır. Suyun dağıtımında kullanılan yapılar ise; akedük, sifon, şüt, düğüm tesisi, menfez, köprü, priz, su ayırma yapısı, kum ve çakıl kapakları, çökeltme havuzu ve su ölçme yapıları biçiminde sıralanabilir.

2.4. SULAMA SİSTEMLERİNİN İŞLETİLMESİ YÖNTEMLERİ

Sulama sistemlerinin işletilmesinde üç yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; istek, devamlı akış ve rotasyon yöntemleridir.

1) **İstek yöntemi** : Çiftçiler, işletmelerinde ihtiyaç duydukları sulama suyu miktarını ve sulama zamanını önceden sulama sistemini işleten kuruluşa bildirirler. Sulama suyu, çiftçi istekleri ükute alınarak dağılır. Sistem kapasitesini yükseltmemek için dağıtımda bazı kısıtlamalar getirilebilir. İsteğin fazla olması durumunda, su verme zamanını işletme saptar.

Suyun iletimi ve dağıtımında, ilk sekonder kanal ayrılıncaya kadarki ana kanal ile taşıma kanalı kapasitesi;

$$Q = q_{max} A \quad (2.1)$$

ve ilk sekonder ayrıldıktan sonra ana kanal ile sekonder ve tersiyer kanalların kapasiteleri;

$$Q = q_{max} AF \quad (2.2)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Bu eşitliklerde;

- Q = Kanal kapasitesi, L/s,
- q_{max} = Maksimum sulama modülü, L/s/ha,
- A = Kanalin hizmet ettiği sulama alanı, ha ve
- F = Esneklik (fleksibilite) katsayısıdır.

Eşitliklerdeki sulama modülü hakkındaki ilerideki bölümlerde ayrıntılı bilgi verilecektir. Esneklik katsayısı, sulanacak alanın büyüklüğü ve sulama modülüne göre farklılık gösterir. Bu değer, Şekil 2.5'ten yararlanarak bulunabilir.

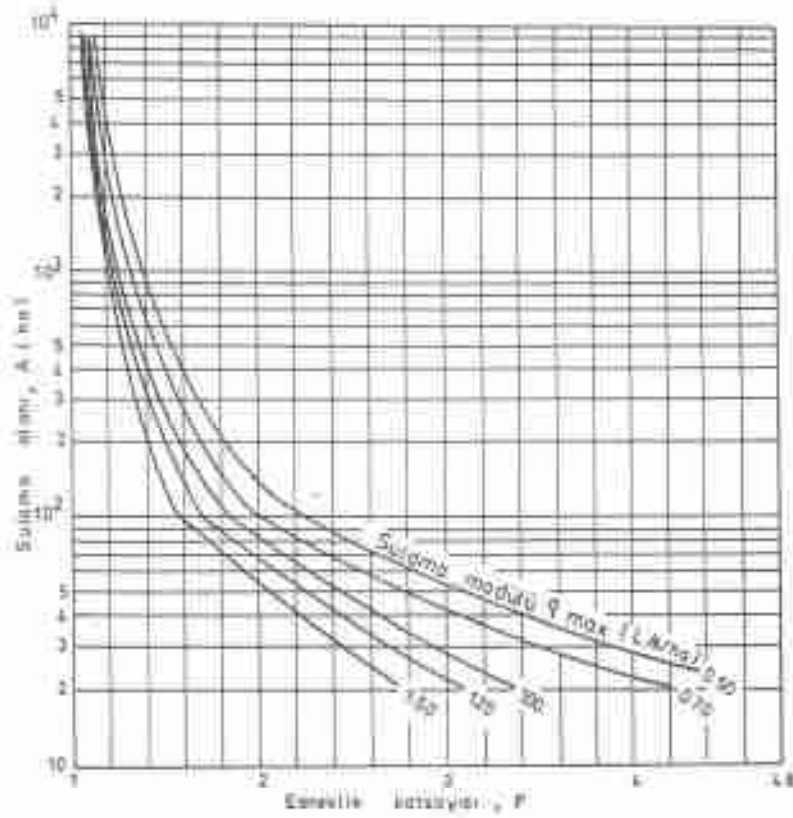
2) Devamlı akış yöntemi : Bu yöntemde sulama suyu, sistemde bulunan tüm kanallara devamlı olarak verilir. Sistem kapasitesi, proje alanında su ihtiyacının en fazla olduğu aydaki sulama modülüne göre saptanır. Başka bir deyişle, suyun iletim ve dağıtımındaki tüm kanallara verilerek kapasite (2.1) nolu eşitlikle hesaplanır.

3) Rotasyon yöntemi : Bu yöntemde sulama suyu, belirli zamanlarda belirli sekonder ve tersiyer kanallara sıra ile verilir. Her tersiyer kanal bir gün süre ile su alır. Bu süre içerisinde bu tersiyer kanal altındaki tüm tarla parselleri sulanır. Yöntemin esası, her sekonder kanala bağlı tersiyer kanalların ve ana kanala bağlı sekonder kanalların gruplara ayrılmasıdır. Eğer gerekirse, bir tersiyer kanaldan su alan çiftçiler de gruplara ayrılabilir. Bu durumda, her bir tersiyer grubuna gruplar çarpımından elde edilen zamanda su verilmiş olacaktır. Ülkemizde, her bir tersiyer grubuna genellikle 6 günde bir 24 saat müddetle su verilmektedir. Rotasyon yönteminde su dağıtım kanallarının kapasitesi;

$$Q = R_s R_t R_f q_{max} A \quad (2.3)$$

eşitliğinden yararlanarak hesaplanır. Eşitlikte;

- Q = Kanal kapasitesi, L/s,
- R_s = Sekonderlerin grup sayısı,
- R_t = Tersiyerlerin grup sayısı,
- R_f = Çiftçilerin grup sayısı,



Şekil 2.5 İstek yönteminde esneklik katsayısı

q_{max} = Maksimum sulama modülü, L/ha ve

A_s = Bir rotasyonda sulanacak en büyük çiftlik grubuna ait alan, ha

değerlerini göstermektedir.

Her üç yöntemin bazı özellikleriyle karşılaştırılması aşağıda verilmiştir.

1) İstek yönteminde; kanal kapasiteleri en büyük, su kaybı en az, geri ödeme en zordur ve kalifiye işçiyne ihtiyaç vardır.

2) Devamlı akış yönteminde; kanal kapasiteleri en küçük, su kaybı en çok, işletme en kolay, geri ödeme en basittir ve işçinin kalifiye olması gerekmez.

3) Rotasyon yönteminde ise su en uygun biçimde kullanılır ve bakım en kolaydır.

Açık kanalların boyutlandırılmasında, kanal kapasitesi ve kanal taban eğimi değerlerine ihtiyaç vardır. Kanal taban eğimi, kanal güzergahı boyunca yapılacak profil nivelmanı ile saptanır. Açık kanalların kesit optimum olacak biçimde boyutlandırılması konusu ilerideki bölümlerde verilecektir. Sulama sistemlerinin farklı işletme yöntemlerine göre kanal kapasitelerinin hesaplanmasına ilişkin bir örnek ise aşağıda verilmiştir.

Örnek :

Verilenler :

Şekil 2.6 da gösterilen kanal sisteminde;

-Her tersiyerin suladığı alan, $A_t = 100$ ha

-Maksimum sulama modülü, $q_{max} = 1$ L/s/ha

-Rotasyon yönteminde sekonderler 2, tersiyerler 3 gruba ayrılacak ve tersiyer altındaki çiftçiler 1 grup olacaktır ($R_s = 2$, $R_t = 3$, $R_c = 1$)

İstenenler :

-İstek, devamlı akış ve rotasyon yöntemine göre kanalların kapasiteleri

Çözüm :

a) İstek yöntemine göre;

1) Tersiyer kanal kapasiteleri;

$A = 100$ ha ve $q_{max} = 1$ L/s/ha için $F = 1.78$ (Şekil 2.5)

$$Q = q_{max} AF = 1 \times 100 \times 1.78 = 178 \text{ L/s}$$

2) Sekonder kanal kapasiteleri;

$A = 600$ ha ve $q_{max} = 1$ L/s/ha için $F = 1.32$ (Şekil 2.5)

$$Q = q_{max} AF = 1 \times 600 \times 1.32 = 792 \text{ L/s}$$

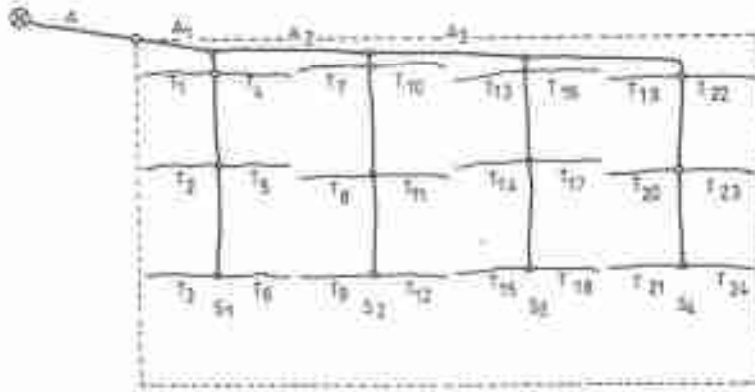
3) A_3 ana kanal kapasitesi;

$A = 1200$ ha ve $q_{max} = 1$ L/s/ha için $F = 1.24$ (Şekil 2.5)

$$Q = q_{max} AF = 1 \times 1200 \times 1.24 = 1488 \text{ L/s}$$

4) A_2 ana kanal kapasitesi;

$A = 1800$ ha ve $q_{max} = 1$ L/s/ha için $F = 1.16$ (Şekil 2.5)



Şekil 2.6. Örnek çözüme ilişkin sulama sistemi

$$Q = q_{\max} AF = 1 \times 1800 \times 1.16 = 2088 \text{ L/s}$$

5) A taşıma kanalı ile A₁ ana kanal kapasitesi;

$$Q = q_{\max} A = 1 \times 2400 = 2400 \text{ L/s}$$

b) Devamlı akış yöntemine göre;

1) Tersiyer kanal kapasiteleri;

$$Q = q_{\max} A = 1 \times 100 = 100 \text{ L/s}$$

2) Sekonder kanal kapasiteleri;

$$Q = q_{\max} A = 1 \times 600 = 600 \text{ L/s}$$

3) A₃ ana kanal kapasitesi;

$$Q = q_{\max} A = 1 \times 1200 = 1200 \text{ L/s}$$

4) A₂ ana kanal kapasitesi;

$$Q = q_{\max} A = 1 \times 1800 = 1800 \text{ L/s}$$

5) A taşıma kanalı ve A₁ ana kanal kapasiteleri;

$$Q = q_{\max} A = 1 \times 2400 = 2400 \text{ L/s}$$

c) Rotasyon yöntemine göre;

1) Rotasyon biçimi;

Sekonder grup sayısı 2 olduğundan her grupta 2 sekonder, bir sekonder kanaldaki tersiyer grup sayısı 3 olduğundan her sekondere ait her bir tersiyer grubunda 2 tersiyer bulunacaktır. Bir tersiyer kanaldaki çiftçi grup sayısı 1 olduğundan her bir tersiyer altındaki tüm çiftçiler aynı anda su alacaktır. Her tersiyer kanala;

$$R_s R_t R_f = 2 \times 3 \times 1 = 6$$

günde bir 24 saat müddetle su verilecektir. Bu durumda, hangi gün hangi kanala su verileceği Çizelge 2.1 de gösterildiği gibi programlanabilir.

2) Tersiyer kanal kapasiteleri;

$$Q = R_s R_t R_f q_{\max} A_t = 2 \times 3 \times 1 \times 1 \times 100 = 600 \text{ L/s}$$

3) A₁ ana kanal ve sekonder kanal kapasiteleri;

$$Q = 600 \times 2 = 1200 \text{ L/s}$$

4) A taşıma kanalı ile A₁ ve A₂ ana kanal kapasiteleri;

$$Q = 1200 \times 2 = 2400 \text{ L/s}$$

Çizelge 2.1 Örnek çözümde rotasyon yöntemine ilişkin sulama programı

Günler	Su verilecek sekonderler	Su verilecek tersiyerler
1	S ₁ ve S ₃	T ₁ , T ₃ , T ₁₃ ve T ₁₆
2	S ₁ ve S ₃	T ₂ , T ₃ , T ₁₄ ve T ₁₇
3	S ₁ ve S ₃	T ₅ , T ₆ , T ₁₅ ve T ₁₈
4	S ₂ ve S ₄	T ₇ , T ₁₀ , T ₁₉ ve T ₂₂
5	S ₂ ve S ₄	T ₈ , T ₁₁ , T ₂₀ ve T ₂₃
6	S ₂ ve S ₄	T ₉ , T ₁₂ , T ₂₁ ve T ₂₄

TOPRAK - BİTKİ - SU İLİŞKİLERİ

Bitkiler topraktan yeterli kadar su alamadıklarında, toprak üstü aksamında yeni gelişmeleri durdurmakta ve gövdede su ile karbonhidratların kullanılmasını en az düzeye indirerek kökün gelişmesine yardımcı olmaktadır. Toprakta su belirli bir düzeyin altına düştüğünde ise bitki faaliyetleri tamamen durmaktadır. Bunun yanında, iyi bir kök gelişimi için toprakta yeterli düzeyde havanın da bulunması gerekmektedir. Toprakta suyun fazla olduğu koşullarda, toprak taneleri arasındaki boşluklar su ile dolduğundan hava miktarı azalmaktadır. Bu nedenle, bitki kök bölgesindeki su ve hava miktarının en iyi bitki gelişimini sağlayacak biçimde dengelenmesi, istenen düzeyde ürün elde edilmesi açısından oldukça önemlidir. Dolayısıyla, bitkisel üretimin artırılması, toprak, bitki ve su arasındaki ilişkilerin bilinmesine bağlıdır.

3.1. SULAMA YÖNÜNDEN ÖNEMLİ BAZI TOPRAK ÖZELLİKLERİ

Toprak fazları : Toprak, arz kabuğunun fiziksel, kimyasal ve biyolojik parçalanmasından oluşan geçirgen bir ortamdır. Katı (toprak taneleri), sıvı (su) ve gaz (hava) fazlarından oluşmaktadır. Su ve hava, toprak taneleri arasındaki boşluklarda bulunmaktadır. Toprağın katı fazı ile boşluk hacmi arasındaki oran, toprak özelliklerine göre değişmektedir.

Toprak bünyesi : Toprağı oluşturan tanelerin büyüklük dağılımına toprak bünyesi denir. Toprak taneleri büyüklüğü, 0.00001 mm'den başlayarak 2 mm'ye kadar değişmektedir. Büyüklüğü 2 mm'yi aşan tanelere çakıl adı verilir ve bunlar toprak tanesi olarak sınıflandırılmazlar. Büyüklüğü 0.002 mm'den az toprak tanelerine kil, 0.002-0.05 mm arasındakilere mil (silt) ve 0.05-2 mm arasındakilere ise kum adı verilmektedir.

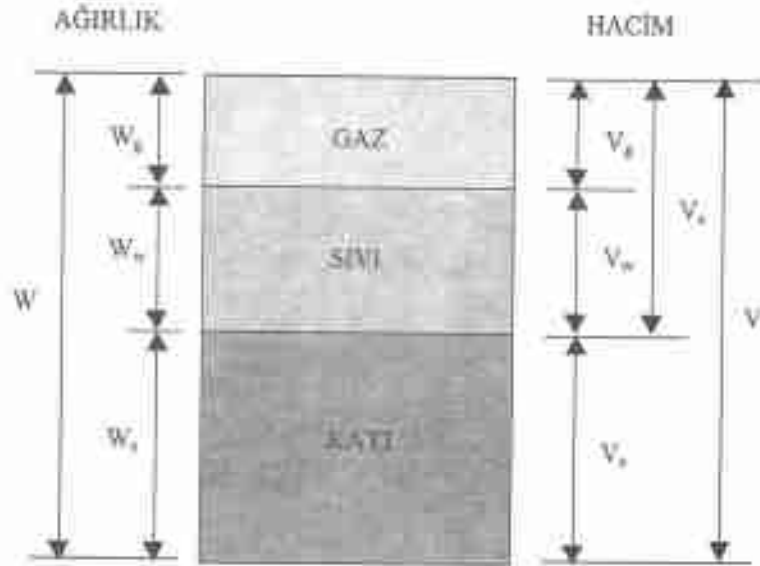
Yapılan analizler sonucunda, toprak örneğindeki kum, mil ve kil miktarları, toprak ağırlığının yüzdesi cinsinden ifade edilmekte ve bünye üçgeninde değerlendirilerek toprak bünye sınıfı belirlenmektedir. Toprağın katı fazını oluşturan kum, mil ve kilin % değerlerine bağlı olarak 12 toprak bünye sınıfı vardır. Bunlar, iriden inceye doğru olmak üzere, kum, tınlı kum, kumlu tın, tın, milli tın, mil, kumlu killi tın, killi tın, milli killi tın, kumlu kil, milli kil ve kildir.

Kumlu topraklara hafif (laba) bünyeli, killi topraklara ağır (ince) bünyeli ve tınlı topraklara ise orta bünyeli toprak adı verilmektedir.

Hafif bünyeli toprakların hava ve su geçirgenlikleri yüksektir. Bu topraklar bitki köklerini yayılması için uygun bir ortam oluştururlar. Ağır bünyeli toprakların hava ve su geçirgenlikleri oldukça düşüktür ve bu tip topraklarda bitki köklerinin yayılması oldukça güçtür. Organik madde miktarı, verimlilik potansiyeli ve su tutma kapasitesi değerleri, ağır bünyeli topraklarda yüksek, hafif bünyeli topraklarda ise düşüktür. Ayrıca, toprak işleme ağır bünyeli topraklarda güç, hafif bünyeli topraklarda daha kolaydır. Orta bünyeli topraklarda değinilen özellikler, ağır ve hafif bünyeli topraklardaki özellikler arasında kalmaktadır.

Toprak yapısı : Toprak tanelerinin dizilişi ve gruplar halinde kümeleşme biçimine toprak yapısı denilmektedir. Bunun yanında, doğal toprak kümelerine pod adı verilmektedir. Eğer, toprak taneleri tümüyle ayrı ise (ped yoksa), taneli ya da tekseki yapı, eğer kümeleşme söz konusu ise (ped varsa), agregat şeklindeki (levhali, prizma benzeri, blok benzeri, granüle, fırda) ya da kümeli yapı adını almaktadır. Agregat şeklindeki yapı, özellikle ağır bünyeli topraklarda, su ve hava geçirgenliğini arttırdığından istenen bir özelliktir.

Toprağın özgül ağırlığı (toprak tanelerinin yoğunluğu) : Belirli bir toprak örneğindeki katı, sıvı ve gaz fazları Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilmiştir. Şekilde fazlara ilişkin hacimler V , ağırlıklar ise W sembelleri ile belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Toprak fazlarının ağırlık ve hacim sembelleri

Toprağın özgül ağırlığı, toprak taneleri hacim ağırlığının +4 °C'taki an suyun hacim ağırlığına oranıdır. Toprağın özgül ağırlığı boyutsuz bir kavramdır ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} = \frac{W_s}{V_s} \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

G_s = Toprağın özgül ağırlığı,

γ_s = Toprak tanelerinin hacim ağırlığı, g/cm³,

γ_w = +4 °C sıcaklıktaki an suyun hacim ağırlığı, g/cm³,

W_s = Toprak tanelerinin ağırlığı, g ve

V = Toprak tanelerinin hacmi, cm³'tür.

Toprağın özgül ağırlığı genellikle 2.40-2.75 arasında değişmektedir. Ortalama bir değer olarak 2.65 alınabilir.

Toprağın hacim ağırlığı : Belirli bir toprak örneğinde, toprak taneleri ağırlığının toplam örnek hacmine oranıdır ve;

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V} \quad (3.2)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Eşitlikte;

γ_s = Toprağın hacim ağırlığı, g/cm³,

W_s = Toprak tanelerinin ağırlığı, g ve

V = Toprak örneğinin hacmi, cm³'tür.

Toprağın hacim ağırlığı, toprak neminin derinlik cinsinden ifadesinde kullanılan önemli bir parametredir. Toprağın yapısına, bünyesine ve sıkışma derecesine bağlı olarak değişmektedir. Ağır bünyeli topraklarda düşük, hafif bünyeli topraklarda ise yüksektir.

Porozite : Toprak örneğindeki boşluk (güzenek) hacminin örneğin toplam hacmine oranının yüzde cinsinden ifadesidir. Porozite;

$$n = 100 \frac{V_v}{V} \quad (3.3)$$

ya da yalnızca hacim ağırlığı biliniyorsa yaklaşık olarak;

$$n = 100 \left(1 - \frac{\gamma_s}{G_s \gamma_w} \right) = 100 \left(1 - \frac{\gamma_s}{2.65} \right) \quad (3.4)$$

eşitlikleri ile hesaplanabilir. Bu eşitliklerde;

n = Porozite, %,

- V_v = Toprak örneğinin boşluk hacmi, cm^3 ,
 V = Toprak örneğinin toplam hacmi, cm^3 ,
 γ_r = Toprağın hacim ağırlığı, g/cm^3 ,
 G_s = Toprağın özgül ağırlığı ve
 γ_w = Suyun hacim ağırlığı, g/cm^3

değerlerini göstermektedir. Porozite, ağır bünyeli topraklarda yüksek, hafif bünyeli topraklarda ise düşük değerlerdedir.

Gözenek (boşluk) oranı : Toprak örneğindeki boşluk hacminin, toprak taneleri hacmine oranının yüzde cinsinden ifadesidir. Gözenek oranı;

$$e = 100 \frac{V_v}{V_s} \quad (3.5)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Eşitlikte;

- e = Gözenek oranı, %
 V_v = Toprak örneğinin gözenek hacmi, cm^3 ve
 V_s = Toprak taneleri hacmi, cm^3 'tür.

Gözenek oranı, taneli yapıya sahip topraklarda düşük, kümeli yapıya sahip topraklarda ise yüksek değerlerdedir.

Doyma derecesi (satürasyon) : Toprak örneğindeki su hacminin, boşluk hacmine oranının yüzde cinsinden ifadesidir. Doyma derecesi;

$$S = 100 \frac{V_w}{V_v} \quad (3.6)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Eşitlikte;

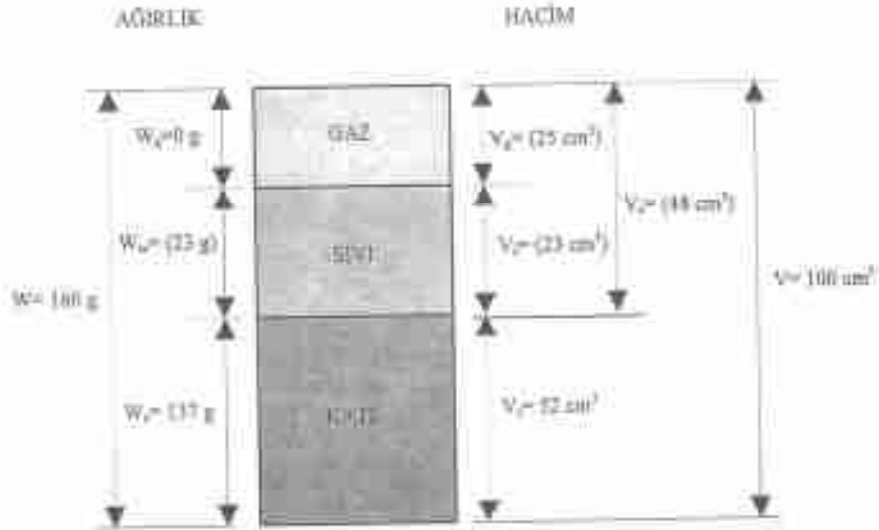
- S = Doyma derecesi, %
 V_w = Toprakta bulunan suyun hacmi, cm^3 ve
 V_v = Gözenek hacmi, cm^3 'tür.

Teorik olarak doyma derecesi, gözeneklerin tamamen su ile dolu olduğu doymuş toprak keşiflerinde % 100 değerini almaktadır.

Örnek :

Tarımdan alınan 100 cm^3 hacmindeki toprak örneği tartılmış ve yaş ağırlığı 160 g bulunmuştur. Toprak örneği kurutma fırınında $105^\circ C$ 'ta 24 saat bekletildikten sonra tekrar tartılmış ve kuru ağırlığı 137 g bulunmuştur. Toprak taneleri hacmi 52 cm^3 olarak ölçülmüştür. Bu verilere göre toprak örneğinin özgül ağırlığı, hacim ağırlığı, porozitesi, boşluk oranı ve doyma derecesi bulunmak istenmektedir.

Verilenler : Verilen değerler Şekil 3.2 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Sayısal örneğe ilişkin verilen ve bulunan bazı değerler.
(Bulunan değerler parantez içinde gösterilmiştir)

- Toplam hacim; $V = 100 \text{ cm}^3$
- Toplam ağırlık (yaş ağırlık); $W = 160 \text{ g}$
- Toprak tanecikleri ağırlığı (kuru ağırlık); $W = 137 \text{ g}$
- Toprak tanecikleri hacmi; $V_s = 52 \text{ cm}^3$

İstenenler:

- Özgül ağırlık
- Hacim ağırlığı
- Porozite
- Boşluk oranı
- Doyma derecesi

Çözüm:

1) Toprakta mevcut suyun ağırlığı;

$$W_w = W - W_s = 160 - 137 = 23 \text{ g}$$

2) Toprakta mevcut suyun hacmi;

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{23}{1} = 23 \text{ cm}^3$$

3) Gözenek hacmi;

$$V_v = V - V_s = 100 - 52 = 48 \text{ cm}^3$$

4) Özgül ağırlık;

$$G_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} = \frac{137}{52 \times 1} = 2.63$$

5) Hacim ağırlığı;

$$\gamma_v = \frac{W_s}{V} = \frac{137}{100} = 1.37 \text{ g/cm}^3$$

6) Porozite;

$$n = 100 \frac{V_v}{V} = 100 \times \frac{48}{100} = \%48$$

7) Gözenek oranı;

$$e = 100 \frac{V_v}{V_s} = 100 \times \frac{48}{52} = \%92.3$$

8) Doyma derecesi;

$$S = 100 \frac{V_w}{V_v} = 100 \times \frac{23}{48} = \%47.9$$

3.2. SULAMA SUYU UYGULANACAK TOPRAK DERİNLİĞİ

Sulama uygulamalarında, sulama suyu uygulanacak toprak derinliği olarak etkili bitki kök derinliği ya da etkili toprak derinliği dikkate alınmaktadır. Etkili bitki kök derinliği, bitkilerin normal gelişmeleri için gerekli olan suyun % 80 limit aldığı kök derinliği biçiminde tanımlanmaktadır. Etkili toprak derinliği ise, geçirimsiz tabaka ya da taban suyu kadar olan toprak derinliğidir. Sulama suyu uygulanacak toprak derinliği olarak genellikle etkili bitki kök derinliği alınmaktadır. Bunun yanında, taban suyu ya da geçirimsiz tabakanın yakında olduğu yüzlek topraklarda etkili toprak derinliği, bitkinin normal gelişmesinde sağlayacağı etkili kök derinliğinden daha az olabilir. Bu koşulda, sulama suyu uygulanacak toprak derinliği olarak etkili toprak derinliği dikkate alınmaktadır.

Genel olarak, derin topraklarda yetişen bitkiler ihtiyaç duydukları suyun önemli bir bölümünü kök bölgesinin üst kısmından alırlar. Bu nedenle,

sulama uygulamalarında, tüm kök bölgesi yerine etkili kök derinliğindeki toprağın ıslatılması yeterli olmaktadır.

Bitki kök derinliği en yüksek değerine genellikle olgunlaşma döneminde ulaşmaktadır. Gelişimin ilk dönemlerinde kök derinliğine bağlı olarak ıslatılacak toprak derinliği de azdır. Ancak, sulama sistemlerinde kapasite hesapları, en çok sulama suyuna ihtiyaç duyulan periyot için yapıldığından, hesaplarda olgunlaşma dönemindeki etkili bitki kök derinliği göz önüne alınmaktadır. Bazı kültür bitkileri için sulama uygulamalarında dikkate alınabilecek etkili kök derinliği değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

3.3. TOPRAK NEMİ İFADE BİÇİMLERİ

Toprak neminin ölçülmesi ve miktar olarak ifade edilmesi, sulatta zamanı ile her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarını belirlenmesi açısından önemlidir. Sulama yönünden toprak nemi farklı biçimlerde ifade edilebilmektedir.

Çizelge 3.1 Bazı kültür bitkilerinin olgunlaşma dönemine ilişkin etkili kök derinlikleri

Bitki cinsi	Etkili kök derinliği (cm)	Bitki cinsi	Etkili kök derinliği (cm)
Aspir	90	Keten	90
Ayçiçeği	90	Lahana	45
Bağ	120	Marul	45
Bezelye	90	Meyve ağaçları	120
Biber	60	Mısır	90
Çayır	90	Muz	60
Çilek	60	Pamuk	90
Domates	90	Patates	60
Enginar	90	Patlıcan	60
Fasulye	60	Soğan	45
Havuç	60	Sorgum	90
Hıyar	60	Soya	90
Hıfıbahar	90	Şeker pancarı	90
İspanak	60	Turuncgiller	120
Kabak	60	Tütün	90
Karpuz	90	Yer fıstığı	60
Kavun	90	Yonca	90

- 1) **Kuru ağırlık yüzdesi cinsinden ifade :** Toprakta bulunan nem miktarı, toprağın kuru ağırlığının yüzdesi cinsinden ifade edilmektedir. Toprak örneğindeki su ağırlığı, toprak tanelerinin ağırlığına (kuru ağırlık) oranlanarak bulunur.

$$P_w = 100 \frac{W_w}{W_s} = 100 \frac{W - W_s}{W_s} \quad (3.7)$$

Eşitlikte;

P_w = Toprağın kuru ağırlığının yüzdesi cinsinden nem miktarı, %

W_w = Toprak örneğindeki suyun ağırlığı, g

W = Toprak örneğinin yaş ağırlığı, g ve

W_s = Toprak örneğinin kuru ağırlığı, g'dir.

Kuru ağırlık, toprak örneğinin kurutma fırınında 105 °C'ta 24 saat bekletildikten sonra tartılması ile elde edilir.

- 2) **Hacim yüzdesi cinsinden ifade :** Toprakta bulunan nem miktarı, toprak hacminin yüzdesi cinsinden ifade edilmektedir. Toprak örneğindeki su hacminin toplam hacme oranlanması ile ya da kuru ağırlık yüzdesi cinsinden nem miktarının toprağın hacim ağırlığı ile düzeltilmesi sonucu bulunur.

$$P_v = 100 \frac{V_w}{V} = \frac{P_w \gamma_s}{\gamma_w} = P_w \gamma_r \quad (3.8)$$

Eşitlikte;

P_v = Toprak hacminin yüzdesi cinsinden nem miktarı, %

V_w = Topraktaki suyun hacmi, cm^3 ,

V = Toprak örneğinin toplam hacmi, cm^3 ,

P_w = Toprağın kuru ağırlığının yüzdesi cinsinden nem miktarı, %

γ_r = Toprağın hacim ağırlığı, g/cm^3 ve

γ_w = Suyun hacim ağırlığı, g/cm^3 'tür.

- 3) **Derinlik cinsinden ifade :** Toprak nemi, belirli toprak derinliği için derinlik cinsinden ifade edilmektedir. Bu amaçla;

$$d = \frac{P_v D}{100} = \frac{P_w \gamma_r}{100 \gamma_w} D = \frac{P_w}{100} \gamma_r D \quad (3.9)$$

eşitliğinden yararlanılmaktadır. Eşitlikte;

d = Topraktaki derinlik cinsinden nem miktarı, mm,

P_v = Toprak hacminin yüzdesi cinsinden nem miktarı, %

D = Toprak derinliği, mm,

P_w = Toprağın kuru ağırlığının yüzdesi cinsinden nem miktarı, %

γ_s = Toprağın hacim ağırlığı, g/cm³ ve
 γ_w = Suyun hacim ağırlığı, g/cm³'dir.

4) **Toprak rutubet gerilimi (tansiyon) cinsinden ifade :** Toprak rutubet gerilimi, toprak suyunda erimiş halde bulunan tuzların neden olduğu ozmotik basınç ihmal edilirse, toprak neminin toprak taneleri tarafından tutulma gücüdür. Toprak nemi azaldıkça, sıyıt toprak taneleri tarafından tutulma gücü artmaktadır. Bu nedenle, sıyıt tutulma gücü negatif basınç olarak ifade edilmektedir. Negatif basınç yerine genellikle tansiyon değimi kullanılmaktadır, toprak rutubet tansiyonu denildiğinde, toprak tanelerinin sıyıt kendi yüzeyleri etrafında tutma gücü anlaşılmalıdır. Toprak rutubet tansiyonunun birimi, basınç birimleri ve genellikle cm su sütunu (cm SS) ya da kısaca cm, kg/cm², atmosfer (atm) ve bar (b) cinsinden ifade edilmektedir.

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ m} = 0.981 \text{ b} = 0.968 \text{ atm dir.}$$

Toprakta bulunan farklı nem miktarları ve bu nem miktarlarına karşılık gelen toprak rutubet gerilimi değerleri bir dik koordinat sisteminde işaretlenirse, toprak nemi karakteristik eğrileri elde edilir (Şekil 3.3). Bu eğrilerden yararlanarak, toprak rutubet geriliminin bilinmesi koşulunda, nem miktarı bulunabilir.

Bazı durumlarda toprak rutubet tansiyonu pF cinsinden de ifade edilmektedir. Bunun için, cm cinsinden belirlenen toprak rutubet tansiyonunun logaritması alınmaktadır. Örneğin 1 cm toprak rutubet tansiyonunun pF değeri, $\log 1 = 0$ ve 100 cm toprak rutubet tansiyonunun pF değeri ise $\log 100 = 2$ dir.

Örnek :

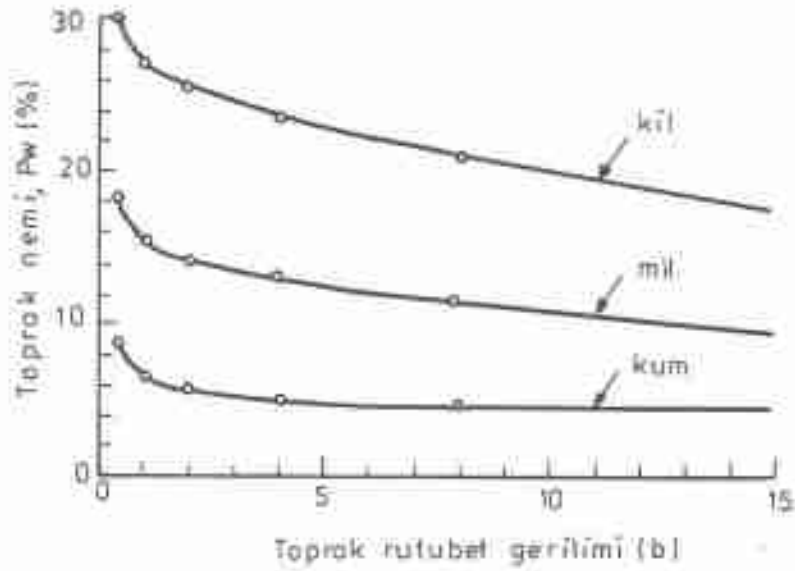
Tarladan alınan 100 cm³ hacmindeki toprak örneği tartılarak yaş ağırlığı 174 g, kurutma fırınında 105 °C sıcaklıkta 24 saat bekletildikten sonra kuru ağırlığı 143 g bulunmuştur. Topraktaki mevcut nemin, kuru ağırlık yüzdesi, hacim yüzdesi ve 30 cm, 60 cm ve 100 cm toprak derinliği için derinlik cinsinden ifade edilmesi istenmektedir.

Verilenler :

- Toprak örneğinin hacmi, $V = 100 \text{ cm}^3$
- Toprak örneğinin yaş ağırlığı, $W = 174 \text{ g}$
- Toprak örneğinin kuru ağırlığı, $W_s = 143 \text{ g}$

İstenenleri:

- Mevcut nemin kuru ağırlık yüzdesi cinsinden ifadesi,
- Mevcut nemin hacim yüzdesi cinsinden ifadesi,



Şekil 3.3 Değişik bünyeli topraklarda toprak nemi karakteristik eğrileri

-Mevcut nemin 30 cm, 60 cm ve 100 cm toprak derinliği için mm cinsinden ifadesi.

Çözüm;

1) Mevcut nemin kuru ağırlık yüzdesi cinsinden ifadesi;

$$P_w = 100 \frac{W - W_s}{W_s} = 100 \times \frac{174 - 143}{143} = \%21.7$$

2) Mevcut nemin hacim yüzdesi cinsinden ifadesi;

$$\gamma_r = \frac{W_s}{V} = \frac{143}{100} = 1.43 \text{ g/cm}^3$$

$$P_v = P_w \gamma_r = 21.7 \times 1.43 = \%31$$

3) Mevcut nemin derinlik cinsinden ifadesi;

$$d = \frac{P_w}{100} \gamma_r D$$

D = 30 cm için;

$$d = \frac{21.7}{100} \times 1.43 \times 300 = 93.1 \text{ mm} / 30 \text{ cm}$$

D = 60 cm için;

$$d = \frac{21.7}{100} \times 1.43 \times 600 = 186.2 \text{ mm} / 60 \text{ cm}$$

D = 100 cm için;

$$d = \frac{21.7}{100} \times 1.43 \times 1000 = 310.3 \text{ mm} / m$$

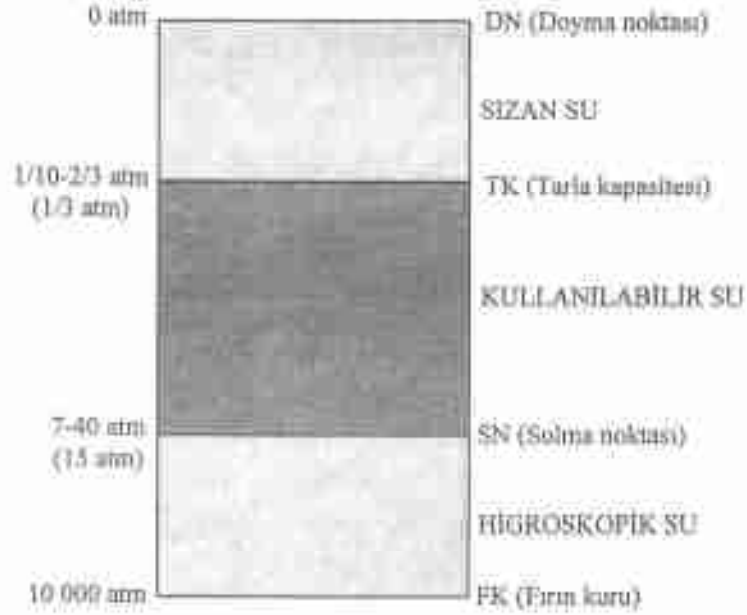
3.4. SULAMA YÖNÜNDEN ÖNEMLİ TOPRAK NEMİ SABİTELERİ

Sulama uygulamalarında, toprakta belirli tansiyonlarda tutulan nem miktarlarının bilinmesi gerekmektedir. Bağvuru niteliğindeki bu toprak nemli miktarlarına, toprak nemli sabiteleri adı verilmektedir. Sulama yönünden önemli toprak nemli sabiteleri; doyma noktası, tarla kapasitesi, solma noktası ve firtın kurudur. Bu toprak nemli sabiteleri Şekil 3.4'te şematik olarak gösterilmiştir.

Doyma noktası : Teorik olarak, toprak gözeneklerinin tamamen su ile dolu olduğu koşulda toprakta bulunan nem miktarına doyma noktası denir. Doyma noktasında toprak rutubet gerilimi 0 atm'dir. Ancak, sulama uygulamalarında gözeneklerdeki havanın tamamen dışarı çıkması söz konusu değildir ve ender durumlarda gözenek hacminin % 85 - 90'ı su ile doldurulabilmektedir.

Tarla kapasitesi : Serbest drenaj koşullarında, toprak tanelerinin yerçekimine karşı tuttuğu nem miktarına tarla kapasitesi denilmektedir. Tarla kapasitesi; toprağın bünyesine, yapısına, toprak tanelerinin şekline ve gözeneklerin durumuna göre önemli düzeyde farklılık göstermektedir. Ağır bünyeli topraklarda yüksek, hafif bünyeli topraklarda ise düşük değerlerdedir. Tarla kapasitesinde toprak rutubet tansiyonu 1/10 - 2/3 atm arasında değişmektedir. Bu değer, hafif bünyeli topraklarda 1/10, ağır bünyeli topraklarda 2/3 atm'e yakındır. Uygulamada, tarla kapasitesindeki toprak rutubet tansiyonunun ortalama 1/3 atm olduğu yaklaşımları yapılmaktadır.

Solma noktası : Bitkilerin kökleri aracılığıyla topraktan su alamadıkları ve solmaya başladıkları, toprağa su verilse bile eski durumuna dönemedikleri koşulda toprakta bulunan nem miktarına solma noktası denilmektedir. Solma noktası ağır bünyeli topraklarda yüksek, hafif bünyeli topraklarda düşük değerlerdedir. Solma noktasındaki toprak rutubet tansiyonu 7 - 40 atm arasında



Şekil 3.4 Toprak nemi sabiteleri

değişebilmektedir. Bu değer, hafif bünyeli topraklarda 7 atm, ağır bünyeli topraklarda 40 atm kadar olabilmektedir. Pratik amaçlarla, solma noktasındaki nemin toprak taneleri tarafından 15 atm'de tutulduğu yaklaşımları yapılmaktadır. Gerçekte, solma noktasında toprak rutabet tansiyonunun 7 ya da 40 atm alınmasının pek fazla önemi yoktur. Çünkü, Şekil 3.3'ten de izleneceği gibi, toprak rutabet tansiyonunun yüksek olduğu koşullarda toprak nemi önemli derecede değişmemektedir. Bu nedenle, solma noktası, toprak taneleri tarafından 15 atm'de tutulan nem miktarı biçiminde de tanımlanmaktadır.

Fırın kuru: Toprak örneğinin fırında 105 °C'ta kurutulduktan sonra toprakta bulunan nem miktarına fırın kuru denilmektedir. Fırın kurudaki toprak rutabet tansiyonu 10 000 atm civarındadır. Sulama açısından fırın kurudaki nem miktarı ilhamî edilebilir düzeydedir ve fırın kurudaki toprak ağırlığı, toprak tanelerinin ağırlığı olarak alınmaktadır.

3.5. TOPRAĞIN KULLANILABİLİR SU TUTMA KAPASİTESİ

Serbest drenaj koşullarında, tarla kapasitesinin üzerindeki nem, yerçekiminin etkisi ile kök bölgesinin altına sızmakta ve bitkiler bu nemden yararlanmamaktadır. Bitkiler, solma noktasının altındaki nemi de teorik olarak kökleri aracılığıyla alamamaktadır. Bu nedenle uygulamada, bitkilerin ancak tarla kapasitesi ile solma noktası arasındaki nemden yararlandığı yaklaşımlı yapılmaktadır. Solma noktasının üzerinde tarla kapasitesine kadar her düzeydeki nem miktarı ile solma noktası farkına kullanılabilir su, tarla kapasitesi ile solma noktası farkına ise kullanılabilir su tutma kapasitesi adı verilmektedir. Örneğin, tarla kapasitesi %30, solma noktası %18 olan toprakta, mevcut nem %26 ölçülmüşse, bu toprağın kullanılabilir su tutma kapasitesi $\%30 - \%18 = \%12$, ancak mevcut kullanılabilir nem miktarı $\%26 - \%18 = \%8$ 'dir.

Kullanılabilir su tutma kapasitesi, ağır bünyeli topraklarda yüksek, hafif bünyeli topraklarda ise düşük değerlerdedir.

Kullanılabilir su tutma kapasitesi toprağın kuru ağırlığının yüzdesi cinsinden;

$$P_{us} = TK - SN \quad (3.10)$$

ve derinlik cinsinden;

$$d_s = \frac{P_{us}}{100} \gamma_t D = \frac{TK - SN}{100} \gamma_t D \quad (3.11)$$

eşitlikleri ile hesaplanabilmektedir. Bu eşitliklerde;

- P_{us} = Kullanılabilir su tutma kapasitesi, %
- TK = Tarla kapasitesi, %
- SN = Solma noktası, %
- d_s = Kullanılabilir su tutma kapasitesi, mm,
- γ_t = Toprağın hacim ağırlığı, g/cm^3 ve
- D = Toprak derinliği, mm'dir.

Örnek:

Tarla kapasitesi TK = %32, solma noktası SN = %19, toprağın hacim ağırlığı $\gamma_t = 1.4 g/cm^3$ ve toprakta ölçülen mevcut nem miktarı MR = %25 olduğuna göre;

- a) Tarla kapasitesi, solma noktası ve mevcut nemi, birim toprak derinliği için derinlik (mm/m) cinsinden ifade ediniz,
- b) Toprakta mevcut kullanılabilir su miktarını, % ve mm/m cinsinden ifade ediniz.

- c) Kullanılabilir su tutma kapasitesini, % ve mm/m cinsinden ifade ediniz.

Cözüm;

- 1) Tarla kapasitesi, solma noktası ve mevcut nemin mm/m cinsinden ifadesi;

$$d_{TK} = \frac{TK}{100} \gamma_s D = \frac{32}{100} \times 1.4 \times 1000 = 448 \text{ mm/m}$$

$$d_{SN} = \frac{SN}{100} \gamma_s D = \frac{19}{100} \times 1.4 \times 1000 = 266 \text{ mm/m}$$

$$d_{MR} = \frac{MR}{100} \gamma_s D = \frac{25}{100} \times 1.4 \times 1000 = 350 \text{ mm/m}$$

- 2) Kullanılabilir su miktarının % ve mm/m cinsinden ifadesi;

$$P_u = MR - SN = 25 - 19 = \%6$$

$$d = \frac{MR - SN}{100} \gamma_s D = \frac{6}{100} \times 1.4 \times 1000 = 84 \text{ mm/m}$$

ya da

$$d = d_{MR} - d_{SN} = 350 - 266 = 84 \text{ mm/m}$$

- 3) Kullanılabilir su tutma kapasitesinin % ve mm/m cinsinden ifadesi;

$$P_{uk} = TK - SN = 32 - 19 = \%13$$

$$d_k = \frac{TK - SN}{100} \gamma_s D = \frac{13}{100} \times 1.4 \times 1000 = 182 \text{ mm/m}$$

ya da

$$d_k = d_{TK} - d_{SN} = 448 - 266 = 182 \text{ mm/m}$$

3.6. TOPRAK ÖRNEKLERİNİN ALINMASI

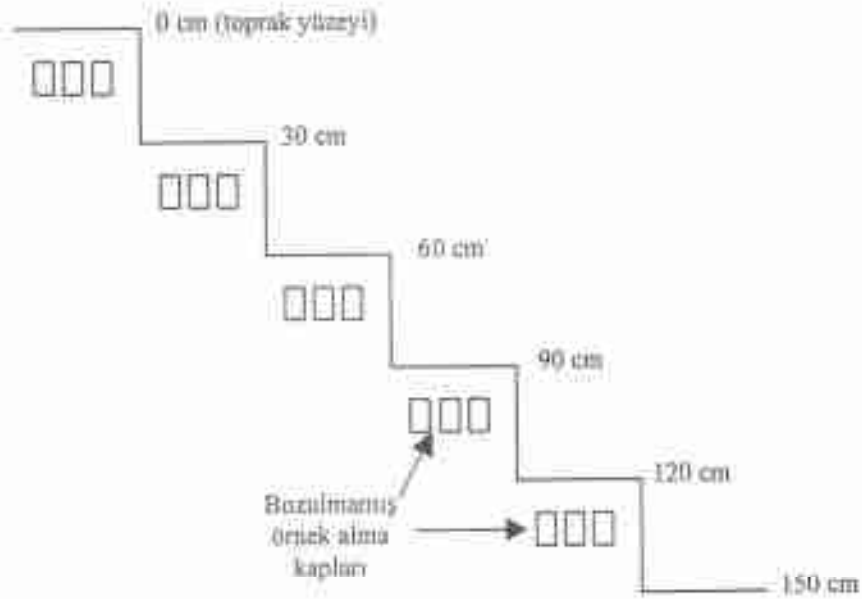
Sulama yapılan tarımsal işletmelerde, tarla parsellerinden bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınarak laboratuvarla toprak bünyesi, toprak tuzluluğu, tarla kapasitesi, solma noktası ve toprağın hacim ağırlığı değerleri saptanmaktadır. Bu amaçla, her 20 da alan için bir adet olmak üzere, tarla parselini temsil edebilecek yerde tarla bitkileri ve sebzeler için 120'cm'ye, meyve bahçeleri

için 150 cm'ye kadar toprak profili açılır. Profil her 30 cm'de basamak biçimindedir (Şekil 3.5). Her 30 cm'lik katmanın ortasına en az 3 adet iç hacmi 100 cm³ olan özel çakma silindiri çakılarak bozulmamış toprak örnekleri ve yine her katmandan bir kürekle 1.5 - 2 kg kadar bozulmuş toprak örnekleri alınır. Laboratuvara getirilen bozulmamış toprak örneklerinden, tarla kapasitesi ve hacim ağırlığı, bozulmuş toprak örneklerinden ise, toprak bünyesi, toprak tuzluluğu ve solma noktası saptanır.

Ayrıca, açılan profillerden toprak derinliğinin bir geçirimsiz tabaka (bariyer) ya da taban suyu tarafından sınırlanıp sınırlanmadığı kontrol edilir.

3.7. TOPRAK NEMİNİN ÖLÇÜLMESİ

Sulama uygulamalarında, bitki kök bölgesindeki nemin doğru bir şekilde ölçülmesi ve topraktaki nem değişiminin değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Toprak neminin ölçülmesinde değişik yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

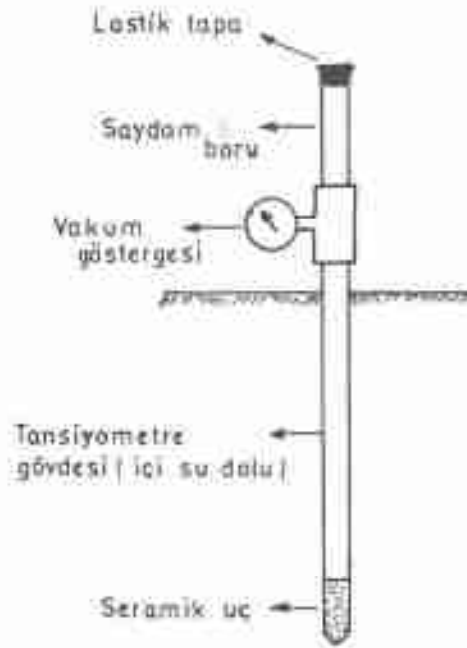


Şekil 3.5: Toprak örnekleri almak için açılan profil

Gravimetrik yöntem : Bir toprak burgusu ile istenen toprak derinliğine kadar her 30 cm lik katmanın yaklaşık ortasından 100 - 150 g civarında bozulmuş toprak örnekleri alınır. Bu toprak örnekleri, nemin buharlaşması engellenecek biçimde, daha önce darası alınmış kaplara konur ve en kısa zamanda laboratuvara getirilir. Toprak örneklerinin yuğ ağırlıkları elde edildikten sonra kurutma fırınında 105 °C'ta 24 saat bekletilir ve tekrar tartılarak kuru ağırlıkları saptanır. Daha önce verilen (2.7) nolu eşitlikle farklı derinliklerdeki toprak nemi miktarları hesaplanır.

Gravimetrik yöntemle toprak nemi sağlıklı bir biçimde ölçülebilmektedir. Bu nedenle, diğer bazı toprak nemi ölçme yöntemlerinde gerekli kalibrasyon eğrilerinin hazırlanmasında gravimetrik yöntemden yararlanılmaktadır.

Toprak neminin tansiyometrelerle ölçülmesi : Tansiyometreler içi su dolu gövde, seramik uç ve vakum göstergesinden oluşan ve toprak rutubet gerilimini ölçen araçlardır (Şekil 3.6). Bir tansiyometrenin araziye yerleştirilmesi için toprak neminin ölçüleceği derinliğe kadar çukur açılır. Seramik uç bu derinlikte olacak biçimde gövde çukuru konur. Seramik uçla toprak arasında iyi bir temasın sağlanması için gövde etrafı toprakla doldurulur ve sıkıştırılır.

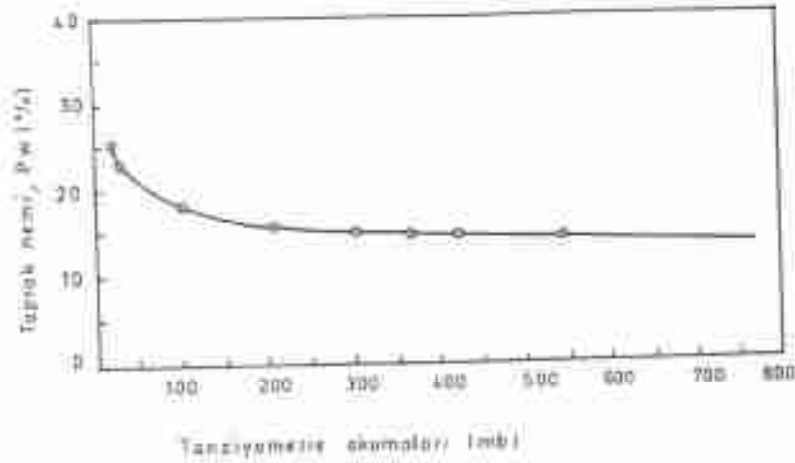


Şekil 3.6 Tansiyometre kesiti

Toprakta bulunan nem miktarına göre, seramik uçtan toprağa doğru ya da topraktan seramik uç aracılığıyla tansiyometre gövdesine doğru su akışı olur ve bir biftelik denge kurulur. Bu koşulda göstergeden bir değer okunur. Okunan bu değer daha önce hazırlanmış kalibrasyon eğrisinde işaretlenerek topraktaki nem miktarı kuru ağırlık yüzdesi cinsinden elde edilir.

Kalibrasyon eğrisini oluşturmak için, arazide tansiyometronin yerleştiği derinliğin daha fazlası kullanılacak biçimde toprağa su verilir ve 1 - 2 gün beklenir. Bundan sonra seramik uca yakın noktalardan (yatay doğrultuda en çok 100 cm etrafından) toprak burgusu ile toprak örnekleri alınır. Bu sırada gösterge değeri okunarak kaydedilir. Toprak örneklerindeki nem miktarı gravimetrik yöntemle saptanır. Bu işleme periyodik olarak, tansiyometre göstergesinde 8 - 10 kadar gittikçe artan farklı değerler okununcaya kadar devam edilir. Tansiyometre okunmalarına karşılık gelen nem miktarları bir dik koordinat sisteminde işaretlenerek kalibrasyon eğrisi elde edilir. Örnek olmak üzere bir tansiyometre kalibrasyon eğrisi Şekil 3.7'de verilmiştir.

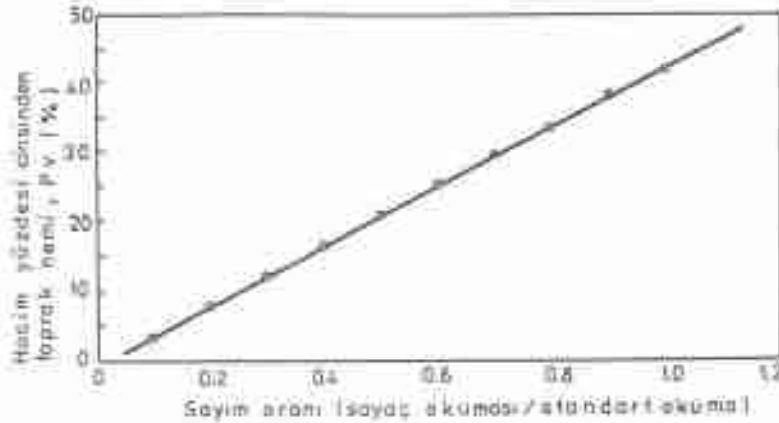
Tansiyometreler ancak, toprak rutubet geriliminin 0,85 atm değerine kadar sağlıklı sonuç vermektedir. Bundan daha düşük toprak nemi düzeylerinde, genellikle seramik uçtan tansiyometre gövdesine hava girmekte ve dolayısıyla sağlıklı ölçme yapılamamaktadır. Bu nedenle, tansiyometreler daha çok toprak neminin devamlı olarak tarla kapasitesi civarında tutulduğu damla sulama yöntemi gibi sulama yöntemlerinin uygulandığı tarla parsellerinde, sulama zamanlarının saptanması amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 3.7 Tansiyometre kalibrasyon eğrisi

Nötron yöntemi : Yöntemin esası, hızlı nötron saçan bir kaynaktan (nötron probe) çıkan nötronların, toprak suyu tarafından yavaşlatılması ve yavaşlatılmış nötron sayısının özel saygırlarla ölçülmesidir. Bu amaçla, toprak nemi ölçülecek yerlere içi boş metal borular yerleştirilir. Genellikle amerikyum - berilyum karışımı olan radyoaktif madde nemin ölçüleceği derinliğe kadar sarkıtılır. Yavaşlayan nötron sayısı özel saygırla ölçülür. Tansiyometrelerde açıklandığı gibi, daha önceden hazırlanmış kalibrasyon eğrisinde yavaşlatılmış nötron sayısına karşılık gelen toprak nemi miktarı doğrudan elde edilir (Şekil 3.8). Nötron yöntemi ile oldukça sağlıklı toprak nemi ölçümleri yapılabilmektedir. Ancak, araç pahalıdır ve kullanılması uzmanlık istemektedir. Bu nedenle, genellikle sulama araştırmalarında kullanılmaktadır.

Elle kontrol yoluyla tahmin : Toprak burgusu ile nemin ölçüleceği derinlikten alınan toprak örnekleri, avuç içinde sıkılarak avuçta bıraktığı ıslaklık ve top oluşturma durumuna, parmaklar arasında yuvarlatılarak şerit oluşturma durumuna ve ayrıca toprak örneğinin rengine bakılarak toprak nemi tahmin edilmeye çalışılır. Oldukça kaba sonuç veren ve tecrübeyi gerektiren bir yöntemdir.



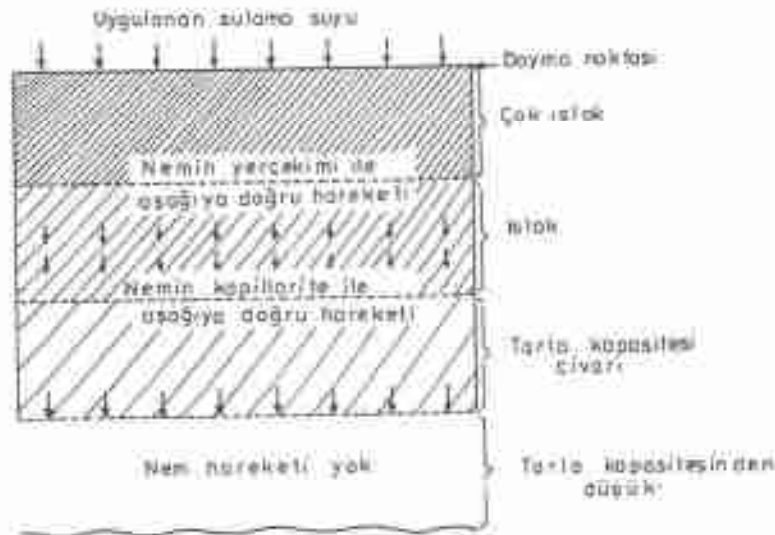
Şekil 3.8 Nötron yönteminde kalibrasyon eğrisi

3.8. TOPRAKTA SUYUN HAREKETİ

Doymuş ve doymamış toprak koşullarında suyun hareketi : Toprak gözeneklerinin tamamen su ile dolu olduğu doymuş toprak koşullarında suyun hareketi, yerçekiminin etkisi ile, basıncın yüksek olduğu noktadan, basıncın düşük olduğu noktaya doğrudur. Bu hareket biçimi, basıncı berulardaki suyun hareketi gibidir. Sulama açısından, arazi koşullarında toprak gözeneklerinin tamamen su ile dolması pek mümkün değildir. Çünkü, gözeneklerde bir miktar hava sıkışmaktadır. Ancak, sulama sırasında toprağın üst katmanındaki su hareketinin doymuş koşullarda olduğu yaklaşımı yapılabilmektedir.

Gözenekleri bütünüyle su ile dolu olmayan doymamış toprak koşullarında ise suyun hareketi yerçekimi ve kapilar kuvvetlerin etkisi altındadır. Su, toprak rutubet gerilimi düşük olan noktadan, toprak rutubet gerilimi yüksek olan noktaya doğru hareket eder. Başka bir deyişle, suyun hareketi, toprak neminin yüksek olduğu noktadan, düşük olduğu noktaya doğrudur. Sulama sırasında, sulamadan sonra ve suyun bitkiler tarafından alınması sırasındaki suyun topraktaki hareketi, doymamış koşullarda harekete birer örnektir.

Sulama sırasında suyun topraktaki hareketi : Sulama sırasında su infiltrasyonla dikey doğrultuda toprağa girer ve yerçekimi ile kapilar kuvvetlerin etkisi altında aşağıya doğru hareket eder. Toprak profilinde, yüzeyden başlayarak, sırasıyla, çok ıslak, ıslak ve tarla kapasitesi civarında olmak üzere üç zon oluşur (Şekil 3.9). Bu zonların kalınlığı, sulama süresi arttıkça artar. Daha altta ise toprak,

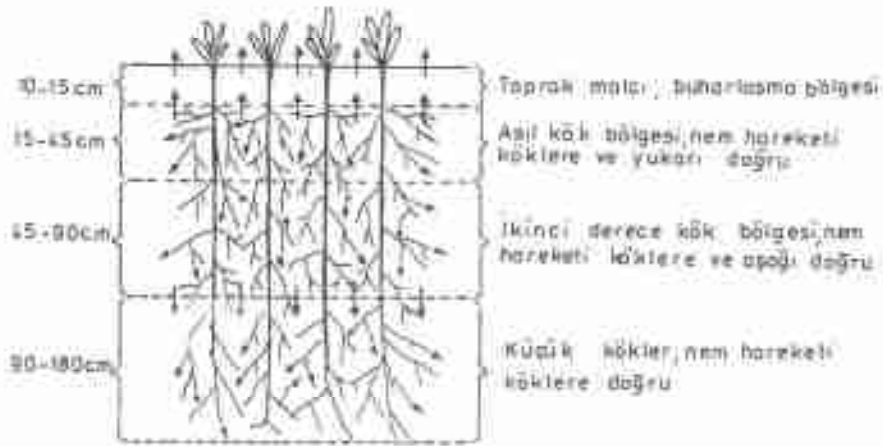


Şekil 3.9 Sulama sırasında suyun topraktaki genel hareketi

sulama öncesindeki nem koşullarını yansıtır. Sulama tamamlandıktan sonra, çok ıslak ve ıslak zonlarda tarla kapasitesinin üzerindeki nem miktarı, yerçekiminin etkisi ile tarla kapasitesinden düşük zona kadar aşağı doğru hareket eder ve bu zondaki toprak taneleri tarafından nem tarla kapasitesine gelinceye kadar tutulur. Böylelikle, istenen toprak derinliği kısa sürede tarla kapasitesine gelir. Bu süre, hafif bünyeli topraklarda birkaç saat, ağır bünyeli topraklarda ise bir - iki gün kadardır.

Sulamadan sonra suyun topraktaki hareketi : Sulamadan sonra suyun topraktaki hareket biçimleri Şekil 3.10'da verilmiştir. Şekilden izleneceği gibi, ilk 10 - 15 cm'lik toprak katmanına buharlaşma bölgesi adı verilmektedir. Genellikle, bitki köklerinin bulunmadığı bu bölgede sulamadan sonra tutulan nem, buharlaşma yoluyla kısa sürede atmosfere karışır. Dolayısıyla su hareketi yukarıya doğrudur.

Bitkilerin asıl kök bölgesi, genellikle 15 - 45 cm arasındaki toprak katmanıdır. Bu toprak katmanında suyun önemli bir bölümü bitki kökleri aracılığıyla alınıp ve yapraklardan olan terleme yoluyla atmosfere verilir. Suyun belirli bir kısmı ise kapillarite ile üst katmana yükselir ve buharlaşma ile atmosfere karışır. Dolayısıyla, asıl kök bölgesinde tutulan suyun hareketi köklere ve yukarıya doğrudur. Asıl kök bölgesinden üst toprak katmanına su hareketi genellikle azdır ve üst katmandan olan buharlaşma miktarına bağlıdır. Buna ise üst katmandaki toprak yapısının bozulması, yarıkların oluşması ve sulama sonrasında toprağın işlenmesi gibi faktörler etkili olmaktadır.



Şekil 3.10 Sulamadan sonra suyun topraktaki hareketi

Anl kök bölgesinin altında, genellikle 45 - 90 cm derinliğindeki toprak katmanında ikinci derecedeki kök bölgesi yer alır. Bu toprak katmanında da suyun önemli bir bölümü kökler aracılığıyla alınır ve terleme yoluyla atmosfere verilir. Suyun çok az bir bölümü ise yorçekimi ve kapilaritenin etkisi ile alt katmana sızabilir. Özetle, bu katmandaki su hareketi köklere ve aşağıya doğrudur.

İkinci derecedeki kök bölgesinin altındaki küçük köklerin bulunduğu toprak katmanında su hareketi köklere doğrudur ve bu katmandaki kullanılabilir suyun tamamı kökler aracılığıyla alınır.

Suyun bitki köklerine doğru hareketi : Uygun bir kök gelişme ortamında, her gün çok sayıda kılcak kök oluşmaktadır. Kılcak kökler suyla temas kurarak uçlarıyla suyu emerler. Suyun emilmesini, kök hücreleri arasındaki yüksek osmotik basınç farkı sağlamaktadır. Bu basınç farkı, toprak rutubet geriliminden yüksek olduğu koyulda bitki kökleri aracılığıyla suyu alabilmektedir.

Tarla kapasitesi ile solma noktası arasında, kapilarite ile emici köklere doğru bir miktar su hareketi olmasına karşın, genellikle kılcak köklerin su olan kesime doğru büyümelerini sürdürerek suya ulaştıkları kabul edilmektedir.

3.9. TOPRAĞIN SU ALMA HIZI

Suyun, yüzeyden toprak içerisine düşey doğrultuda girmesine toprağın su alması (infiltrasyon), birim zamanda toprağa giren su miktarına ise su alma hızı (infiltrasyon hızı) adı verilmektedir. Diğer bir tanımla su alma hızı, birim zamanda birim alandan toprak içerisine giren suyun hacmidir ve hız boyutuna sahiptir. Genellikle cm/h ya da mm/h cinsinden ifade edilmektedir.

Toprağın su alma hızına birçok faktör etkili olmaktadır. Bunların en önemlileri, toprak bünyesi, toprağın yapısı, toprakta mevcut nem miktarı, toprağın işlenme ve sıkışma durumu, toprak yüzeyindeki su yüksekliği ve topraktaki tuzların cinsi ve miktarıdır. Örneğin, su alma hızı, hafif bünyeli topraklarda yüksek ağır bünyeli topraklarda düşük, kümeli yapıya sahip topraklarda yüksek taneli yapıya sahip topraklarda düşük, kuru topraklarda yüksek nemli topraklarda düşük, işlenmiş topraklarda yüksek işlenmemiş ve sıkışmış topraklarda düşük, toprak yüzeyindeki su yüksekliği fazla olduğunda yüksek az olduğunda düşük ve kireçli topraklarda yüksek sodyumlu topraklarda düşüktür.

Toprağın su alma hızı, sulama yöntemlerinin seçimi yanında, yüzey sulama yöntemlerinde akış uzunlukları ve debisi, yağmurlama sulama yönteminde başlık debisi ve tertip aralıklarına, damla sulama yönteminde damlatıcı debisi ve yerleşim aralıklarına, ayrıca tüm sulama yöntemlerinde sulama süresine etkili olan önemli bir parametredir.

Toprak bünyesine göre değişen su alma hızı değerleri, bir fikir edinilmesi açısından Çizelge 3.2'de verilmiştir. Görüldüğü gibi, çizelgede yer alan değerler belirli toprak bünyelerinde önemli düzeyde farklılıklar gösterebilmektedir. Su alma hızına etkili olan diğer faktörler de dikkate alınırca, sulama uygulamalarında toprağın su alma hızının mutlaka ölçülmesi gerekmektedir.

Toprağın su alma hızının ölçülmesinde ve su alma özelliklerinin belirlenmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Burada, karık sulama yöntemi dışında tüm sulama yöntemleri için geçerli olan çift silindir infiltrometre ölçmeleri ve karık sulama yöntemi için geçerli olan karıklara giren - çıkan suyun ölçülmesi yöntemi üzerinde durulacaktır.

3.9.1. Çift Silindir İnfiltrometre Ölçmeleri

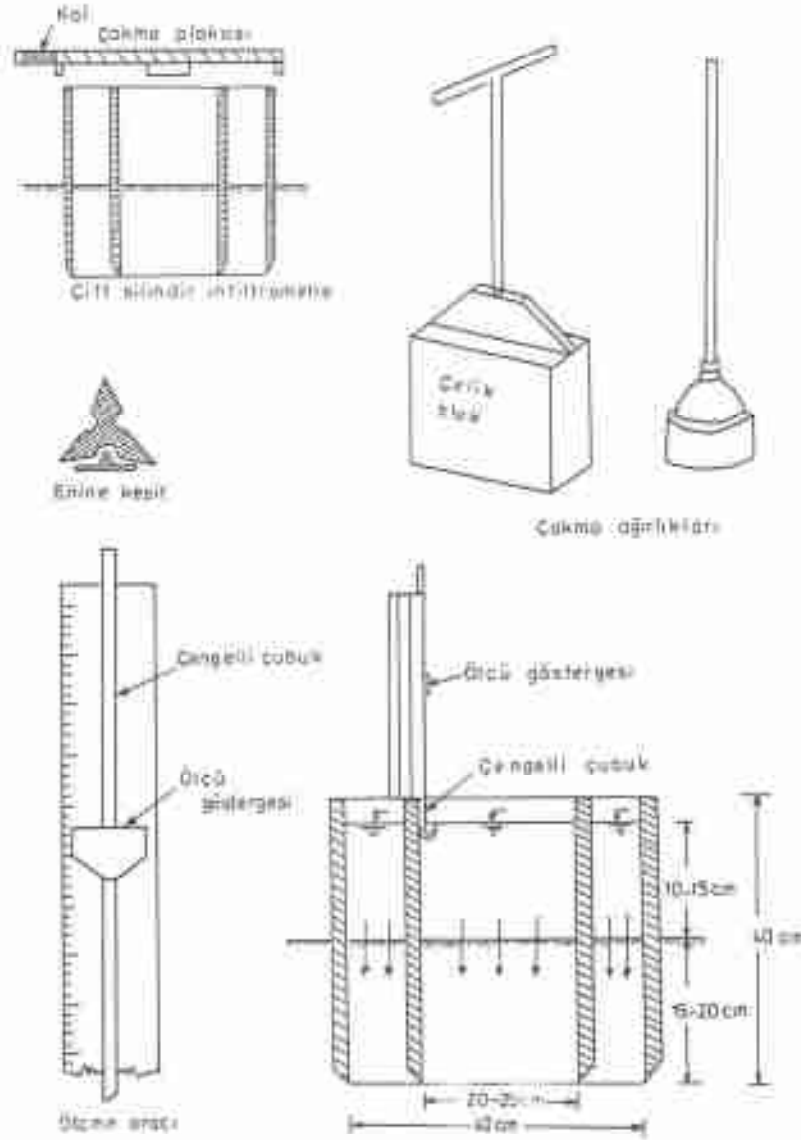
Çift silindir infiltrometre, iç içe geçmiş iki metal silindirden oluşmaktadır. Silindirler genellikle 2 mm kalınlığında sacdan yapılırlar. Şekil 3.11'den izleneceği gibi, dış silindirin çapı 40 cm, iç silindirin çapı 20 - 25 cm ve her iki silindirin yüksekliği 40 cm'dir. Toprağa kolayca girebilmeleri için silindirlerin alt uçları keskinleştirilir.

İnfiltasyon ölçmelerinin, birbirine yakın olacak ve en çok 2 da alan içerisinde kalacak biçimde 3-5 yerde yapılması ve elde edilen değerlerin ortalamalarının kullanılması gerekmektedir. Bunun yanında, ölçme işlemlerinin mutlaka işlenmemiş arazide ve sulama başlangıcı için öngörülen toprak nemli koşullarında yapılması çok önemlidir. Aksi durumda elde edilen değerler yanıltıcı olur.

Ölçme işleminden önce, araziye temsîl eden, karınca ve köstebek yuvaları ile bitki köklerinin oluşturabileceği kanalsızları, silindire zarar verebilecek çakıl ve kayaların bulunmadığı düz bir yer seçilir. Silindirler yatay olacak biçimde seçilen yere konur ve üzerine çakma plakası yerleştirilir. Çakma plakası, üzerinde çakma sırasında kaymayı engelleyecek biçimde silindir çaplarına uygun tamponlar bulunan ve genellikle 3 mm sacdan yapılan düz bir plakadır. Çakma plakasının

Çizelge 3.2. Toprak bünyesine göre bazı su alma hızı değerleri

Toprak bünye sınıfı	Su alma hızı, mm/h
Kum	25.0 - 250.0
Kumlu-tın	13.0 - 76.0
Tın	8.0 - 20.0
Killi-tın	2.5 - 15.0
Milli-kil	0.3 - 8.0
Kil	0.1 - 3.0



Şekil 3.11 Çift silindirik infiltrasyon kesiti, çökme plakası, çökme ağırlıkları ve ölçme aracı

Üstlerinden geniş tabanlı çelik bloktan oluşan yaklaşık 15 kg ağırlığındaki bir çakma ağırlığı ile yavaş yavaş vurularak ve yataylık sürekli denetlenerek silindirlir 15-20 cm kadar çakılır.

Her iki silindire, iç ve dış silindirdeki su seviyeleri eşit olacak biçimde, bir sulamada uygulanacak su derinliği kadar (10-15 cm) su doldurulur. Suyun doldurulması sırasında erozyonu önlemek için, iç silindirin tabanına bir çuval parçasının serilmesi ve su doldurulduktan sonra kaldırılmasında yarar vardır.

Su düzeyi ölçmeleri iç silindirden, bir ölçme aracından yararlanarak yapılır. Ölçme aracı, mm değerine kadar bölümlendirilmiş bir cetvel üzerinde bulunan ucu sivri, çengelli ve ölçü göstergeli metal çubuktan ibarettir. Dış silindire doldurulan suyun işlevi, iç silindirdeki suyun yanlara doğru hareketini önlemek ve ıslatma alanını genişletmektir.

İç silindire su doldurulduğu an, ölçme aracı ile ilk su düzeyi okunması yapılır. Bundan sonra, 10 dakika ara ile üç, 15 ve 30 dakika ara ile diğer, 60 dakika ara ile bir ve 120 dakika ara ile yeteri kadar su düzeyi ölçmeleri yapılır ve ölçme zamanları ile su düzeyi değerleri bir çizelgeye kaydedilir. Ölçmelere, birim zamanda toprak içerisine geçen su miktarı yaklaşık eşit oluncaya kadar devam edilir. Ölçmeler sırasında, toprak yüzeyindeki su yüksekliği 5 cm civarına düştüğünde silindirlere tekrar su ilave edilir.

Elde edilen ölçme sonuçlarından yararlanarak eklemeli zaman, su alma hızı, ortalama su alma hızı ve eklemeli su alma değerleri hesaplanır. Eklemeli zaman değerlerine karşılık gelen su alma hızı, ortalama su alma hızı ve eklemeli su alma değerleri bir milimetrik kağıda işaretlenirse eğri biçiminde ilişkiler elde edilir. Değişilen eğriler Şekil 3.12'de görülmektedir. Şekilden izleneceği gibi, toprağın su alma hızı başlangıçta oldukça yüksektir. Su alma hızı, zamanla azalmakta ve sonuçta sabit bir değere ulaşmaktadır. Sabit olan bu değere, toprağın gerçek su alma hızı denilmektedir.

Eklemeli zaman değerlerine karşılık gelen su alma hızı, ortalama su alma hızı ve eklemeli su alma değerleri tam logaritmik kağıda işaretlendiğinde ise doğrusal ilişkiler elde edilir (Şekil 3.13). Bu ilişkiler;

$$I = aT^{-b} \quad (3.12)$$

$$D = aT^b \quad (3.13)$$

genel eşitlikleri ile ifade edilmektedir. Bu eşitliklerde;

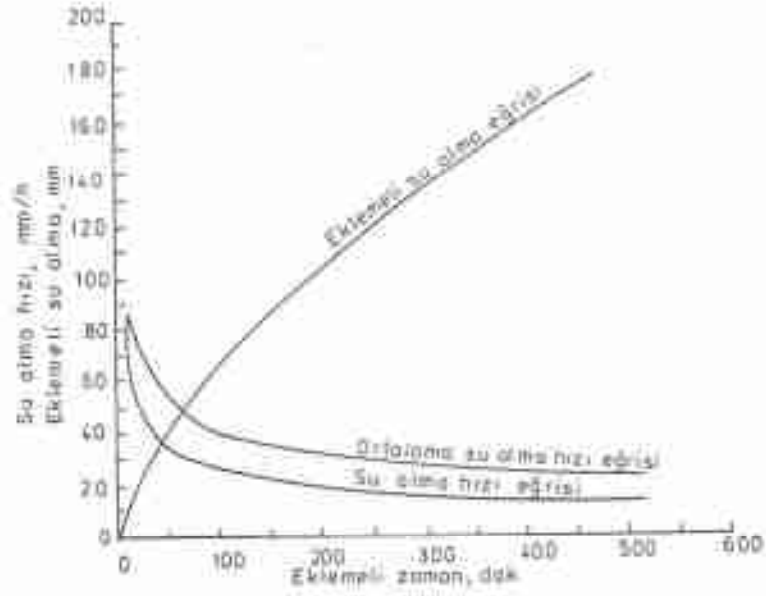
I = Su alma hızı, mm/h,

D = Eklemeli su alma, mm,

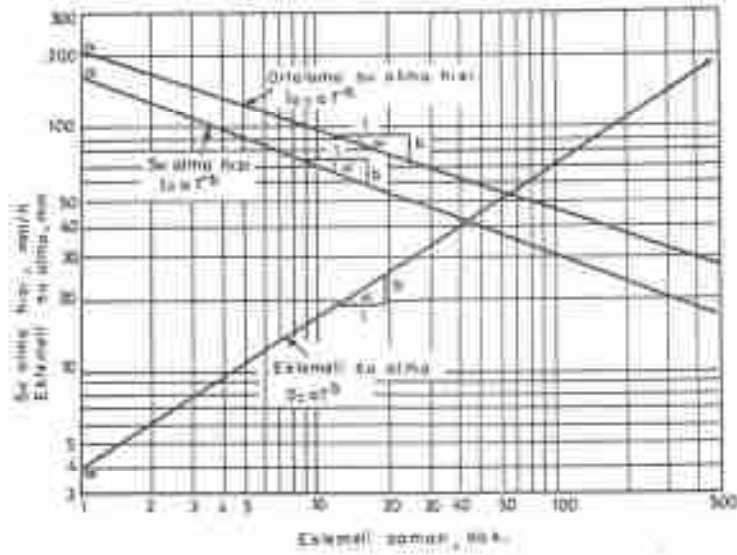
T = Eklemeli zaman, dak.

a = Doğrunun ordinatı (T = 1 dak değerini) kestiği noktanın değeri ve

b = Doğrunun eğimidir (tgα).



Şekil 3.12' Su alma hızı ve eklenmeli su alma eğrileri



Şekil 3.13' Su alma hızı ve eklenmeli su alma ile eklenmeli zaman arasındaki ilişki

Çift silindirik infiltrometre ölçmelerine ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir.

Örnek :

Bir tarla parselinde yapılan çift silindirik infiltrometre ölçmelerine ilişkin sonuçlar Çizelge 3.3'ün 1. ve 4. kolonuna yazılmıştır. Örneğin, iç silindire saat 8.00'de su doldurulmuş ve su düzeyi 52 mm ölçülmüştür. Bundan sonra standart zaman aralıklarında su düzeyi ölçmelerine devam edilmiştir. Saat 11.00'de, su düzeyi 152 mm olarak ölçüldükten sonra, toprak yüzeyinde su derinliğinin 5 cm civarında olduğu gözlenmiştir. Silindire su ilave edilerek tekrar su düzeyi ölçmesi yapılmış ve 46 mm olarak kaydedilmiştir. Ölçmelere, hirim zamanda toprağa giren su miktarı sabitleyinceye kadar devam edilmiştir. Çizelgenin diğer kolonlardaki değerler aşağıda açıklandığı gibi hesaplanır.

2. kolon : Ölçmeler arasında geçen gözlen süreleridir. Örneğin, saat 8.00 ile 8.10 arasındaki süre 10 dakikadır.

3. kolon : Eklemeli zaman, başka bir deyişle, ölçme zamanının başlangıça olan toplam süresidir. 2. kolon değerleri toplanarak elde edilir.

5. kolon : Derinlik cinsinden su alma değerleridir. Her zaman aralığında toprağa giren su miktarlarını ifade etmektedir. 4. kolon değerlerinin farklarından bulunur.

6. kolon : Her zaman aralığındaki mm/h cinsinden su alma hızı değerleridir. 5. kolon ile 2. kolon değerlerinden yararlanarak hesaplanır. Örneğin, saat 8.00 ile 8.10 arasındaki 10 dakikalık sürede toprağa 15 mm su girmiştir. Bunun 1 saate karşılık gelen değeri, $15 \times 6 = 90$ mm, başka bir deyişle, su alma hızı 90 mm/h'tir. Aynı biçimde, 15.00 ile 17.00 saatleri arasındaki su alma hızı, $30 \times 0.5 = 15$ mm/h'tir.

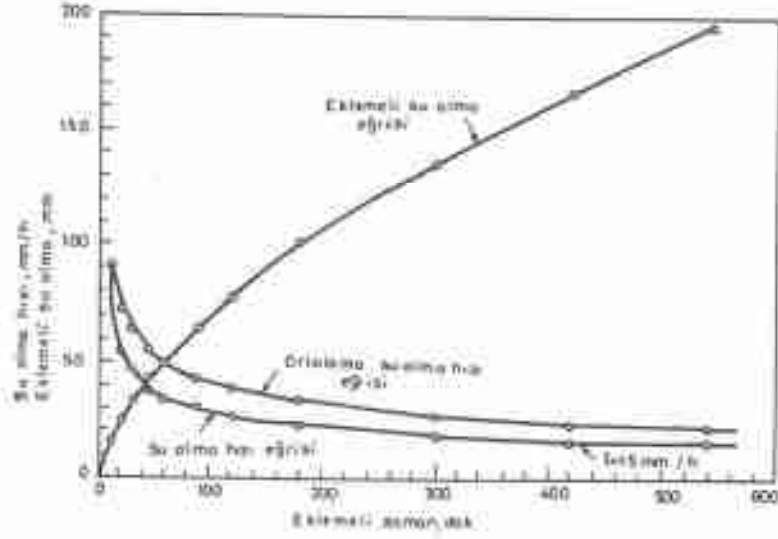
7. kolon : Başlangıçtan itibaren herhangi bir zamana kadar toprağa giren mm cinsinden su miktarıdır. 5. kolon değerleri toplanarak elde edilir.

8. kolon : Başlangıçtan itibaren herhangi bir zamana kadar mm/h cinsinden ortalama su alma hızı değerleridir. 7. ve 3. kolon değerlerinden yararlanarak hesaplanır. Örneğin, başlangıçtan itibaren saat 8.30'a kadarki 30 dakikalık sürede toprağa toplam 32 mm su girmiştir ve bu süredeki ortalama su alma hızı, $32 \times 2 = 64$ mm/h'tir.

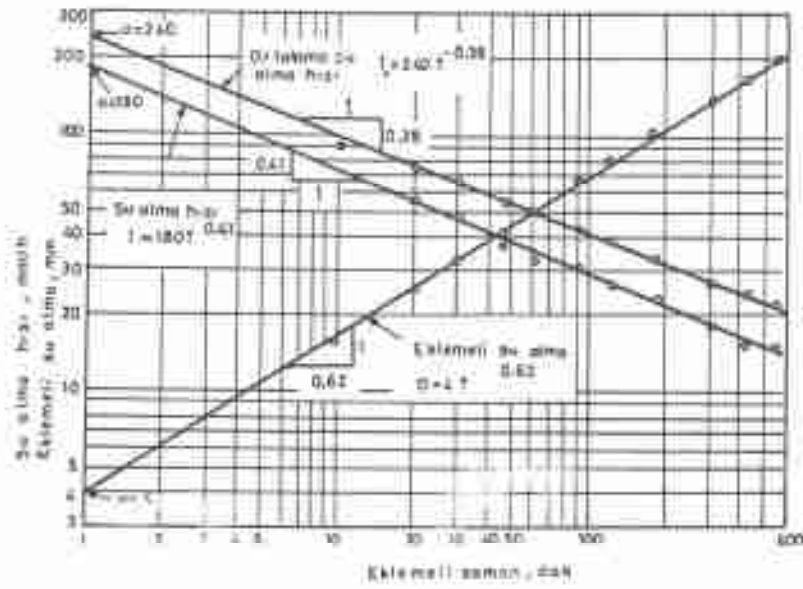
Çizelgede, 3. kolon değerlerine karşı 6., 7. ve 8. kolon değerleri bir milimetrik kağıda ve tam logaritmik kağıda işaretlenirse, sırasıyla su alma hızı, eklemeli su alma ve ortalama su alma hızı eğrileri ve eğitlikleri elde edilir (Şekil 3.14 ve 3.15). Şekil 3.14'ten görüleceği gibi, sabitleyen su alma hızı değeri 15 mm/h'tir. Bu değer, toprağın gerçek su alma hızıdır. Ayrıca, Şekil 3.15'te doğruların eğimlerinden ve ordinatı ($T = 1$ dak değerini) kestiği noktalardan yararlanarak,

Çizelge 1.3 Çift silindirik infiltrometre ölçmelerine ilişkin örnek

Gözlem zamanı	Gözlem süresi (dak)		Su düzeyi ölçmeleri (mm)	Su alma		Eklemeli su alma	
	Okumalar arası	Eklemeli zaman		Derinlik (mm)	Su alma hızı (mm/h)	Derinlik (mm)	Ortalama su alma hızı (mm/h)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
8.00			52				
	10	10		15	90	15	90
8.10			67				
	10	20		9	54	24	72
8.20			76				
	10	30		8	48	32	64
8.30			84				
	15	45		9	36	41	55
8.45			93				
	15	60		8	32	49	49
9.00			101				
	30	90		15	30	64	43
9.30			116				
	30	120		13	26	77	39
10.00			129				
	60	180		23	23	100	33
11.00			152 - 46				
	120	300		36	18	136	27
13.00			82				
	120	420		30	15	166	24
15.00			112				
	120	540		30	15	196	22
17.00			142				



Şekil 3.14 Örneğe ilişkin su alma hızı ve eklemeli su alma eğrileri.



Şekil 3.15 Örneğe ilişkin su alma hızı ve eklemeli su alma ile eklemeli zaman arasındaki ilişkiler.

Su alma hızı eşitliği;

$$I = 180T^{-0.41}$$

Ortalama su alma hızı eşitliği;

$$I = 240T^{-0.38}$$

Eklenti su alma eşitliği;

$$D = 4T^{0.62}$$

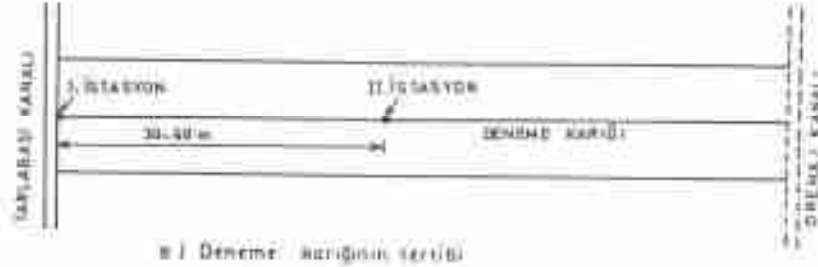
biçiminde elde edilir. Bu eşitliklerden yararlanarak tarla parselinin herhangi bir noktasında, yüzeyde suyun toprakla temas ettiği andan itibaren geçecek belirli süredeki su alma hızı ve toprağa giren su miktarı hesaplanabilir. Örneğin, başlangıçtan itibaren 100. dakika dikkate alırsa, yukarıdaki eşitliklerde $T = 100$ dak değeri yerine konarak;

- 100. dakikadaki su alma hızı $I = 27.2$ mm/h,
- Başlangıçtan itibaren 100. dakikaya kadar toprağa giren suyun ortalama hızı $I = 41.7$ mm/h,
- Başlangıçtan itibaren ilk 100 dakikada toprağa giren su miktarı $D = 69.5$ mm biçiminde hesaplanır.

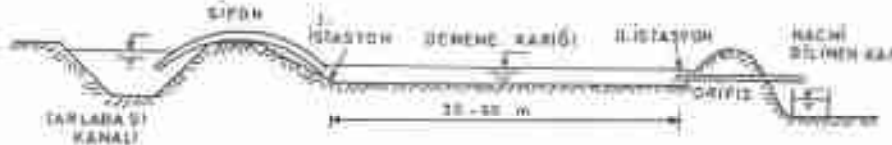
3.9.2. Karıklara Giren ve Çıkan Suyun Ölçülmesi

Karık sulama yönteminde, toprak yüzeyinin tamamının ıslatılmadığı ve karık içerisinde suyun yanal doğrultuda da toprağa girmesi söz konusu olduğu için, çift silindirik infiltrometre ölçmeleriyle elde edilecek sonuçlar bu yöntem için kullanılamaz. Dolayısıyla, karık sulama yöntemi için ayrı infiltrasyon testleri yapılır. Bunlardan biri de karıklara giren ve çıkan suyun ölçülmesidir.

Bu amaçla arazide, yetiştirilecek bitkilerin sıra aralıklarına uygun aralıkta en az 3 adet karık açılır. Ortadaki karığın başlangıçta sifon, savak gibi giren suyun debisinin ölçüleceği bir araç yerleştirilir. Karığın 30-60 m ilerisine ise çıkan suyun debisini ölçmek için bir orifis ve hacmi bilinen kap konur (Şekil 3,16). Deneme karığına, erozyona neden olmayacak ve karıktaki su yüksekliği karık yüksekliğinin % 75 ini aşmayacak biçimde, olanaklar ölçüsünde yüksek debide su verilir. Bu arada, deneme karığının her iki yanındaki karıklara da su verilerek, deneme karığında suyun yanal sızması dengelenir. Su karık sonuna ulaştıktan sonra, belirli zaman aralıkları ile karıklardan çıkan suyun debisi ölçülür ve bir çizelgeye kaydedilir. Bu arada karığa giren suyun debisi de birkaç defa ölçülerek kaydedilir. Ölçümlere, toprağa giren suyun debisi yaklaşık sabit bir değere ulaşıncaya (karıktan çıkan suyun debisi sabitleşince) son verilir.



a) Deneme karığının tertibi



b) Deneme karığı kesiti

Şekil 3.16 İnfiltrasyon testlerinin yapıldığı deneme karığının tertibi ve kesiti

İnfiltrasyon testlerinin, toprak yüzeyi işlenmemiş karıklarda ve sulamaya başlanmamış öngörülen toprak nemi koşullarında yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, yeni açılmış karıklar söz konusu ise, karıklara önce su verilir ve kök derinliğindeki toprak neminin istenen düzeye düşmesi beklenir. Bundan sonra infiltrasyon testlerine başlanır. Eğer tarla parselinde bitki varsa ve karık sulama yöntemi uygulanıyorsa, infiltrasyon testleri mevcut karıklarda da yapılabilir. Ancak, testlerin çapa yapılmamış karıklarda ve sulamaya başlanacak toprak nemi düzeyinde yapılması gerekmektedir.

Ölçme sonuçlarından eklemeli zaman ve eklemeli su alma değerleri hesaplanır. Bu değerler, çift silindir infiltrometre ölçmelerinde açıklandığı gibi, tam logaritmik kağıda işaretlenir ve (3.13) no.lu genel eklemeli su alma eşitliğindeki a ve b ampirik katsayıları bulunur. Karıklara giren ve çıkan suyun ölçülmesiyle eklemeli su alma eşitliğinin elde edilmesine ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir.

Örnek:

İnfiltrasyon testleri yapmak amacıyla, 0,60 m aralılda 3 adet kırık seçilmiş ve ortadaki deneme kırığına 1,2 L/s su verilmiştir. Kırığın 30. m'inde çıkan suyun debileri ölçülmüştür. Ölçme zamanları ve kırığına giren ve çıkan suyun debileri Çizelge 3.4'te verilen kayıt çizelgesinin 1., 5. ve 6. kolonlarına yazılmıştır. Kırığına giren suyun debisi deneme süresince birkaç defa ölçülerek kontrol edilmiş ve 1,2 L/s değerinin değişmediği saptanmıştır. Çizelgeden izleneceği gibi, deneme kırığına saat 9.00'da su verilmiş ve su kırık sonuna saat 9.04'te ulaşmıştır. Kırığın dolması için 2 dakika beklenmiş ve ilk kırıktan çıkan su ölçmesi saat 9.06'da yapılmıştır. Bundan sonra standart zaman aralıklarında kırıktan çıkan suyun debisi ölçülmüş ve toprağına giren suyun debisi yaklaşık sabit olduğunda denemelere son verilmiştir. Çizelge 3.4'te diğer kolonlardaki değerler şu şekilde hesaplanmıştır.

2. kolon : Kırık başlangıcında suyun toprağına girme sürelerini göstermektedir. Örneğin, kırık başlangıcında saat 9.36'da, 9.36 ile 9.00 farkı olan 36 dakika süre ile su toprağına girmiştir.

3. kolon : Kırık sonunda suyun toprağına girme sürelerini göstermektedir. Örneğin, kırık sonunda saat 9.36'da, 9.36 ile 9.04 farkı olan 32 dakika süre ile su toprağına girmiştir.

Çizelge 3.4 Kırıklara giren ve çıkan suyun ölçülmesine ilişkin örnek

Gözlem zamanı	Suyun toprağına girme süresi (dak)			Kırığına giren suyun debisi (L/s)	Kırıktan çıkan suyun debisi (L/s)	Toprağına giren su miktarı	
	I. istasyon	II. istasyon	Ortalama			Debi (L/s)	Derinlik (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
9.00	0			1.2			
9.04	4	0					
9.06	6	2	4		0.525	0.675	9
9.16	16	12	14		0.836	0.364	17
9.26	26	22	24		0.912	0.288	23
9.36	36	32	34		0.935	0.247	28
9.51	51	47	49		0.980	0.220	36
10.06	66	62	64		1.008	0.192	41
10.36	96	92	94		1.044	0.156	49
11.06	126	122	124		1.062	0.138	57
12.06	186	182	184		1.086	0.114	70
14.06	306	302	304		1.114	0.086	87

4. kolon : Karık boyunca suyun toprağa girdiği ortalama süreyi göstermektedir. 2. ve 3. kolon değerlerinin ortalamaları alınarak bulunur.

7. kolon : Karık boyunca toprağa giren suyun debisini göstermektedir ve 5. kolon ile 6. kolon değerleri farkına eşittir.

8. kolon : Karık boyunca toprağa giren ortalama su derinliğini göstermektedir. Aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanır.

$$D = \frac{60qT}{wL} \quad (3.14)$$

Eşitlikte;

D = Toprağa giren su miktarı (eklemeli su alma), mm,

q = Toprağa giren suyun debisi (7. kolon değerleri), L/s,

T = Suyun toprağa girme süresi (eklemeli zaman, 4. kolon değerleri), dak,

w = Deneme karıklarının aralığı, m ve

L = Deneme karığı uzunluğu, m'dir.

Örneğin, deneme karıklarının aralığı 0.60 m ve karık uzunluğu 30 m olduğundan, saat 9.06'ya kadar ortalama 4 dakika sürede toprağa giren su miktarı;

$$D = \frac{60qT}{wL} = \frac{60 \times 0.675 \times 4}{0.60 \times 30} = 9 \text{ mm}$$

biçiminde hesaplanır.

Çizelgede, 4. kolondaki eklemeli zaman değerlerine karşılık, 8. kolondaki eklemeli su alma değerleri bir tam logaritmik kağıda işaretlenerek, 0.60 m karık aralığı için eklemeli su alma eşitliği;

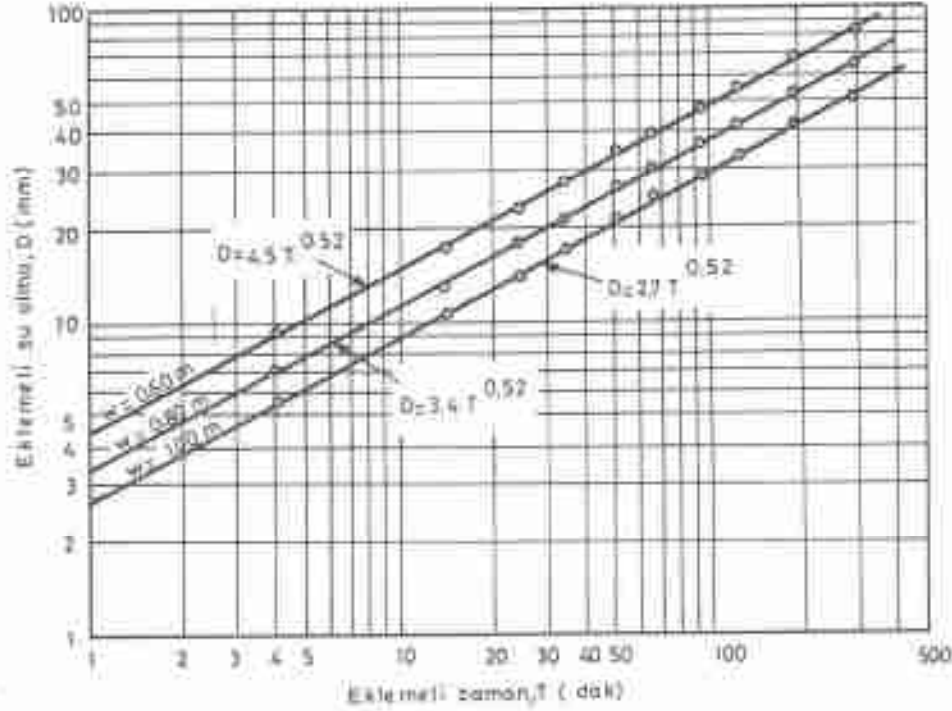
$$D = 4.5T^{0.32}$$

biçiminde elde edilmiştir (Şekil 3.17).

Burada, infiltrasyon testleri 0.60 m karık aralığında yapılmasına karşın, bitki sıra aralığı değiştiğinde, bu test sonuçlarından yararlanarak yeni karık aralığı için eklemeli su alma eşitliği bulunabilir. Bunun için (3.14) nolu eşitlikte w yerine öngörülen karık aralığını yazmak yeterlidir. Örneğin, saat 9.06'daki eklemeli su alma değeri, karık aralığı w = 0.80 m için;

$$D = \frac{60qT}{wL} = \frac{60 \times 0.675 \times 4}{0.80 \times 30} = 6.7 \text{ mm}$$

bulunur. Diğer değerler ile aynı biçimde hesaplanarak 0.80 m karık aralığı için ayrı bir eklemeli su alma eşitliği elde edilir. Şekil 3.17'de 0.80 m ve 1.00 m karık aralıkları için de elde edilen eklemeli su alma eşitlikleri görülmektedir.



Şekil 3.17 Karörları girin ve çökmü suyun ölçülmesi örneğine ilişkin eklemeli su alma eşitlikleri

3.10. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ

1) Bir tarla parselinden alınan 100 cm^3 hacmindeki toprak örneğinin yağ ağırlığı 168.7 g , kuru ağırlığı 132.6 g ve toprak taneleri hacmi 49.5 cm^3 bulunmuştur. Buna göre;

a) Toprağın özgül ağırlığını, hacim ağırlığını, porozitesini, gözenek oranını ve doyma derecesini bulunuz.

b) Toprakta mevcut nem kuru ağırlık yüzdesi, hacim yüzdesi ve birim toprak derinliği için derinlik cinsinden ifade ediniz.

2) Hacim ağırlığı 1.4 g/cm^3 olan toprakta mevcut nem kuru ağırlığa göre % 36.1 'dir. Mevcut nemli 30 cm , 60 cm ve 90 cm toprak derinlikleri için mm cinsinden ifade ediniz.

3) Bir tarla parseline yerleştirilen tensiyometreden farklı toprak nemi düzeylerinde okunan değerler aşağıda verildiğine göre tensiyometrenin kalibrasyon eğrisini çiziniz.

Toprak nemi (%)	Tensiyometre okumaları (mb)
27.7	113
26.1	228
25.2	316
23.9	392
22.8	525
21.5	686
20.6	790

4) Hacim ağırlığı 1.32 g/cm^3 , tarla kapasitesi % 28.7 ve solma noktası % 17.0 olan toprakta 90 cm toprak derinliği için kullanılabilir su tutma kapasitesini % ve mm cinsinden bulunuz.

5) Çift silindirik infiltrometre ölçmeleri ile elde edilen sonuçlar aşağıda verildiğine göre;

a) Su alma hızı, ortalama su alma hızı ve eklemeli su alma eğrilerini çiziniz ve toprağın gerçek su alma hızını bulunuz.

b) Su alma hızı, ortalama su alma hızı ve eklemeli su alma eşitliklerini bulunuz.

c) Her silamada uygulanacak 75.4 mm sığın toprağa girmesi için geçen süreyi ve bu süre içinde ortalama su alma hızını hesaplayınız.

Gözlem zamanı	Su düzeyi ölçmeleri (mm)
8.45	62
8.55	79
9.05	87
9.15	93
9.30	100
9.45	106
10.15	116
10.45	124
11.45	137
13.45	155 - 58
15.45	76

6) Karıklara giren ve çıkan suyun ölçülmesi yoluyla infiltrasyon testleri yapmak için aralığı 0.75 m olan 3 adet karık seçilmiş ve ortadaki deneme karığına saat 7.30'da 0.80 L/s sürekli ve sabit debide su verilmiştir. Su, deneme karığının 60. m'sine saat 7.40'ta ulaşmıştır. Bu noktada karıktan çıkan su debisi ölçmelerine saat 7.45'te başlanmıştır. Elde edilen değerler aşağıdaki çizelgede verildiğine göre;

a) 0.50 m, 0.75 m ve 1.00 m karık aralıkları için eklemeli su alma eşitliklerini bulunuz.

b) Bu karık aralıklarında 85.4 mm sulama suyunun toprağa girmesi için geçen süreleri hesaplayınız.

Gözlem zamanı	Karıktan çıkan suyun debisi (L/s)
7.45	0.300
7.55	0.435
8.05	0.503
8.15	0.540
8.30	0.575
8.45	0.596
9.15	0.622
9.45	0.638
10.45	0.658
12.45	0.700

SULAMA SUYU İHTİYACI

Bitkilerin ihtiyaç duydukları suyun yağışlarla karşılanamayan kısmı sulama ile toprağa verilmektedir. Bu nedenle, 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 ve sulama randımanı kavramları ile sulama zamanının planlanması aşağıda açıklanmıştır.

4.1. BİTKİ SU TÜKETİMİ

Bitki su tüketimi (evapotranspirasyon), toprak yüzeyinden olan buharlaşma (evaporasyon) ve bitki yapraklarından olan terleme (transpirasyon) miktarlarının toplamıdır. Genellikle derinlik (mm) cinsinden ifade edilmektedir.

Sulama uygulamalarında, toprak nemindeki değişimlerin değerlendirilmesi önemli olduğundan, buharlaşma ve terleme miktarlarının ayrı ayrı ölçülmesi yerine, birlikte ölçülmesi yada tahmin edilmesi yeterli olmaktadır.

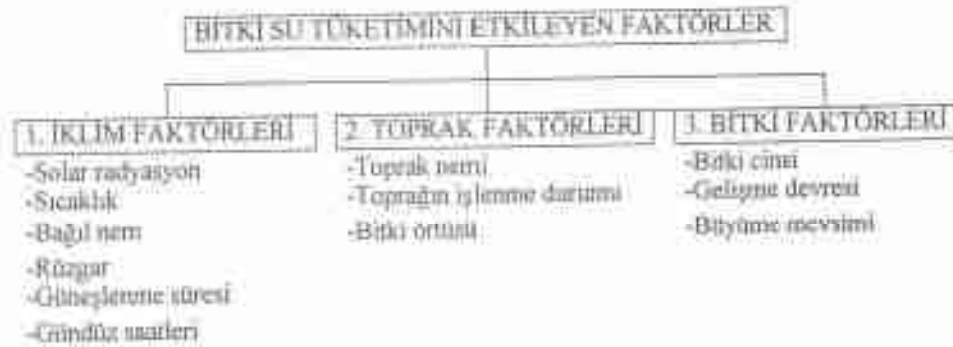
Bitki su tüketimi değerleri; günlük, haftalık ve on günlük gibi kısa periyotlarla, aylık ve mevsimlik gibi uzun periyotlar için belirlenmektedir. Kısa periyotlu bitki su tüketimi değerleri sulama zamanının planlanmasında sulama aralığını saptamak için kullanılmaktadır. Uzun periyotlu bitki su tüketimi değerlerinden ise, belirli bir sulama projesi alanındaki ortalama bitki su tüketimi tahminlerinde yararlanılmaktadır. Dolayısıyla, kısa periyotlu bitki su tüketimi tahmininde kullanılacak eşitlikler, bitki su tüketimine etkili birçok iklim faktörünü kapsarlar ve uzun periyotlu bitki su tüketimi tahmin eşitliklerine oranla daha sağlıklı sonuç verirler. Burada, hem kısa hem de uzun periyotlu bitki su tüketimi tahmin yöntemleri üzerinde durulacaktır.

4.1.1. Bitki Su Tüketimini Etkileyen Faktörler

Bitki su tüketimini çok sayıda faktör etkilemektedir. Bunlardan önemli olanları Çizelge 4.1'de şematik olarak gösterilmiştir.

İklim faktörleri açısından: solar radyasyon miktarı (güneş ışınları şiddeti), sıcaklık, rüzgar hızı ve esme süresi, güneşlenme süresi (gündüz havanın buluda kaplı olmadığı süre) ve güneşin doğuşundan batışına kadar olan gündüz saatleri arttıkça, hem toprak yüzeyinden olan buharlaşma miktarı hem de bitki yapraklarından olan terleme miktarı artacağından, bitki su tüketimi de artmaktadır. Buna karşın, bitki çevresindeki havanın bağıl nemi arttığında ise, buharlaşma ve terleme miktarı düşeceğinden, bitki su tüketimi azalmaktadır. Toprağın üst katmanındaki nem miktarı arttıkça ve özellikle doyma noktasına yaklaştıkça toprak yüzeyinden olan buharlaşma miktarı artmaktadır. Toprak yüzeyinin işlenmiş olması da yüzeyden olan buharlaşma miktarını arttırmaktadır. Bitki kök bölgesinde tarla kapasitesinin altındaki nem koşullarında, toprak yüzeyinden olan buharlaşma miktarı çok denecek kadar az olmaktadır. Bunun yanında, sulamadan hemen sonra toprak yüzeyi ıslak olacağından, buharlaşma miktarı yüksek olmakta ve zamanla bu değer azalmaktadır. Ayrıca, toprak yüzeyinden olan buharlaşma miktarı, toprak yüzeyinin bir kısmının ıslatıldığı damla sulama yöntemlerine oranla, toprak yüzeyinin tamamının ıslatıldığı yüzey ve yağmurlama sulama yöntemlerinde daha yüksek olmaktadır. Toprak yüzeyinden olan buharlaşma miktarının yüksek olması koşulunda doğal olarak bitki su tüketimi de artmaktadır.

Çizelge 4.1 Bitki su tüketimini etkileyen faktörler



Bitki kök bölgesinde devamlı olarak bitki su ihtiyacını karşılayacak düzeyde nem bulundurulması, bitki gelişmesini olumlu yönde etkiler. Bitki geliştikçe yapraklardan olan terleme miktarı da artmaktadır. Buna karşın, bitki geliştikçe toprak yüzeyinde gölgelenme oranı artacağından, toprak yüzeyinden olan buharlaşma miktarı düşmektedir. Bu nedenle, bitki büyüme mevsimi boyunca, gelişmenin ilk devrelerinde toprak yüzeyinden olan buharlaşmanın bitki su tüketimi içerisindeki payı, bitki yapraklarından olan terlemeye oranla genellikle daha fazladır. Bitki geliştikçe terlemenin payı artmakta ve maksimum bitki ömüründe en yüksek değere ulaşmaktadır. Bu koşulda, bitki yapraklarından olan terlemenin bitki su tüketimi içerisindeki payı, genellikle toprak yüzeyindeki buharlaşmadan daha fazla olmaktadır.

Yaprak büyüklüğü ve birim alandaki gözenek sayıları bitkilerde önemli düzeyde farklılık gösterdiğinden, bitki su tüketimi de bitki cinsine bağlı olarak değişmektedir. Bunun yanında bitki su tüketimi, belirli bir bitkinin büyüme devrelerine göre de değişmektedir. Ekim ya da dikişenden sonraki başlangıç devresinde bitki su tüketimi en az düzeydedir. Bundan sonra vejetatif gelişmeye paralel olarak bitki su tüketimi artar ve vejetatif gelişmenin tamamlandığı devrede en yüksek değerine ulaşır. Hasada kadar geçen devrede ise bitki su tüketiminde tekrar belirli oranda azalma meydana gelir. Ayrıca, büyüme mevsimi uzun olan bitkilerin mevsimlik su tüketimleri, kısa olanlara oranla daha fazladır.

4.1.2. Bitki Su Tüketiminin Saptanması

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 kullanılacak çok sayıda eşitlik geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları, birkaç iklim faktörünün dikkate alınmasıyla geliştirilen, çözümü kolay, ancak uzun periyotlar için sağlıklı sonuç verebilen eşitliklerdir. Bazıları ise, bitki su tüketimine etkili olan birçok iklim faktörü göz önüne alınarak geliştirilmiş, kısa periyotlar için bile sağlıklı sonuç veren, ancak oldukça karmaşık eşitliklerdir.

Uygulamada bitki su tüketimi değerlerinin tahmin edilmesinde yaygın olarak izlenen yol, önce yalnızca iklim faktörlerinin etkili olduğu bir potansiyel bitki su tüketimi tanımlamak ve potansiyel bitki su tüketiminin hesaplanmasında

kullanılabilecek ampirik eşitlikleri geliştirmektedir. Sonra, potansiyel bitki su tüketimi değerlerini, bitki cinsi ve bitki gelişme devresinin fonksiyonu olan bitki katsayıları ile düzeltmektedir.

$$ET = k_c ET_p \quad (4.1)$$

Eşitlikte;

ET = Bitki su tüketimi, mm/gün,

k_c = Bitki katsayısı ve

ET_p = Potansiyel bitki su tüketimi, mm/gün'dür.

Ancak, potansiyel bitki su tüketiminin henüz standart bir tanımı yapılamamıştır ve yorumunda bazı karışıklıklar bulunmaktadır. Bu nedenle, potansiyel bitki su tüketimi yerine, son yıllarda, kıyas bitki su tüketimi kavramı yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu amaçla önce, belirli koşulları taşıyan kıyas bir bitki alınmakta ve bu bitkiye ilişkin su tüketiminin tahmininde kullanılabilecek ampirik eşitlikler geliştirilmektedir. Daha sonra, bu eşitliklerin diğer bitkilere ilişkin su tüketimi tahminlerinde kullanılabilmesi için, bitki cinsi ve bitki gelişme devresinin fonksiyonu olan bitki katsayıları ile düzeltilmektedir.

$$ET = k_c ET_s \quad (4.2)$$

Eşitlikte;

ET = Bitki su tüketimi, mm/gün,

k_c = Bitki katsayısı ve

ET_s = Kıyas bitki su tüketimi, mm/gün'dür.

Uygulamada kıyas bitki olarak çayır bitkileri ile yonca ve benzeri bitkiler göz önüne alınmaktadır. Çayır bitkileri söz konusu olduğunda kıyas bitki su tüketimi;

"8-10 cm yüksekliğinde, yeknesak boylu, etkili olarak büyüyen, alanı tam örten, yeterli düzeyde sulanmış çayır bitkileri ile kaplı geniş bir alandaki bitki su tüketimi"

biçiminde tanımlanmaktadır.

Burada, kıyas bitki olarak çayır bitkilerinin göz önüne alındığı, kısa periyotlar için sağlıklı sonuçlar veren Penman-Monteith ve Kap Buharlaştırma yöntemlerinin FAO modifikasyonları ile uzun periyotlar için sağlıklı sonuçlar veren Blaney - Criddle yönteminin FAO modifikasyonu üzerinde durulacaktır.

4.1.3. Kıyas Bitki Su Tüketiminin Tahmininde Penman-Monteith Yöntemi

Bu yöntemde kıyas bitki su tüketimi;

$$ET_a = \frac{\delta}{\delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma^*} u_2 (e_a - e_d) \quad (4.3)$$

eşitliği ile tahmin edilmektedir. Bu eşitlikteki bazı terimlerin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler ise aşağıda verilmiştir.

$$\delta = \frac{4098 e_a}{(T + 237.3)^2} \quad (4.4)$$

$$\lambda = 2.501 - 2.36 \times 10^{-2} T \quad (4.5)$$

$$\gamma = 0.0016286 \frac{P}{\lambda} \quad (4.6)$$

$$\gamma^* = \gamma(1 + 0.34 u_2) \quad (4.7)$$

$$R_n = R_m - R_{nf} \quad (4.8)$$

$$R_m = 0.75 R_s \quad (4.9)$$

$$R_{nf} = 2.451 f(T) f(e_d) f\left(\frac{n}{N}\right) \quad (4.10)$$

$$R_s = (0.25 + 0.50 \frac{n}{N}) R_0 \quad (4.11)$$

$$e_d = e_a \frac{RH}{100} \quad (4.12)$$

$$u_2 = u_v \left(\frac{z}{2}\right)^{0.2} \quad (4.13)$$

Bu eşitliklerde;

ET = Referans bitki su tüketimi, mm/gün,

δ = Buhar basıncı eğrisinin eğimi, kPa/°C,

γ^* = Modifiye psikrometrik sabite, kPa/°C.

- γ = Psikrometrik sabite, kPa/°C,
 P = Atmosfer basıncı, kPa,
 R_n = Bitki yüzeyindeki net radyasyon, MJ/m²/gün,
 R_a = Atmosferin dry yüzüne ulaşan radyasyon, MJ/m²/gün (Çizelge 4.2'den doğrudan alınabilir),
 R_s = Yeryüzüne ulaşan kısa dalgali radyasyon, MJ/m²/gün,
 R_{sn} = Kısa dalgali net radyasyon, MJ/m²/gün,
 R_{un} = Uzun dalgali net radyasyon, MJ/m²/gün,
 $f(T)$ = Sıcaklık fonksiyonu (Çizelge 4.3'ten doğrudan alınabilir),
 T = Sıcaklık, °C,
 $f(e_a)$ = Buhar basıncı fonksiyonu (Çizelge 4.4'ten doğrudan alınabilir),
 e_a = Ortalama hava sıcaklığındaki gerçek buhar basıncı, kPa,
 e_s = Ortalama hava sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı, kPa (Çizelge 4.5'ten doğrudan alınabilir),
 $f(n/N)$ = Güneşlenme oranı fonksiyonu (Çizelge 4.6'dan doğrudan alınabilir),
 n = Güneşlenme süresi, h,
 N = Olası maksimum güneşlenme süresi, h (Çizelge 4.7'den doğrudan alınabilir),
 G = Topraktaki ısı akımı, MJ/m²/gün (Ardeşik periyotlarda toprağın ortalama sıcaklığı çok fazla değişmediğinden ihmal edilebilir),
 λ = Buharlaşma göçlü ısı, MJ/kg (Ortalama bir değer olarak 2.45 MJ/kg alınabilir),
 u_2 = Rüzgar hızının 2 m yükseklikteki eşdeğeri, m/s,
 u_z = z m yükseklikte ölçülmüş rüzgar hızı, m/s,
 z = Rüzgar hızının ölçüldüğü yükseklik, m (Türkiye'de meteoroloji bültenlerinde genellikle 10 m yükseklikte ölçülmüş rüzgar hızı değerleri verilmektedir) ve
 RH = Ortalama bağıl nem, %

değerlerini göstermektedir.

Basınç birimleri açısından:

$$1 \text{ mb} = 0.1 \text{ kPa}$$

ve radyasyon birimleri açısından:

$$1 \text{ cal/cm}^2/\text{gün} = 0.041868 \text{ MJ/m}^2/\text{gün} = 0.01706 \text{ mm/gün'dür.}$$

Çizelge 4.2 Atmosferin dış yüzüne ulaşan radyasyon değerleri, R_e (MJ/m²/gün)

Enlem derjesi	A y l a r							
	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
44	26.0	33.6	39.5	42.2	40.7	36.0	29.2	21.3
42	27.0	34.3	39.7	42.4	40.9	36.8	29.9	22.3
40	27.9	35.0	39.7	42.4	40.9	37.3	30.6	23.5
38	28.9	35.5	40.2	42.2	40.9	37.5	31.4	24.5
36	29.7	36.0	40.2	42.3	40.9	37.7	32.1	26.0
34	30.4	36.5	40.4	41.9	41.2	38.0	32.8	26.5

Çizelge 4.3 Sıcaklık fonksiyonu, $f(T)$

$T, ^\circ\text{C}$	2	4	6	8	10	12	14	16	18
$f(T)$	11.4	11.7	12.0	12.4	12.7	13.1	13.5	13.8	14.2
$T, ^\circ\text{C}$	20	22	24	26	28	30	32	34	39
$f(T)$	14.6	15.0	15.4	15.9	16.3	16.7	17.2	17.7	18.1

Çizelge 4.4 Buhar basıncı fonksiyonu, $f(e_s)$

e_s, kPa	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2
$f(e_s)$	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.16	0.17	0.14	0.13
e_s, kPa	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
$f(e_s)$	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06

Çizelge 4.5 Ortalama hava sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı, e_s

$T, ^\circ\text{C}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
e_s, kPa	0.66	0.71	0.76	0.81	0.87	0.93	1.00	1.07	1.15
$T, ^\circ\text{C}$	10	11	12	13	14	15	16	17	18
e_s, kPa	1.23	1.31	1.40	1.50	1.61	1.70	1.82	1.94	20.6
$T, ^\circ\text{C}$	19	20	21	22	23	24	25	26	27
e_s, kPa	2.20	2.34	2.49	2.64	2.81	2.98	3.17	3.36	3.57
$T, ^\circ\text{C}$	28	29	30	31	32	33	34	35	36
e_s, kPa	3.78	4.01	4.24	4.49	4.76	5.03	5.32	5.62	5.94

Çizelge 4.6. Güneşlenme oranı fonksiyonu, $f(n/N)$

n/N	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
$f(n/N)$	0.10	0.15	0.19	0.24	0.28	0.33	0.37
n/N	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65
$f(n/N)$	0.42	0.46	0.51	0.55	0.60	0.64	0.69
n/N	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	
$f(n/N)$	0.73	0.78	0.82	0.87	0.91	0.96	

Çizelge 4.7. Ortan maksimum güneşlenme süresi, N (h/gün)

Enlem derecesi	A y l a r							
	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
44	11.9	13.4	14.7	15.4	15.2	14.0	12.6	11.0
42	11.9	13.4	14.6	15.2	14.9	13.9	12.6	11.1
40	11.9	13.3	14.4	15.0	14.7	13.7	12.5	11.2
35	11.9	13.1	14.0	14.5	14.3	13.5	12.4	11.3
30	12.0	12.9	13.6	14.0	13.9	13.2	12.4	11.5

Bunun yanında, göz önüne alınan yöre ve bitki su tüketiminin hesaplanacağı periyot için, enlem derecesi, ortalama sıcaklık, rüzgar hızı, ortalama bağıl nem, güneşlenme süresi ve atmosfer basıncı değerleri en yakın meteoroloji istasyonundan alınabilir.

Penman - Monteith yöntemiyle kıyas bitki su tüketiminin hesaplanmasına ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir.

Örnek :

Verilenler :

- Ankara, enlem derecesi, $39^{\circ} 57'$
- Temmuz ayı
- Ortalama sıcaklık, $T = 23,1^{\circ}\text{C}$
- 10 m yükseklikte ölçülen ortalama rüzgar hızı, $u_{10} = 3,6 \text{ m/s}$
- Ortalama bağıl nem, $RH = \% 42$
- Güneşlenme süresi, $n = 12 \text{ h } 27 \text{ dak}$
- Atmosfer basıncı, $P = 910,8 \text{ mb} = 91,08 \text{ kPa}$

İstenen ;

Ankara koşullarında Temmuz ayına ilişkin kıyas bitki su tüketiminin Penman - Monteith yöntemiyle hesaplanması.

Çözüm ;

1) Ortalama hava sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı bulunur.

Çizelge 4.5'te $T = 23.1$ °C için $e_s = 2.83$ kPa

2) Ortalama hava sıcaklığındaki gerçek buhar basıncı hesaplanır.

$$e_x = e_s \frac{RH}{100} = 2.83 \times \frac{42}{100} = 1.19 \text{ kPa}$$

3) Buhar basıncı eğrisinin eğimi hesaplanır.

$$\delta = \frac{4098 e_s}{(T + 237.3)^2} = \frac{4098 \times 2.83}{(23.1 + 237.3)^2} = 0.171 \text{ kPa/}^\circ\text{C}$$

4) Psikrometrik sabite hesaplanır.

$$\gamma = 0.0016286 \frac{P}{\lambda} = 0.001 \times \frac{91.08}{2.45} = 0.0605 \text{ kPa/}^\circ\text{C}$$

5) Rüzgar hızının 2 m yükseklikteki eşdeğeri hesaplanır.

$$u_2 = u_z \left(\frac{z}{z_0}\right)^{0.2} = u_{10} \left(\frac{z}{10}\right)^{0.2} = 3.6 \times \left(\frac{2}{10}\right)^{0.2} = 2.6 \text{ m/s}$$

6) Modifiye psikrometrik sabite hesaplanır.

$$\gamma^* = \gamma(1 + 0.34u_2) = 0.0605 \times (1 + 0.34 \times 2.6) = 0.114 \text{ kPa/}^\circ\text{C}$$

7) Maksimum olası güneşlenme süresi bulunur.

Çizelge 4.7 de $39^\circ 57'$ enlemi ve Temmuz ayı için $N = 14.7$ h

8) Güneşlenme oranı hesaplanır.

$$n = 12 \text{ h } 27 \text{ dak} = 12.45 \text{ h}$$

$$\frac{n}{N} = \frac{12.45}{14.7} = 0.85$$

9) Atmosferin dış yüzeyine ulaşan radyasyon bulunur.

Çizelge 4.2'de 39°57' enlemi ve Temmuz ayı için $R_a = 40.9 \text{ MJ/m}^2/\text{gün}$

10) Yeryüzüne ulaşan kısa dalgalı radyasyon hesaplanır.

$$R_s = (0.25 + 0.50 \frac{n}{N}) R_a$$
$$= (0.25 + 0.50 \times 0.85) \times 40.9 = 27.6 \text{ MJ/m}^2/\text{gün}$$

11) Kısa dalgalı net radyasyonu hesaplanır.

$$R_{net} = 0.75 R_s = 0.75 \times 27.6 = 20.7 \text{ MJ/m}^2/\text{gün}$$

12) Sıcaklık fonksiyonu bulunur.

Çizelge 4.3'te $T = 23.1 \text{ }^\circ\text{C}$ için $f(T) = 15.2$

13) Buhar basıncı fonksiyonu bulunur.

Çizelge 4.4'te $e_d = 1.19 \text{ kPa}$ için $f(e_d) = 0.19$

14) Güneşlenme oranı fonksiyonu bulunur.

Çizelge 4.6 da $\frac{n}{N} = 0.85$ için $f(\frac{n}{N}) = 0.87$

15) Uzun dalgalı net radyasyon hesaplanır.

$$R_{ul} = 2.451 f(T) f(e_d) f(\frac{n}{N})$$
$$= 2.451 \times 15.2 \times 0.19 = 6.16 \text{ MJ/m}^2/\text{gün}$$

16) Bitki yüzeyindeki net radyasyon hesaplanır.

$$R_n = R_{net} - R_{ul} = 20.7 - 6.16 = 14.54 \text{ MJ/m}^2/\text{gün}$$

17) Kıyas bitki su tüketimi hesaplanır.

$$ET_o = \frac{\delta}{\delta + \gamma} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma} u_2 (e_a - e_d)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0.171}{0.171+0.114} \times (14.54-0) \times \frac{1}{2.45} \\
&+ \frac{0.0605}{0.171+0.114} \times \frac{900}{23.1+275} \times 2.6 \times 2.6 \times (2.83-1.19) \\
&= 6.3 \text{ mm/gün}
\end{aligned}$$

4.1.4. Kıyas Bitki Su Tüketiminin Tahmininde Kap Buharlaşması Yöntemi

Kıyas bitki su tüketiminin tahmini yöntemlerinden biri de tarım alanlarına yerleştirilen buharlaşma kaplarından ölçülen buharlaşma miktarları ile kıyas bitki su tüketimi arasında ilişki kurmaktır. Kaptan olan buharlaşmaya etkili iklim faktörlerinin tamamı, aynı zamanda bitki su tüketimine de benzer biçimde etkili olduğundan bu yöntemle oldukça sağlıklı sonuçlar elde edilebilmektedir.

Buharlaşma kaplarından yararlanarak kıyas bitki su tüketimi;

$$ET_s = k_p E_p \quad (4.14)$$

eşitliği ile tahmin edilmektedir. Eşitlikte;

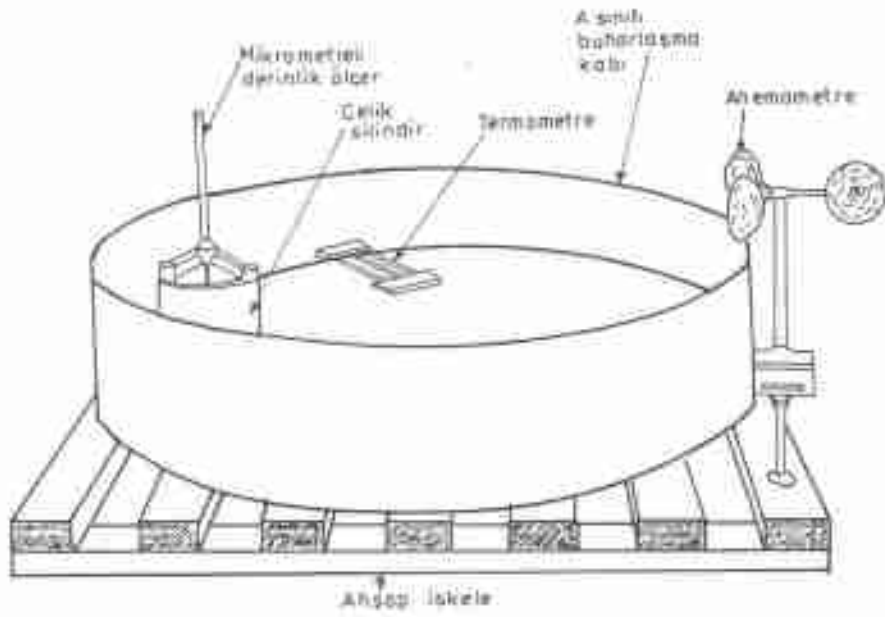
ET_s = Kıyas bitki su tüketimi, mm/gün.

k_p = Buharlaşma kabı katsayısı ve

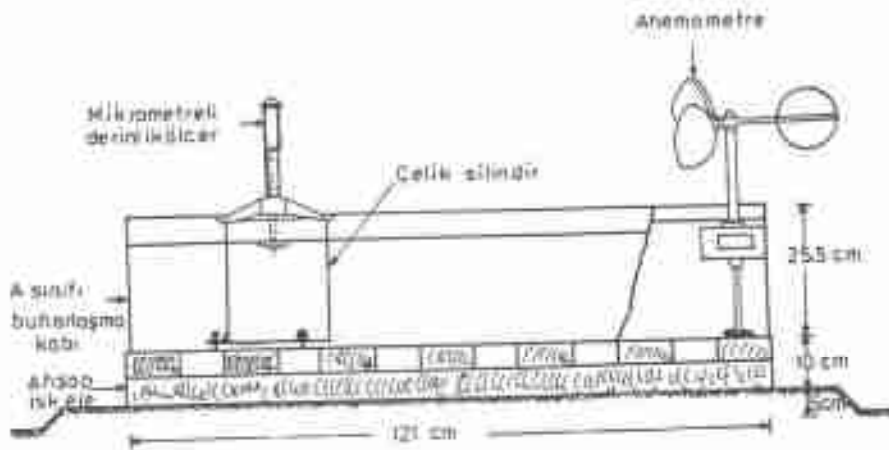
E_p = Kaptan ölçülen buharlaşma miktarı, mm/gün'dür.

Bu amaçla, uygulamada en çok standart A sınıfı buharlaşma kapları kullanılmaktadır. Bu kaplar; 121 cm çapında, 25.5 cm yüksekliğinde, galvanizli sacdan yapılmış üstü açık silindirden ibarettir (Şekil 4.1).

Arazide buharlaşma kabının yeri seçilirken, en az 50 m civarında 1 m'den yüksek bitkilerin bulunmamasına dikkat edilir. Kabın kurulacağı yerde, 5 cm yüksekliğinde sıkıştırılmış toprak dolgu yapılır, dolgu üzerine 10 cm yüksekliğinde ahşap iskele ve bunun üzerine de buharlaşma kabı yerleştirilir. Kap tam yatay olmalı ve ahşap iskele kap altındaki hava hareketini sağlamalıdır. Sıcaklık ve rüzgar hızı ölçmeleri için, genellikle, termometre ve anemometre de yerleştirilmektedir. Buharlaşma kabı içerisinde su düzeyindeki değişimler, mikrometrelili bir derinlik ölçme aracından yararlanarak milimetrenin 1/100'ü doğrulukta okunur. Okuma sırasında su yüzeyindeki dalgalanmaları önlemek için, derinlik ölçme aracı kap içerisindeki bir çelik silindir üzerine yerleştirilir (Şekil 4.2). Çelik silindir genellikle 17.5 cm çapında ve 23 cm yüksekliğindedir. Silindir, altın su girişini sağlamak için üç adet ayak üzerine oturtulur.



Şekil 4.1 A sınıfı buharlaşma kabı genel görünümü



Şekil 4.2 A sınıfı buharlaşma kabı kesiti

Buharlaşma kabına su doldurulurken 5 cm hava payı bırakılır. En çok 25 mm su buharlaştıktan sonra tekrar ilk düzeye kadar su eklenir. Kap içerisindeki su temiz olmalı ve sedimentasyona izin verilmemelidir. Bu amaçla, kabın içerisi haftada bir kez yıkanır ve suyu yenilenir. Kap yılda bir kez de alüminyum boya ile boyanır.

Kap içerisindeki suyun hayvanlar tarafından içilmesini engellemek için kap çevresine bir tel kafes yerleştirilir.

Bitki su tüketimi tahminlerinde buharlaşma ölçmeleri her gün yapılabildiği gibi, birkaç günde bir de yapılabilir. Bu koşulda, elde edilen buharlaşma miktarı ölçme aralığındaki gün sayısına bölünerek günlük ortalama buharlaşma miktarı bulunur.

Kıyas bitki olarak çayır bitkileri göz önüne alındığında, A sınıfı buharlaşma kapları için önerilen kap katsayısı, k_p değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir. Çizelge, kabın yerleştirildiği yer açısından A ve B gibi iki çevre koşulu için düzenlenmiştir. Bu çevre koşulları Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Şekildeki A koşulunda, buharlaşma kabı kısa boylu yeşil bitki örtüsü içerisinde kurulmuştur. Rüzgar en az 50 m uzunluğunda kuru arazi yüzeyini geçtikten sonra kap çevresindeki yeşil örtüyü de geçerek buharlaşma kabına ulaşmaktadır. B koşulunda ise kap kuru yüzeyli çıplak arazi içerisinde kurulmuştur ve rüzgar önce en az 50 m uzunluğundaki yeşil bitli örtüsünü, daha sonra kap çevresindeki kuru toprak yüzeyini geçerek buharlaşma kabına ulaşmaktadır.

Çizelge 4.8'de verilen k_p değerleri, buharlaşma kabının en az 50 m civarında 1 m den yüksek boylu bitki örtüsünün bulunmadığı açık tarlalar için geçerlidir. Aksi durumda k_p katsayıları, kurak ve rüzgarlı iklimlerde %30'a, nemli ve rüzgarsız iklimlerde ise %10'a kadar arttırılmalıdır. Bunun yanında, çizelgedeki değerleri kullanabilmek için kabın alüminyum boya ile boyanmış olması, içerisindeki suyun temiz olması ve su düzeyinde 2.5 cm'den daha fazla alçalmaya izin verilmemesi gerekmektedir.

A sınıfı kaptan olan buharlaşma miktarlarından yararlanarak kıyas bitki su tüketiminin tahminine ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.8. A sınıfı buharlaşma kabı için k_p katsayıları

2 m yüksek- likteki rüzgar hızı, u_2 (km/sln)	A KOŞULU (Kap çevresinde kısa boylu yeşil bitki örtüsü var)			B KOŞULU (Kap çevresinde çıplak arazi var)				
	Bitki örtü- süzüyle rüzgar tarafındaki uzunluğu (m)	Ortalama bağıl nem (%)			Çıplak ara- zinin rüzgar tarafındaki uzunluğu (m)	Ortalama bağıl nem (%)		
		<40	40-70	>70		<40	40-70	>70
<175	1	0.55	0.65	0.75	1	0.70	0.80	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.60	0.70	0.80
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.50	0.60	0.70
175-425	1	0.50	0.60	0.65	1	0.65	0.75	0.80
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.55	0.65	0.70
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.70	0.80	0.80	1000	0.45	0.55	0.60
425-700	1	0.45	0.60	0.60	1	0.60	0.65	0.70
	10	0.55	0.60	0.65	10	0.50	0.55	0.65
	100	0.60	0.65	0.70	100	0.45	0.45	0.60
	1000	0.65	0.70	0.75	1000	0.40	0.45	0.55
>700	1	0.40	0.45	0.50	1	0.45	0.50	0.55
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.40	0.45	0.50
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.35	0.40	0.45
	1000	0.55	0.60	0.65	1000			



Şekil 4.3. Buharlaşma kabının yerleştirildiği çevre koşulları.

Örnek :

Verilenler :

- Ankara, Temmuz ayı
- Temmuz ayında A sınıfı buharlaşma kabından ölçülen ortalama buharlaşma miktarı, $E_p = 8.3$ mm/gün
- 10 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızı, $u_{10} = 3.6$ m/s
- Ortalama bağıl nem, RH = % 42
- Kısa kısımlı yeşil bitki örtüsü içerisinde kuruludur ve bitki örtüsünün rüzgar tarafındaki uzunluğu 500 m'dir (A koşulu).

İstenen :

- Temmuz ayında ortalama günlük kıyas bitki su tüketimi, ET_o

Çözüm :

- 1) Rüzgar hızının 2 m yükseklikteki eşdeğeri hesaplanır.

$$u_2 = u_{10} \left(\frac{2}{z} \right)^{0.2} = u_{10} \left(\frac{2}{10} \right)^{0.2} = 3.6 \times \left(\frac{2}{10} \right)^{0.2} = 2.6 \text{ m/s}$$

$$u_2 = 2.6 \times 86.4 = 224.6 \text{ km/gün}$$

- 2) k_p katsayısı bulunur.

Çizelge 4.8'den $u_2 = 224.6$ km/gün, A koşulu, bitki örtüsünün rüzgar tarafındaki uzunluğu 500 m ve RH = % 42 için $k_p = 0.77$

- 3) Kıyas bitki su tüketimi hesaplanır.

$$ET_o = k_p E_p = 0.77 \times 8.3 = 6.4 \text{ mm/gün}$$

4.1.5. Kıyas Bitki Su Tüketiminin Tahmininde Blaney – Criddle Yöntemi

Bu yöntemde kullanılan iklim verileri; ortalama sıcaklık, gündüz saatleri, minimum bağıl nem ve ortalama gündüz rüzgarının hızıdır. Yalnızca birkaç iklim faktöründen yararlandığından oldukça kaba sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, en az aylık periyotlar için bitki su tüketiminin tahmininde kullanılır. Belirli bir ay için kıyas bitki su tüketiminin tahmininde kullanılan Blaney - Criddle eşitlikleri;

$$ET_o = cf \quad (4.15)$$

$$f = p(0.46t + 8) \quad (4.16)$$

biçimindedir. Bu eşitliklerde;

ET_o = Göz önüne alınan ay için günlük ortalama kıyas bitki su tüketimi, mm/gün,

c = Düzeltme faktörü,

f = Göz önüne alınan ay için günlük iklim faktörü, mm/gün,

p = Göz önüne alınan ay için ortalama günlük gündüz saatlerinin yıllık gündüz saatlerine oranı, % ve

t = Gözönüne alınan ay için ortalama günlük sıcaklık, °C'tir.

Burada, önce f değerleri hesaplanmakta ve ET_o değerleri Şekil 4.4'teki grafiklerden doğrudan bulunmaktadır. Şekildeki gündüz ortalama rüzgar hızı 2 m yükseklikte ölçülmüş değerdir ve gündüz ortalama rüzgar hızı değerleri yoksun, 24 saatlik ortalama rüzgar hızı değerleri 1.33 ile çarpılarak elde edilir. Eşitlikteki p değeri, yörenin enlem derecesine göre Çizelge 4.9'dan alınır. Blaney-Criddle yöntemiyle kıyas bitki su tüketiminin bulunmasına ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir.

Örnek :

Verilenler :

-Ankara, enlem derecesi 39°57'

-Temmuz ayı

-Ortalama sıcaklık, $t = 23.1$ °C

-Rüzgar hızı, $u_{10} = 3.6$ m/s (10 m yükseklikte ölçülmüş, 24 saat ortalaması)

-Minimum bağıl nem, $RH_{min} = \% 28$

-Gündüz saatleri, $n = 12$ h 27 dak

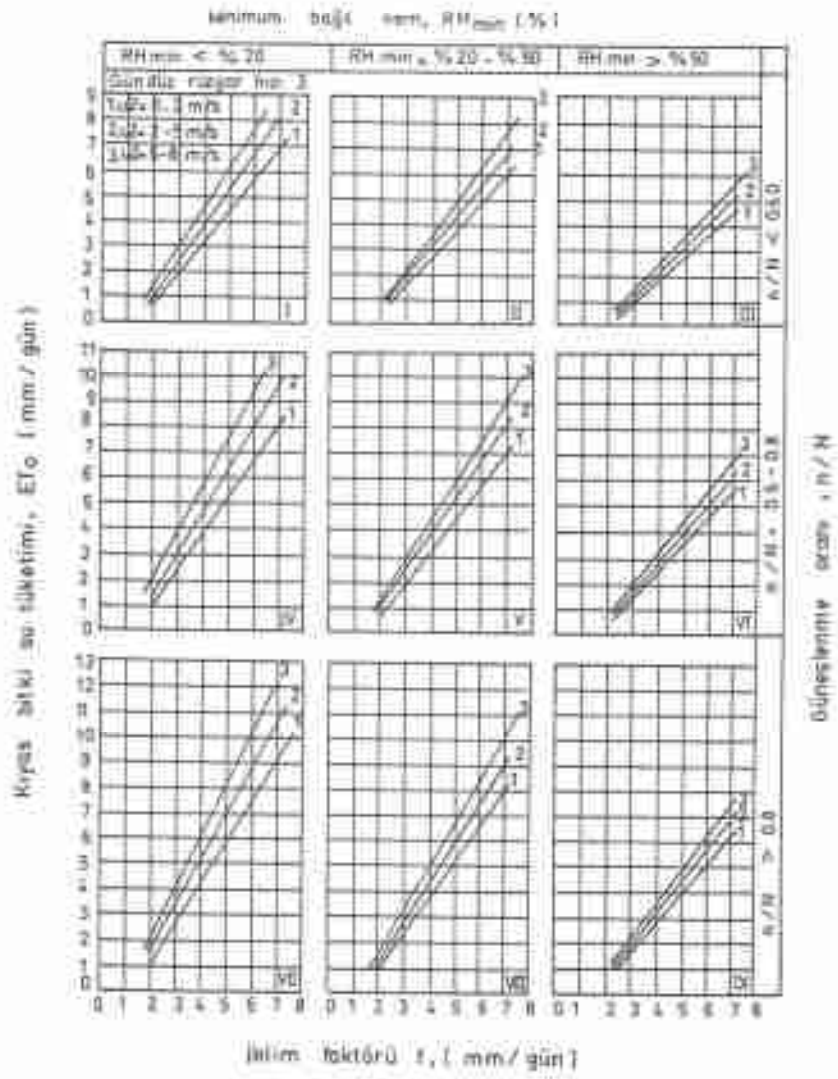
İstenen :

-Temmuz ayı kıyas bitki su tüketimi

Çözüm :

1) f değeri hesaplanır.

Temmuz ayı ve 39°57' enlemi için Çizelge 4.9'dan $p = 0.330$



Şekil 4.4 Blaney - Criddle yöntemi FAO modifikasyonunda kıyas bitki su tüketiminin tahmininde kullanılan grafikler.

Çizelge 4.9 Gündüz gündüz saatlerinin yıllık gündüz saatlerine oranı, p, (%)

Enlem derecesi	A y l a r						
	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
43	0.300	0.329	0.344	0.336	0.312	0.280	0.247
42	0.300	0.327	0.341	0.334	0.310	0.280	0.248
41	0.299	0.325	0.339	0.332	0.309	0.280	0.249
40	0.298	0.323	0.336	0.330	0.308	0.280	0.250
39	0.297	0.321	0.344	0.328	0.307	0.279	0.251
38	0.296	0.319	0.332	0.326	0.306	0.279	0.252
37	0.296	0.318	0.330	0.324	0.305	0.279	0.253
36	0.295	0.316	0.327	0.322	0.304	0.279	0.253
35	0.320	0.302	0.279	0.254			

2) Güneşlenme oranı bulunur,

$n = 12 \text{ h } 27 \text{ dak} = 12.45 \text{ h}$ Temmuz ayı ve $39^{\circ}57'$ enlemi için Çizelge 4.7' den $N = 14.7 \text{ h}$

3) Gündüz rüzgar hızının 2 m yükseklikteki eşdeğeri hesaplanır,

$$u_2 = 1.33u_z \left(\frac{2}{z}\right)^{0.2} = 1.33u_{10} \left(\frac{2}{10}\right)^{0.2}$$

$$= 1.33 \times 3.6 \left(\frac{2}{10}\right)^{0.2} = 3.47 \text{ m/s}$$

4) Kıyas bitki su tüketimi bulunur,

$RH_{min} = \% 28$, $n/N = 0.85$ ve $u_2 = 3.47 \text{ m/s}$ olduğundan Şekil 4.4'teki VIII. blok 2. çizgiden yararlanılır. Bu blokta, $f = 6.15 \text{ mm/gün}$ değerinden 2. çizgiye kadar dik çıkarılır, kesim noktasından sola gidilir ve $ET_0 = 7.8 \text{ mm/gün}$ elde edilir. Temmuz ayı için kıyas bitki su tüketimi,

$$ET_0 = 31 \times 7.8 = 241.8 \text{ mm/ay}$$

elde edilir.

4.1.6. Bitki Katsayısı

Bitki katsayısı, bitki su tüketiminin kıyas bitki su tüketimine oranı olarak tanımlanır. Kıyas bitki su tüketimi, iklim faktörlerinin bitki su tüketimi üzerindeki etkisini yansıtmaktadır. Sulu tarım alanlarındaki ortalama toprak koşulları için, bitki özelliklerinin bitki su tüketimi üzerindeki etkisi ise bitki katsayısı ile ifade edilmektedir.

Bitki katsayıları; geniş tarhalarda, yeterli toprak nemi ve bitki besin elementlerinin bulunduğu koşullarda, serbestçe ve hastaliksuz büyüyen bitkiler için elde edilirler.

Bitki katsayısını etkileyen temel faktörler; bitki cinsi, ekim ya da dikim zamanı, büyüme mevsimi uzunluğu, büyüme mevsimi içinde bitkinin gelişme devresi ve iklim koşullarıdır. Başlangıçtan itibaren büyüme mevsiminin değişik devrelerinde bitki su ihtiyacı farklı olduğundan, bitki katsayıları da önemli düzeyde farklılık göstermektedir.

Değişik kültür bitkileri için bitki katsayılarının elde edilmesi aşağıda açıklanmıştır.

Tek yıllık bitkiler: Tek yıllık bitkilerin ekim ya da dikim tarihinden son hasat tarihine kadar olan büyüme mevsimi, bitki katsayıları açısından dört devreye ayrılabilir. Bu devreler şunlardır;

1. devre: Başlangıç devresidir. Ekim ya da dikim tarihinden başlar ve bitkinin toprak yüzeyini örtme derecesi yaklaşık % 10'a ulaştığında sona erer. Bu devrede bitki katsayısı genellikle sabit ve minimum düzeydedir.

2. devre: İlk gelişme devresidir. Bitkinin toprak yüzeyini örtme derecesi yaklaşık % 10 olduğunda başlar ve örtme derecesi en üst düzeye çıktığında, yaklaşık % 70 - 80 olduğunda, sona erer. Bu devrede bitki katsayısı minimum değerden başlayarak gittikçe artar ve sonunda maksimum değere ulaşır.

3. devre: Büyüme mevsiminin ortalarına rastlayan devredir. Toprak yüzeyinin maksimum düzeyde örtüldüğü 2. devre sonundan başlar ve meyve olgunlaşmasının başlangıcına kadar devam eder. Bu devrede bitki katsayısı genellikle sabit ve maksimum değerdedir.

4. devre: Üçüncü devreden sonra hasat ya da son hasada kadar geçen son devredir. Bu devrede bitki katsayısı maksimum değerden belirli bir değere doğru gittikçe azalır.

Bir fikir edinilmesi açısından, bazı bitkilere ilişkin ortalama gelişme

devreleri Çizelge 4.10'da verilmiştir. Ancak, çizelgede verilen devre uzunlukları ortalama değerlerdir. Bu devrelerin yöresel koşullara göre gözlemlerle saptanması en doğru yoldur.

Bitki katsayılarının 1. devreye ilişkin değerleri tüm tek yıllık bitkiler için aynıdır. Başlangıç devresindeki kıyas bitki su tüketimi ve bu devredeki ortalama salama ya da etkili yağış aralığı için değinilen bitki katsayıları Şekil 4.5'ten doğrudan bulunabilir. Örneğin başlangıç devresinde (1. devrede) kıyas bitki su tüketimi 4 mm/gün ve ortalama etkili yağış aralığı 10 gün ise, bitkinin 1. devredeki k_c katsayısı Şekil 4.5'ten $k_{c1} = 0.37$ olarak elde edilir.

Değişik nem ve rüzgar koşullarına göre tek yıllık bazı bitkiler için büyüme mevsiminin 3. devresi boyunca ve 4. devresinin sonundaki bitki katsayıları Çizelge 4.11'de verilmiştir. Çizelgedeki minimum bağıl nem değerleri, gelişme devresi boyunca günlük minimum bağıl nem değerlerinin ortalamasıdır. Bu amaçla, meteoroloji istasyonlarında saat 14.00'te ölçülen bağıl nem değerlerinden yararlanılabilir.

Çizelge 4.10 ve 4.11 ile Şekil 4.5'ten yararlanarak k_c bitki katsayısı eğrisinin çizilmesi ve bu eğriden göz önüne alınan periyot için bitki katsayılarının bulunması bir örnekle aşağıda açıklanmıştır.

Örnek :

Verilenler :

- Ankara
- Şeker pancarı, ortalama ekim tarihi 1 Nisan ve ortalama hasat tarihi 30 Eylül
- Başlangıç devresinde kıyas bitki su tüketimi $ET_c = 2.8$ mm/gün ve ortalama etkili yağış aralığı 10 gün
- Büyüme mevsiminin 3. ve 4. devrelerinde rüzgar hızının 2 m yükseklikteki eşdeğeri 2 m/s'den az ve ortalama bağıl nem % 20 - 70 arasında

İstenen :

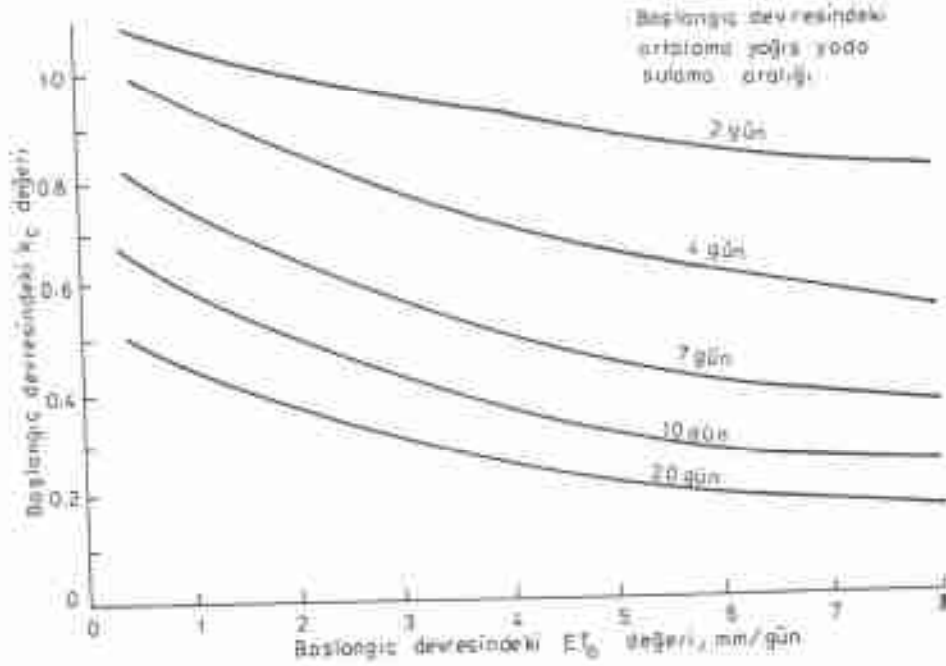
- Bitki katsayısı eğrisinin çizilmesi

Çözüm :

- 1) Yöresel bilgilerden ve Çizelge 4.10'dan yararlanarak gelişme devreleri belirlenir.
 - 1. devre : 30 gün
 - 2. devre : 45 gün

Çizelge 4.10 Bazı tek yıllık bitkilere ilişkin ortalama büyüme devreleri

Bitki cinsi	Büyüme devresi (gün)				Büyüme mevsimi (gün)
	1.devre	2.devre	3.devre	4.devre	
Aspir	20	35	45	25	125
Ayçiçeği	25	35	45	25	130
Bezelye	20	25	35	15	95
Biber	30	35	40	20	125
Domates	30	40	45	30	145
Fasulye (taze)	20	30	30	10	90
Fasulye (kuru)	20	30	40	20	110
Havuç	25	35	40	20	120
Hiyar	25	35	50	20	130
Hububat (kışlık)	105	25	50	30	210
Hububat (yazlık)	20	25	60	30	135
İspanak	20	20	25	5	70
Kahak	25	35	25	15	100
Kavun-karpuz	25	35	40	20	120
Marul	30	40	25	10	105
Mısır	30	40	50	30	150
Pamuk	30	50	60	55	195
Patates	30	35	50	30	145
Patlıcan	30	45	40	25	140
Soğan (taze)	25	30	10	5	70
Soğan (kuru)	15	25	70	40	150
Sorgum	20	35	40	30	125
Soya	20	35	60	25	140
Şeker pancarı	30	45	60	45	180
Turp	5	10	15	5	35
Yer fıstığı	35	45	35	25	140



Şekil 4.5 Tek yıllık bitkilerde başlangıç devresine ilişkin birli katsayıları

- 3. devre : 60 gün
- 4. devre : 45 gün
- Büyüme mevsimi : 180 gün

Bu devreler Şekil 4.6'da görüldüğü gibi bir dik koordinat sisteminin ekseninde işaretlenir. Ordinata ise k_c değerleri vardır.

2) Başlangıç devresi bitki katsayısı bulunur.

Başlangıç devresindeki kıyas bitki su tüketimi $ET_0 = 2.8$ mm/gün ve 10 gün etkili yağış aralığı için Şekil 4.5'ten;

$$k_{c1} = 0.45$$

3) Büyüme mevsiminin 3. devresi boyunca ve 4. devresi sonundaki bitki katsayıları bulunur.

$u_2 < 5$ m/s ve $RH_{min} = \% 20-70$ ve son bir ayda sulama yapılmayacağı koşul için için Çizelge 4.11'den;

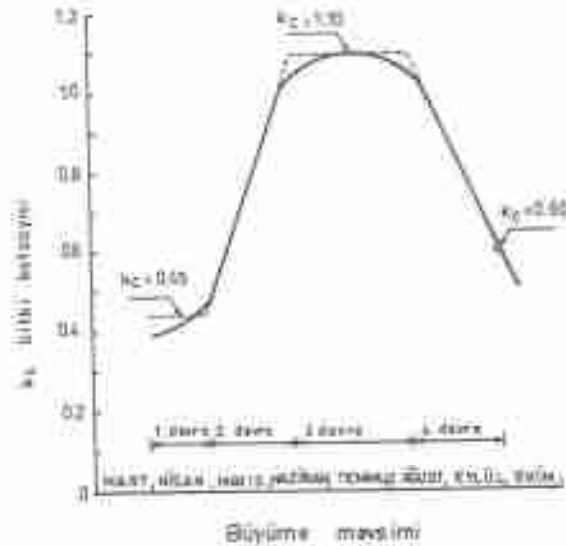
$$k_{s3} = 1.10$$

$$k_{s4} = 0.60$$

4) Bitki katsayısı eğrisi çizilir.

Şekil 4.6'da $k_{s1} = 0.35$ değeri 1. devre boyunca ve $k_{s3} = 1.10$ değeri 3. devre boyunca yatay kesik çizgilerle gösterilir. $k_{s4} = 0.60$ değeri ise 4. devrenin sonuna işaretlenir. Şekil üzerinde 1. devre sonu ile 3. devre başlangıcı ve 3. devre sonu ile 4. devre sonu düz kesik çizgilerle birleştirilir. Daha sonra bu çizgiler birleşme yerlerinde yuvarlaklaştırılarak düzgün bir eğri biçimine dönüştürülür.

Bu bitki katsayısı eğrisinden yararlanarak belirli bir periyot için bitki katsayısı, o periyotun ortasından eğriye dik çıkılarak bulunur. Örneğin, Temmuz ayı için ortalama k_c bitki katsayısı, 15 Temmuz'dan çıkılan dikin eğriyi kestiği noktadan sola gidilerek 1.10 bulunur. Eğer 1 - 10 Eylül arasındaki 10 günlük periyot için ortalama k_c bitki katsayısı bulunmak istenirse, benzer biçimde 5 Eylül değerinden dik çıkarılır, dikin eğriyi kestiği noktadan sola gidilir ve $k_c = 0.95$ değeri elde edilir.



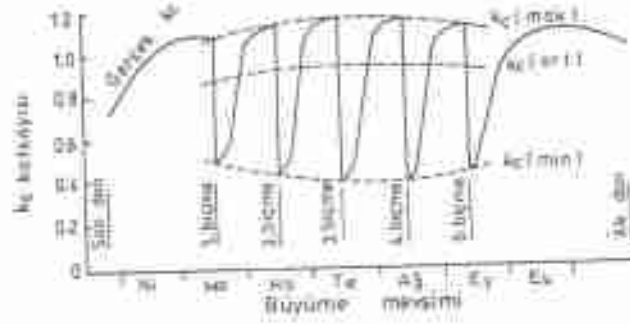
Şekil 4.6 Ankara koşullarında pekmez pancarı için çizilen bitki katsayısı eğrisi

Yem bitkileri : Yem bitkileri ile çayır mera bitkileri için k_c bitki katsayılarının elde edilmesi tek yıllık tarla bitkileri için verilen yöntemle çok benzer. Ancak, yılda birden fazla sayıda biçim söz konusu olduğu için, gelişme devreleri her iki biçim arasında tekrarlanır. Bu bitkilerin ortalama su tüketimlerini tahmin etmek için Çizelge 4.12'de verilen k_c değerleri kullanılabilir. Çizelgede, RH_{min} minimum bağıl nem ve u_2 ise rüzgar hızının 2 m yükseklikteki eşdeğeridir.

Biçimler arasında, sulama zamanını planlamak için k_c değerlerindeki değişimin belirlenmesi gerekir. Bunun için Çizelge 4.12'deki en düşük ve en yüksek k_c değerlerinden yararlanılabilir. Çizelgedeki $k_{c,ort}$ iki biçim arasındaki ortalama bitki katsayısını, $k_{c,max}$ biçimden hemen sonraki en düşük bitki katsayısını ve $k_{c,min}$ biçimden hemen önceki en yüksek bitki katsayısını ifade etmektedir. Yoncada, k_c değerlerinin değişimine ilişkin bir örnek Şekil 4.7'de verilmiştir. Örnekteki bitki katsayısı eğrisi, minimum bağıl nemin %20 den ve rüzgar hızının 5 m/s den az olduğu koşullarda, her dört haftada bir biçilen ve iki biçim arasında biçimden 7 gün önce bir kez sulanan deneme sonucunda elde edilmiştir.

Çizelge 4.12 Yem bitkileri ile çayır mera bitkileri için k_c bitki katsayıları

İklim koşulları	Bitki katsayısı	Yonca	Üçgül, baklagil ve buğdaygıl yem bitkileri	Çayır (kuru ot için)	Çayır-mera bitkileri
$RH_{min} < \% 20$ $u_2 < 5 \text{ m/s}$	$k_{c,min}$	0.40	0.55	0.55	0.50
	$k_{c,max}$	1.15	1.15	1.10	1.10
	$k_{c,ort}$	0.95	1.05	0.90	1.00
$RH_{min} = \% 20-70$ $u_2 < 5 \text{ m/s}$	$k_{c,min}$	0.45	0.55	0.60	0.55
	$k_{c,max}$	1.10	1.10	1.10	1.10
	$k_{c,ort}$	0.90	1.05	0.85	1.00
$RH_{min} > \% 70$ $u_2 < 5 \text{ m/s}$	$k_{c,min}$	0.50	0.55	0.60	0.55
	$k_{c,max}$	1.05	1.05	1.05	1.05
	$k_{c,ort}$	0.85	1.00	0.85	0.95
$u_2 \geq 5 \text{ m/s}$	$k_{c,min}$	0.30	0.55	0.50	0.50
	$k_{c,max}$	1.25	1.20	1.15	1.15
	$k_{c,ort}$	1.10	1.10	1.00	1.05



Şekil 4.7 Yarıya ilişkin örnek bitki katsayısı eğrisi

Meyve ağaçları : Farklı toprak yüzeyi ve iklim koşulları için bazı yumuşak ve sert çekirdekli meyve ağaçlarına ilişkin k_c bitki katsayıları Çizelge 4.13, bunun yanında turunçgiller, bağ ve muz için değerlendirilen bitki katsayıları sırasıyla Çizelge 4.14, 4.15 ve 4.16'da verilmiştir. Aylık ortalama bitki katsayıları bu çizelgelerden doğrudan alınır. Bu çizelgelerdeki bitki katsayıları, olağan toprak işleme, tarımsal savaş, yabancı ot mücadelesi ve sulama koşulları için geçerlidir. Toprak yüzeyi yabancı otla kaplı olduğunda, bitki katsayılarını % 20 kadar artırmak gerekir.

4.1.7. Bitki Su Tüketimi

Bitki büyüme mevsimi boyunca, kıyas bitki su tüketimi ve bitki katsayısı değerleri elde edildikten sonra, (4.2) nolu eşitlikten yararlanarak, kıyas bitki su tüketimi değerleri bitki katsayıları ile düzeltilir ve bitki su tüketimi değerleri elde edilir.

Sulama zamanının planlanması açısından, bitki su tüketimi değerlerinin en çok on günlük periyotlar için elde edilmesi ve kıyas bitki su tüketimi hesaplarında iklim faktörlerinin uzun yıllar ortalaması yerine, sulama yapılan sezondaki iklim faktörlerinin kullanılması daha doğrudur. Bu amaçla, o sezonda ölçülen iklim elementlerinin günlük ya da on günlük ortalama değerleri en yakın meteoroloji istasyonundan alınabilir. Ayrıca, kısa periyotlu bitki su tüketimi tahminlerinde A sınıfı buharlaşma kapları çok kullanışlıdır.

Çizelge 4.13 Bazı yumuşak ve sert çekirdekli meyve ağaçları için k_a bitki katsayısını

Min.bağıl nem, RH _{min} (%)	Ort. rüzgar hızı, u_z (m/s)	A y l a r									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	
		ŞİDDETLİ DONLARIN OLDUĞU SOĞUK KIŞ									
		Elma, kiraz									
>20	<5	-	0.45	0.55	0.80	0.95	0.95	0.90	0.65	-	-
>20	>5	-	0.45	0.60	0.85	1.00	1.00	0.95	0.70	-	-
>20	<5	-	0.40	0.60	0.85	1.00	1.00	0.95	0.70	-	-
>20	>5	-	0.40	0.65	0.90	1.05	1.05	1.00	0.75	-	-
		Şeftali, kayısı, armut, erik									
>20	<5	-	0.45	0.55	0.70	0.85	0.85	0.70	0.60	-	-
>20	>5	-	0.45	0.60	0.75	0.90	0.90	0.85	0.65	-	-
>20	<5	-	0.40	0.55	0.75	0.90	0.90	0.70	0.65	-	-
>20	>5	-	0.40	0.60	0.80	0.95	0.95	0.90	0.65	-	-
		HAFİF DONLARIN OLDUĞU SOĞUK KIŞ									
		Elma, kiraz, ceviz									
>20	<5	0.55	0.75	0.90	0.95	0.95	0.90	0.85	0.80	0.70	
>20	>5	0.55	0.80	0.95	1.00	1.00	0.95	0.90	0.85	0.75	
>20	<5	0.50	0.75	0.95	1.00	1.00	0.95	0.90	0.85	0.70	
>20	>5	0.50	0.80	1.00	1.05	1.05	1.00	0.95	0.90	0.75	
		Şeftali, kayısı, armut, erik, badem									
>20	<5	0.55	0.70	0.80	0.85	0.85	0.80	0.75	0.70	0.60	
>20	>5	0.55	0.75	0.85	0.90	0.90	0.90	0.80	0.75	0.65	
>20	<5	0.50	0.70	0.85	0.90	0.90	0.90	0.80	0.75	0.65	
>20	>5	0.50	0.75	0.90	0.95	0.95	0.95	0.85	0.80	0.70	

Çizelge 4.14. Turuncgiller için k_c bitki katsayıları

Ağaç yaşı	A y l a r											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Toprak yüzeyini % 70 örten olgun ağaçlar	0.75	0.75	0.70	0.70	0.70	0.65	0.65	0.65	0.65	0.70	0.70	0.70
Toprak yüzeyini % 50 örten genç ağaçlar	0.65	0.65	0.60	0.60	0.60	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.60	0.60
Toprak yüzeyini % 20 örten genç ağaçlar	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50

Çizelge 4.15. Bağ için k_c bitki katsayıları

Min. bağıl nem, RH _{min} (%)	Ort. rüzgar hızı, u_c (m/s)	A y l a r									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	
		Şiddetli donların olduğu soğuk kıy, sermalar gelişmiş, ilk yapraklar Mayıs başlangıcında oluşmakta, hasat Eylül ortalarında, büyüme mevsimi ortasında alanın % 40-50'ni örtülür.									
≥20	3	-	-	0.50	0.70	0.80	0.85	0.80	0.70	-	-
≥20	3.5	-	-	0.50	0.75	0.85	0.90	0.85	0.75	-	-
≥20	4	-	-	0.50	0.70	0.80	0.85	0.80	0.70	-	-
≥20	4.5	-	-	0.50	0.75	0.90	0.95	0.90	0.75	-	-
		Hafif donların olduğu soğuk kıy, sermalar gelişmiş, ilk yapraklar Nisan başlangıcında oluşmakta, hasat Ağustos sonu-Eylül başında, büyüme mevsimi ortasında alanın % 30-35'i örtülür.									
≥20	3	-	0.50	0.60	0.65	0.65	0.65	0.65	0.55	0.40	-
≥20	3.5	-	0.50	0.60	0.70	0.70	0.70	0.70	0.60	0.40	-
≥20	4	-	0.45	0.60	0.70	0.70	0.70	0.70	0.60	0.35	-
≥20	4.5	-	0.45	0.65	0.75	0.75	0.75	0.75	0.65	0.35	-
		Soğuk ve kuru iklim koşulları, sermalar gelişmiş, ilk yapraklar Şubat sonu-Mart başında oluşmakta, hasat Temmuzun ikinci yarısında, büyüme mevsimi ortasında alanın % 30-35'i örtülür.									
≥20	3	0.25	0.45	0.60	0.70	0.70	0.65	0.55	0.45	0.35	-
≥20	3.5	0.25	0.45	0.65	0.75	0.75	0.70	0.55	0.45	0.35	-

Çizelge 4.16 Akdeniz iklim kuşağında muz için k_c bitki katsayıları

Min. bağıl nem, RH _{min} (%)	Ort. rüzgar hızı, u_z (m/s)	A y l a r											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		1. YIL : Martta dikim, Ağustosta bitki boyu 3.5 m civarında											
>20	5	-	-	0.60	0.55	0.55	0.60	0.75	0.90	1.05	1.10	1.05	1.05
>20	5	-	-	0.60	0.55	0.55	0.65	0.80	0.95	1.10	1.15	1.10	1.10
>20	5	-	-	0.50	0.45	0.50	0.60	0.75	0.95	1.10	1.15	1.10	1.10
>20	5	-	-	0.50	0.45	0.50	0.65	0.80	1.00	1.15	1.20	1.15	1.15
		DİĞER YILLAR : Şubatın orijinal bitkilerin kesilmesi, Ağustosta bitki tarafından örtülen alan % 80											
>20	5	1.05	0.75	0.75	0.70	0.75	0.80	1.00	1.15	1.15	1.15	1.10	1.10
>20	5	1.10	0.75	0.75	0.70	0.75	0.85	1.05	1.20	1.20	1.20	1.15	1.15
>20	5	1.10	0.70	0.75	0.70	0.75	0.85	1.05	1.20	1.20	1.20	1.15	1.15
>20	5	1.15	0.70	0.75	0.70	0.75	0.90	1.10	1.25	1.25	1.25	1.20	1.20

Proje alanı sulama suyu ihtiyacı ve sulama modülü hesaplarında ise, aylık bitki su tüketimi değerleri kullanıldığından uzun periyotlu bitki su tüketimi tahmin eşitliklerinden yararlanılabilir.

4.1.8. Bitki Su Tüketimi Tahminlerinde Blaney - Criddle Yöntemi (USDA-SCS Modifikasyonu)

Daha önceki bölümlerde açıklanan Blaney-Criddle yöntemi, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı (FAO) modifikasyonudur ve kıyas bitki su tüketiminin tahmininde kullanılmaktadır. Burada açıklanacak Blaney-Criddle yöntemi ise, Amerika Birleşik Devletleri Tarım Teşkilatı Toprak Muhafaza Servisi (USDA-SCS) modifikasyonudur. Bu modifikasyon ile ancak aylık bitki su tüketimi değerleri tahmin edilmekte ve proje alanı sulama suyu ihtiyacı ile sulama modülünün hesaplanmasında kullanılmaktadır. Sulama zamanının planlanmasında sağlıklı sonuç vermediğinden kullanılması önerilmemektedir.

Blaney-Criddle yöntemi USDA-SCS modifikasyonundaki eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$u = kf \quad (4.17)$$

$$\bar{k} = k_c k_i \quad (4.18)$$

$$k_i = 0.03t + 0.24 \quad (4.19)$$

$$f = \frac{(45.7t + 813)P}{100} \quad (4.20)$$

Bu eşitliklerde;

u = Aylık bitki su tüketimi, mm/ay,

k = Aylık su tüketim katsayısı,

f = Aylık su tüketim faktörü,

k_c = Bitki gelişme katsayısı,

k_i = İklim katsayısı,

t = Aylık sıcaklık ortalaması, °C ve

P = Aylık gündüz saatlerinin yıllık gündüz saatlerine oranıdır (Çizelge 4.9'daki değerler aydaki gün sayısı ile çarpılarak bulunur).

Burada, (4.18) nolu eşitlikteki k_c bitki gelişme katsayıları ile daha önceki bölümlerde ayrıntılı bir biçimde verilen k_c bitki katsayıları arasında hiçbir benzerlik yoktur. Daha önceki bölümlerde verilen bitki katsayıları, ancak bitki su tüketimi tahmin yöntemlerinin FAO modifikasyonları için kullanılabilir. Blaney - Criddle yönteminin USDA-SCS modifikasyonuna özgü bitki gelişme katsayıları, farklı bitkiler ve büyüme oranlarına göre araştırmalarla saptanarak grafik ya da çizelgeler biçiminde düzenlenmektedir. Ülkemizde sulanan bazı bitkilere ilişkin ortalama k_c bitki gelişme katsayıları Çizelge 4.17'de verilmiştir. Çizelgedeki değerler oldukça kaba olup, ancak belirli bir alana ilişkin sulama projesi yapılırken o alanda araştırma sonuçları yoksa kullanılması önerilmektedir.

Çizelge 4.17'deki büyüme oranları, bitkilerin toplam büyüme mevsimine göre saptanmaktadır. Toplam büyüme mevsimi, tek yıllık bitkilerde ekim (dikim) - hasat tarihleri, çok yıllık bitkilerde ise ortalama son don - ilk don tarihleri arasında geçen süredir. Herhangi bir aya ilişkin büyüme oranı; büyüme mevsimi başlangıcından o ayın ortasına kadar geçen sürenin, toplam büyüme mevsimine bölünmesi ile elde edilir. Örneğin; toplam büyüme mevsimi 1 Nisan - 1 Ekim (180 gün) olan şeker pancarının Temmuz ayma ilişkin büyüme oranı, 1 Nisan - 15 Temmuz arasında geçen süre 105 gün olduğundan, $105/180=0.58$ ve bitki gelişme

Çizelge 4.17. Blaney - Criddle yöntemi USDA-SCS modifikasyonu için k_c Bitki Gelişme Katsayıları

Bitki cinsi	Bitki gelişme oranı										
	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
Ayçiçeği	0.55	0.50	0.65	0.70	0.95	1.10	1.20	1.20	1.10	0.75	0.45
Bağ	0.65	0.65	0.70	0.70	0.75	0.80	0.90	0.95	0.40	0.40	0.40
Biber	0.65	0.70	0.70	0.80	0.95	1.10	1.30	1.30	1.15	0.80	0.55
Domates	0.65	0.65	0.75	0.95	1.10	1.20	1.20	1.10	0.95	0.70	0.55
Fasulye	0.50	0.60	0.90	1.05	1.10	1.15	1.00	0.70	0.65	0.60	0.55
Hıyar	0.55	0.60	0.65	0.75	0.75	0.75	0.85	0.95	0.80	0.60	0.40
Hububat (kışlık)	0.35	0.60	0.85	1.00	1.20	1.20	1.25	1.35	1.45	1.25	0.85
Kavun-karpuz	0.30	0.45	0.60	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.85	0.80	0.65
Meyve ağaçları	0.50	0.65	0.85	0.95	1.05	1.15	1.00	0.85	0.70	0.55	0.45
Mısır	0.30	0.45	0.70	0.90	1.05	1.15	1.15	0.90	0.70	0.55	0.40
Soya	0.20	0.25	0.30	0.40	0.60	0.80	1.00	0.85	0.75	0.65	0.55
Pamuk	0.40	0.50	0.70	0.80	0.85	1.15	1.25	1.25	1.10	0.70	0.40
Patates	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95	1.10	1.20	1.20	1.05	0.70	0.50
Sebze	0.65	0.70	0.75	0.85	1.00	1.15	1.25	1.20	1.05	0.75	0.55
Soğan	0.65	0.75	0.90	1.00	1.05	1.05	0.95	0.75	0.60	0.50	0.35
Sorgum	0.30	0.40	0.55	0.70	0.80	0.90	0.85	0.75	0.65	0.55	0.40
Susamı	0.40	0.40	0.45	0.50	0.65	0.70	0.65	0.60	0.50	0.45	0.40
Şeker pancarı	0.85	0.90	0.95	1.10	1.25	1.35	1.35	1.30	1.15	0.90	0.70
Turunçgiller	0.65	0.65	0.70	0.75	0.80	0.80	0.80	0.80	0.75	0.75	0.70
Yer fıstığı	0.40	0.40	0.45	0.55	0.65	0.80	0.85	0.80	0.75	0.65	0.50
Yonca	0.75	0.90	1.05	1.20	1.30	1.35	1.40	1.25	1.05	0.75	0.45

katsayısı 1.35 bulunur.

Blaney - Criddle yöntemi USDA-SCS modifikasyonu ile bitki su tüketiminin hesaplanmasına ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir.

Örnek :

Verilenler :

- Ankara, enlem derecesi 39°57'
- Temmuz
- Şeker pancarı
- Aylık ortalama sıcaklık, $t = 23.1$ °C

İstenen :

-Şeker pancarının Temmuz ayı bitki su tüketimi

Çözüm :

1) Bitki gelişme katsayısı belirlenir.

Bir önceki örnekte verildiği gibi şeker pancarının Temmuz ayına ilişkin bitki gelişme katsayısı, $k_c = 1.35$ 'tir.

2) İklim katsayısı hesaplanır.

$$k_f = 0.031t + 0.24 = 0.031 \times 23.1 + 0.24 = 0.96$$

3) Aylık su tüketim faktörü hesaplanır.

Temmuz ayı ve $39^{\circ}57'$ enlemi için Çizelge 4.9'dan $p = 0.330$ bulunur. Buna göre, $P = 31 \times 0.330 = 10.23$ olur.

$$f = \frac{(45.7t + 813)P}{100} = \frac{(45.7 \times 23.1 + 813) \times 10.23}{100} = 191.0$$

4) Bitki su tüketimi saptanır.

$$u = k_c k_f f = 1.35 \times 0.96 \times 191.0 = 247.5 \text{ mm / ay}$$

4.2. SULAMA RANDIMANI

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 değişik nedenlerle kaybolur. Su kayıpları;

- Su iletim ve dağıtım kanallarında oluşan kayıplar ve
- Tarıda 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. Toprak kanallarındaki sızma kayıpları, büyük ölçüde kanal güzergahındaki toprağın bünyesi ve yapısına bağlıdır. Ağır bünyeli

topraklarda, hafif bünyeli topraklara oranla sızma kayıpları daha azdır. Ayrıca, kanal güzergahındaki otların temizlenmemesi durumunda bu otlar su kayıplarını artırır. Toprak kanallarındaki % 50'ye kadar varabilen sızma kayıpları kanalların kaplanması ile % 10 – 15'e kadar düşürülebilir. Bunun yanında, basıncılı boru hatlarındaki sızma kayıpları dikkate alınmayacak kadar düşük düzeyde olmaktadır.

Tarıladaki su kayıplarını, bitki kök bölgesinin altına (derine) sızan su ile yüzey akışı ile tarladan uzaklaşan su oluşturmaktadır. Derine sızma kayıpları, sulama yöntemine ve tarlaya alınan su miktarına bağlı olarak değişir. Örneğin, damla sulama yönteminde bu değer yok deneye kadar az olmasına karşın salma sulama yönteminde % 50 kadar olabilmektedir. Suyun yüzey akışı nedeniyle oluşan tarla kayıpları, arazinin topografik durumuna, toprak bünyesine, sulama yöntemine ve tekniğine uygun sulama yapıp yapılmadığına bağlıdır. Bu kayıplar genel olarak, tarlaya alınan suyun % 20 – 60'ı kadar olabilmektedir.

Sulama randımanına, ayrıca, suyun maliyeti, su kaynağının kapasitesi, iklim koşulları, mevcut işgücü, su kontrollü ile toprak ve bitki özellikleri de etkili olmaktadır. Örneğin, su kaynağının kısıtlı ve birim su maliyetinin yüksek olduğu koşullarda, su dikkatle kullanıldığından sulama randımanı genellikle yüksek olur.

Su kaynağından alınan su, bitki tarafından kullanılmaya kadar çeşitli aşamalar geçirir. Her aşama için ayrı randıman söz konusudur. Toplam sulama randımanının birer unsuru olan bu randımanlar aşağıda açıklanmıştır.

Transpirasyon randımanı : Üretilen kuru madde ağırlığının, kuru madde üretimi için bitkinin kullandığı su miktarına oranıdır.

$$E_t = 100 \frac{Y_d}{T} \quad (4.21)$$

Eşitlikte;

E_t = Transpirasyon randımanı, %,

Y_d = Üretilen kuru madde miktarı ve

T = Transpirasyon miktarıdır.

Transpirasyon randımanı, her bitkide ve çeşitte farklı olduğu gibi, aynı bitkide değişik toprak ve iklim koşullarında büyük farklılıklar gösterir. Sulayıcı tarafından bu randımanı saptamak ve kontrol etmek genellikle çok zordur.

Su iletim randımanı : Sulanacak araziye iletilen su miktarının, su kaynağından alınan su miktarına oranıdır ve su iletim ve dağıtım kanallarındaki kayıpları ifade etmektedir.

$$E_s = 100 \frac{W_f}{W_r} \quad (4.22)$$

Eşitlikte;

E_s = Su iletim randımanı, %,
 W_f = Sulanacak araziye iletilen su miktarı ve
 W_r = Su kaynağından alınan su miktarıdır.

Daha önce de belirtildiği gibi, su iletim randımanı yalnızca sulama kanallarındaki sızma kayıpları göz önüne alınarak belirlenmektedir. Kanallardaki sızma kayıpları;

$$S = 0,037c \sqrt{\frac{Q}{V}} \quad (4.23)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Eşitlikte;

S = Kanal sızma kaybı, $m^3/s/km$,
 c = Kanal zemininin permeabilite katsayısı, $m/gün$,
 Q = Kanalda iletilen suyun debisi, m^3/s ve
 V = Ortalama akış hızı, m/s 'dir.

Burada c katsayısı beton kaplama kanallar için $0.100 m/gün$ olarak alınır. Toprak kanallar için ise bu değer $0.670 m/gün$ 'e kadar ulaşabilmektedir.

Açık kanal sistemlerinde ve basınçlı boru hatlarında, projelendirme aşamasında göz önüne alınan su iletim randımanları Çizelge 4.18'de verilmiştir.

Su uygulama randımanı : Bitki kök bölgesinde depolanan su miktarının tarlaya verilen su miktarına oranıdır. Tarla sulama randımanı adı da verilmektedir.

$$E_d = 100 \frac{W_d}{W_f} \quad (4.24)$$

Eşitlikte;

E_d = Su uygulama randımanı, %,
 W_d = Kök bölgesinde depolanan su miktarı ve
 W_f = Tarlaya verilen su miktarıdır.

Tarlaya verilen su miktarının bir kısmı bitki kök bölgesinde depolanır, bir kısmı kök bölgesinin altına derine sızar ve artakalan kısmı ise yüzey akışla tarladan uzaklaşır.

Çizelge 4.18 Projelirmede göz önüne alınan su iletim randımanları

Kanal cinsi	Su iletim randımanı, E_c (%)
Toprak kanal	70
Beton kanal	85
Kanalet ve beton kanal birlikte	95
Kanalet	97
Basınçlı boru hattı	100

$$W_f = W_x + D_f + R_f \quad (4.25)$$

$$E_x = 100 \frac{W_x}{W_f} = 100 \frac{W_f - (D_f + R_f)}{W_f} \quad (4.26)$$

Burada;

D_f = Derine (kök bölgesinin altına) sızan su miktarı ve

R_f = Yüzey akışıdır.

Su uygulama randımanı, büyük ölçüde uygulanan sulama yöntemine bağlıdır. Bu değer, damla sulama yönteminde % 95'e kadar yükslebileceği gibi, salma sulama yönteminde % 25'e kadar düşebilmektedir.

Su depolama randımanı : Kök bölgesinde depolanan su miktarının, depolanması gereken su miktarına oranıdır ve sulamanın ne düzeyde yeterli yapıldığını gösterir.

$$E_s = 100 \frac{W_d}{W_u} \quad (4.27)$$

Eşitlikte;

E_s = Su depolama randımanı, %

W_d = Kök bölgesinde depolanan su miktarı ve

W_u = Kök bölgesinde depolanması gereken su miktarıdır.

Bazı sulama uygulamalarında, üst kök bölgesinde yeteri kadar su depolanmasına karşın, kök bölgesinin alt kısımlarına istenen miktarda su gitmeyebilir. Bu durumda su uygulama randımanı yüksek, ancak su depolama randımanı düşüktür. Bu özellikle, suyun kıt ve pahalı olduğu koşullarda ve suyun alt kök bölgesine ulaşması için fazla zamana ihtiyaç duyulan su alma hızı düşük

ağır bünyeli topraklarda söz konusu olmaktadır. Su depolama randımanının düşük olduğu oranda yeterli sulama yapılmamış demektir.

Su dağıtım randımanı : Sulama suyunun, sulanan tarla parselinin her tarafına ne oranda eş bir dağılımla verildiğini ifade eder ve;

$$E_d = 100 \left(1 - \frac{y}{d} \right) \quad (4.28)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

E_d = Su dağıtım randımanı, %

y = Tarla parselinin farklı yerlerinde depolanan su miktarlarının, depolanan ortalama su miktarından olan mutlak sapmalarının ortalaması ve

d = Depolanan ortalama su miktarıdır.

Su dağıtım randımanı da büyük ölçüde uygulanan sulama yöntemine ve sistemin planlanmasına bağlıdır. Bu değer, iyi planlanmış damla sulama yönteminde % 97, yağmurlama sulama yönteminde % 90'a kadar çıkabilmektedir. Karık ve uzun tavu sulama yönteminde ortalama % 75 kadardır.

Bitki su kullanımı randımanı : Bitki tarafından kullanılan su miktarının, kök bölgesine verilen su miktarına oranıdır ve bitkinin kök bölgesine verilen sudan yararlanma yüzdesini ifade eder.

$$E_u = 100 \frac{W_u}{W_d} \quad (4.29)$$

Eşitlikte;

E_u = Bitki su kullanma randımanı, %

W_u = Bitki tarafından kullanılan su miktarı ve

W_d = Kök bölgesine verilen su miktarıdır.

Toplam sulama randımanı : Buraya kadar ifade edilen randımanları kapsayan bir kavramdır ve bitkinin tükettiği sulama suyu miktarının, kaynaktan sağlanan sulama suyu miktarına oranı biçiminde tanımlanır.

$$E = 100 \frac{W_u}{W_s} \quad (4.30)$$

Eşitlikte;

E = Toplam sulama randımanı, %

W_1 = Bitkinin tükettiği sulama suyu miktarı ve

W_2 = Kaynaktan saptırılan sulama suyu miktarıdır.

Uygulamada, çiftçi W_1 değerini kontrol edemez. Toplam sulama randımanı genellikle, su iletim ve dağıtım kanallarındaki su iletim kayıpları ile tarladaki derine sızma kayıpları ve yüzey akışının azaltılması ile yükseltilebilir.

İyi bir sulama şebekesinde, su iletim randımanının % 75, su uygulama randımanının % 50 - 60, su depolama randımanının % 75, su dağıtım randımanının % 75, su kullanma randımanının % 70 ve toplam sulama randımanının % 35'ten az olmaması istenir.

Sulama projeleri yapılırken, proje alanı sulama suyu ihtiyacı hesaplarında toplam sulama randımanı;

$$E = E_p E_d \quad (4.31)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte;

E = Toplam sulama randımanı, %

E_c = Su iletim randımanı, % ve

E_u = Su uygulama randımanı, %'dir.

Büyük sulama projelerinde su iletim randımanı, taşıma kanalı, ana kanal, sekonder ve tersiyer kanallardaki sızma kayıpları yanında, tersiyer kanallar altında tarla sulama sistemlerine ait kanallardaki sızma kayıplarını da kapsamalıdır.

Konu ile ilgili bazı örnek problemler aşağıda verilmiştir.

Örnek 1 :

Verilenler :

Bir tarla sulama sisteminde,

-Kaynaktan saptırılan su miktarı, $W_2 = 40 \text{ L/s}$

-Tarlaya ulaşan su miktarı, $W_1 = 32 \text{ L/s}$

İstenen :

-Su iletim randımanı

Çözüm :

$$E_c = 100 \frac{W_f}{W_r} = 100 \times \frac{32}{40} = \%80$$

Örnek 2 :

Verilenler :

- Tarlaya uygulanan su miktarı, $W_f = 130$ mm
- Etkili kök derinliğinin altına sızan su miktarı, $D_f = 17$ mm
- Yüzy akış miktarı, $R_f = 43$ mm

İstenen :

- Su uygulama randımanı

Çözüm :

$$E_s = 100 \frac{W_s}{W_f} = 100 \frac{W_f - (D_f + R_f)}{W_f}$$
$$= 100 \times \frac{130 - (43 - 17)}{130} = \%53,8$$

Örnek 3 :

Verilenler :

- Bitki kök bölgesinde depolanan su miktarı, $W_s = 75$ mm
- Bitki kök bölgesinde depolanması gereken su miktarı, $W_n = 90$ mm

İstenen :

- Su depolama randımanı

Çözüm :

$$E_s = 100 \frac{W_s}{W_n} = 100 \times \frac{75}{90} = \%83,3$$

Örnek 4 :

Verilenler :

- Bir tarla sulama sisteminde;
- Su iletim randımanı, $E_c = \%70$

-Su uygulama randımanı, $E_u = \% 60$

İstenen :

-Toplam sulama randımanı

Çözüm :

$$E = E_r E_u = 0.70 \times 0.60 = 0.42 = \%42$$

Örnek 5 :

Verilenler :

Bir büyük sulama projesinde;

-Su dağıtım aşında iletim randımanı; % 85

-Tarla sulama sisteminde iletim randımanı; % 70

-Su uygulama randımanı; % 60

İstenen :

-Sulama projesine ilişkin toplam sulama randımanı

Çözüm :

$$E = 0.85 \times 0.70 \times 0.60 = 0.357 = \%35.7$$

4.3. ETKİLİ YAĞIŞ

Bitkilerin büyüme mevsimi boyunca ihtiyaç duydukları suyun bir kısmı yağışlarla karşılanır. 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 fazla olduğunda etkili yağış değerleri, Çizelge 4.19 dan yararlanarak doğrudan bulunabilir. Çizelgedeki değerler, etkili yağışı düşen yağışın yüzdesi cinsinden vermektedir. Örneğin; uygulanacak net sulama suyu miktarı 100 mm, bitki su tüketimi 6 mm/gün ve düşen yağış 50 mm olduğunda, etkili yağış düşen yağışın % 84'ü kadardır. Başka bir deyişle, etkili yağış miktarı $50 \times 0.84 = 42$ mm'dir.

Çizelge 4.19 Etkili yağışın düşen yağışa oranı (%)

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	

4.4. SULAMA SUYU İHTİYACI

4.4.1. Proje Alanı Sulama Suyu İhtiyacı ve Sulama Modülü

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;

$$d_n = ET_{pm} - r \quad (4.32)$$

$$d_t = \frac{d_n}{E} \quad (4.33)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Bu eşitliklerde;

- d_n = Proje alanı net sulama suyu ihtiyacı, mm/ay,
- ET_{pm} = Proje alanı ortalama bitki su tüketimi, mm/ay,
- r = Etkili yağış, mm/ay,
- d_t = Proje alanı toplam sulama suyu ihtiyacı, mm/ay ve
- E = Proje alanı toplam sulama randımanı, %'dir.

Görüldüğü gibi, bitkinin tükettiği su miktarı yağışlarla ve sulama suyu ile karşılanmaktadır. Bitki su tüketiminin sulama suyu ile karşılanan miktarı net sulama suyu ihtiyacı olmaktadır. Bu miktar aynı zamanda, bitki kök bölgesinde depolanması gereken su miktarını vermektedir. Net sulama suyu ihtiyacı, sulama randımanı ile düzeltilerek toplam sulama suyu ihtiyacı belirlenmektedir. Bu ise, su kaynağından sulama sistemine alınacak sulama suyu miktarını verir.

Birim alan sulama suyu ihtiyacının ifadesinde kullanılan sulama modülü;

$$q = \frac{10d_t}{3.6T} \quad (4.34)$$

eşitliği ile bulunur. Eşitlikte;

- q = Sulama modülü, L/s/ha,
- d_t = Proje alanı toplam sulama suyu ihtiyacı, mm/ay ve
- T = Sulama süresi, h'tir.

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 yapılabilecek süre ile çarpılarak bulunur. Büyük sulama projelerinde günde 24 saat sulama yapılacağı öngörülür.

Örnek :

Verilenler :

Bir sulama projesinde;

- Tarımı öngörülen bitki deseni, büyüme mevsimleri, eğilim oranları ve Blaney Criddle yönteminin FAO modifikasyonuna göre hesaplanan bitki su tüketimi değerleri Çizelge 4.20 de verildiği gibidir.
- Yağış değerleri aşağıda verilmiştir.

Aylar	Yağış (mm)
Nisan	64.5
Mayıs	46.8
Haziran	32.1
Temmuz	16.2
Ağustos	9.8
Eylül	15.0
Ekim	37.6

- Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı : 75 mm
- Proje alanı toplam sulama randımanı, E = % 51

Çizelge 4.20 Örneğe ilişkin bitki deseni ve su tüketimleri

Bitki deseni	Büyüme mevsimi	Eğilim oranı (%)	Bitki su tüketimi (mm/ay)						
			Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Hububat	1 Kasım - 1 Temmuz	35	93.0	149.6	170.6	-	-	-	-
Spancari	1 Nisan - 1 Ekim	25	63.0	106.7	202.0	276.5	253.5	98.7	-
Ayçiçeği	15 Nisan - 1 Eylül	15	19.3*	67.0	136.6	243.7	161.5	-	-
Patates	15 Nisan - 15 Eylül	10	19.6*	77.4	151.9	245.8	214.7	28.7*	-
Yonca	15 Nisan - 15 Kasım	5	27.0*	102.6	186.3	268.3	284.2	143.4	37.5
Sebzeler	1 Mayıs - 1 Eylül	10	-	73.3	151.9	254.0	167.7	-	-

* 15 günlük değerler

İstencenler :

- Proje alanı aylık ve mevsimlik toplam sulama suyu ihtiyacı
- Aylara göre sulama modülü

Çözüm :

Problemin çözümü Çizelge 4.21 'de verilmiştir.

Çizelgede;

- 1. kolona aylar ve o aylarda tarımı yapılan bitkiler yazılmıştır.
- 2. kolona bitki su tüketimi değerleri yazılmıştır.
- 3. kolona bitkilerin ekiliş oranları yazılmıştır.
- 4. kolona ortalama bitki su tüketimi değerleri yazılmış ve bu değerler toplanarak aylara göre proje alanı ortalama su tüketimi değerleri elde edilmiştir. Örneğin, Nisan ayında hububatın proje alanı ortalama bitki su tüketimi içindeki payı, ekiliş oranı % 35 olduğundan, $93.8 \times 0.35 = 32.8$ mm'dir. Nisan ayında tarımı yapılan tüm bitkiler dikkate alındığında, proje alanı ortalama bitki su tüketimi;

$$ET_{ort} = 32.8 + 15.8 + 9.2 + 2.0 + 1.4 = 54.9 \text{ mm}$$

bulunur.

- 5. kolona yağış değerleri yazılmıştır.
- 6. kolona etkili yağış değerleri yazılmıştır. Yağış 25 mm den az olduğunda doğrudan etkili yağış olarak alınmış, 25 mm'den fazla olduğunda ise Çizelge 4.19'dan yararlanarak etkili yağış hesaplanmıştır. Örneğin, Nisan ayında ölçülen yağış 64.5 mm, her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı 75 mm ve bitki su tüketimi $54.9 / 30 = 1.8$ mm/gün'dür. Bu değerlere göre, Çizelge 4.19'dan ölçülen yağışın yaklaşık % 64'ünün etkili yağış olduğu bulunur. Sonuçta, Nisan ayı için etkili yağış;

$$r = 0.64 \times 64.5 = 41.3 \text{ mm / ay}$$

biçiminde elde edilir.

- 7. kolona aylara göre proje alanı net sulama suyu ihtiyaçları yazılmış ve toplanarak mevsimlik değer elde edilmiştir. Örneğin, Nisan ayında proje alanı net sulama suyu ihtiyacı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$d_n = ET_{ort} - r = 54.9 - 41.3 = 13.6 \text{ mm / ay}$$

- 8. kolona aylara göre proje alanı toplam sulama suyu ihtiyaçları yazılmış ve toplanarak mevsimlik değer bulunmuştur. Yine Nisan ayı için bu değer;

Çizelge 4.21 Örnek probleme ilişkin projeye alanı sulama suyu ihtiyacı ve sulama modelleri

AYLAR	Birlik su tüketimi, ET (mm/ay)	Ekiliş oranı (%)	Ort. bitki su tüketimi, ET _{gr} (mm/ay)	Yağış, I (mm/ay)	Etkili yağış, r (mm/ay)	Net sulama suyu ihtiyacı, d _n (mm/ay)	Toplam sulama suyu ihtiyacı, d _t (mm/ay)	Sulama modülü, q (L/s/ha)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
NİSAN				64.5	41.3	13.6	26.7	0.10
Hububat	93.8	35	32.8					
Ş.pancar	63.0	25	15.8					
Ayçiçeği	19.3	15	2.9					
Patates	19.6	10	2.0					
Yonca	27.0	5	1.4					
			54.9					
MAYIS				46.8	32.3	77.0	151.0	0.56
Hububat	149.6	35	52.4					
Ş.pancar	106.7	25	26.7					
Ayçiçeği	67.0	15	10.1					
Patates	77.4	10	7.7					
Yonca	102.6	5	5.1					
Sebze	73.3	10	7.3					
			109.3					
HAZİRAN				32.1	26.6	146.8	287.8	1.11
Hububat	170.6	35	59.7					
Ş.pancar	202.0	25	50.5					
Ayçiçeği	156.6	15	23.5					
Patates	151.9	10	15.2					
Yonca	186.3	5	9.3					
Sebze	151.9	10	15.2					
			173.4					

Çizelge 4.21. Örsək probleme uyğun prujə alanı sulama suyu ihtiyacı və sulama modülləri (devam)

AYLAR Bitki cinsi	Bitki su tüketimi, ET (mm/ay)	Ekiliş oranı (%)	Ort.biki su tüketimi, ET _{or} (mm/ay)	Yağış, I (mm/ay)	Etkili yağış, r (mm/ay)	Net sulama suyu ihtiyacı, d _n (mm/ay)	Toplam sulama suyu ihtiyacı, d _t (mm/ay)	Sulama modülü, q (L/s/ha)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
TEMMUZ				16.2	16.2	157.9	299.8	1.12
Ş.pancar	276.5	25	69.1					
Ayçağə	243.7	15	36.6					
Patates	245.8	10	24.6					
Yonca	268.3	5	13.4					
Sebzə	254.0	10	25.4					
			169.1					
AĞUSTOS				9.8	9.8	130.3	255.5	0.95
Ş.pancar	253.5	25	63.4					
Ayçağə	161.5	15	24.2					
Patates	214.7	10	21.5					
Yonca	284.2	5	14.2					
Sebzə	167.7	10	16.8					
			140.1					
EYLÜL				15.0	15.0	19.8	38.8	0.15
Ş.pancar	98.7	25	24.7					
Patates	28.7	10	2.9					
Yonca	143.4	5	7.2					
			34.8					
EKİM				37.6	24.1	-	-	-
Yonca	57.5	5	2.9					
			2.9					
TOPLAM			684.5	222.0	165.3	540.4	1059.6	

$$d_t = \frac{d_n}{E} = \frac{13.6}{0.51} = 26.7 \text{ mm/ay}$$

biçiminde hesaplanır.

-9, kolona aylara göre sulama modülü değerleri yazılmıştır. Nisan ayı için bu değer aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$q = \frac{10d_t}{3.6T} = \frac{10 \times 26.7}{3.6 \times 30 \times 24} = 0.10 \text{ L/s/ha}$$

Çizelge 4.21'den görüldüğü gibi, proje alanında en çok sulama suyuna 299.8 mm ile Temmuz ayında ihtiyaç duyulmaktadır ve bu aya ilişkin sulama modülü $q = 1.12 \text{ L/s/ha}$ dir. Örneğin, proje alanı $A = 15\ 000 \text{ ha}$ ise Temmuz ayında su kaynağından taşınma kanalına alınacak suyun debisi;

$$Q = qA = 1.12 \times 15000 = 16800 \text{ L/s} = 16.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

olmalıdır. Mayıs ayında ise proje alanına alınacak su miktarı;

$$Q = qA = 0.56 \times 15000 = 8400 \text{ L/s} = 8.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

olur.

4.4.2. Her Sulamada Uygulanacak Sulama Suyu Miktarı ve Sulama Aralığı

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

$$d_n = \frac{(TK - SN)R_y}{100} \gamma_t D \quad (4.35)$$

ve kullanılabilir su tutma kapasitesinin derinlik cinsinden verilmesi durumunda ise;

$$d_n = d_s DR_y \quad (4.36)$$

eşitlikleri ile bulunur. Bu eşitliklerde;

d_n = Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm,

TK = Tarla kapasitesi, %,

SN = Solma noktası, %.

R_s = Kullanılabilir su tutma kapasitesinin tüketilmesine izin verilen kısmı,

γ_s = Toprağın hacim ağırlığı, g/cm³,

D = Islatılacak toprak derinliği, mm ve

d_c = Kullanılabilir su tutma kapasitesi, mm/m

değerlerini göstermektedir.

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, R_s değeri ile ifade edilmektedir. Örneğin, $R_s = 0.50$ 'nin anlamı, etkili bitki kök derinliğinde kullanılabilir su tutma kapasitesinin % 50'si tüketildiğinde, başka bir deyişle, etkili bitki kök derinliğindeki toprak nemi tarla kapasitesi ile solma noktasının ortasında olduğunda sulamaya başlanacağı ve bu nem düzeyini tarla kapasitesine çıkaracak kadar sulama suyu uygulanacağıdır.

Buradaki R_s değerleri, sulama yöntemleri ve bitkinin topraktaki nem eksikliğine duyarlı olması koşuluna göre değişmektedir. Yüzeysel sulama yöntemlerinde ve topraktaki nem eksikliğine duyarlı olmayan bitkilerde genellikle daha yüksek alınmaktadır. Kültür bitkilerinin sulanmasında R_s değerleri, yüzeysel 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.

$$d_t = \frac{d_n}{E_a} \quad (4.37)$$

Eşitlikte;

d_t = Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm,

d_n = Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm ve

E_u = Su uygulama randımanı, %

değerlerini göstermektedir. Bu eşitlikteki su uygulama randımanı, bitki kök bölgesinde depolanan su miktarının, tarlaya uygulanan su miktarına oranıdır. Bu değer, yürey sulama yöntemlerinde 0.30 - 0.80, yağmurlama sulama yönteminde 0.65 - 0.80 ve damla sulama yönteminde 0.85 - 0.95 arasında değişebilmektedir.

Yukarıdaki (4.37) nolu eşitlikle bulunan değer, tarla başında ihtiyaç duyulan toplam sulama suyu miktarını ifade etmektedir. Su kaynağında ihtiyaç duyulan toplam sulama suyu miktarı ise;

$$d_t = \frac{d_n}{E_u E_c} \quad (4.38)$$

eşitliği ile bulunabilir. Eşitlikte;

d_n = Su kaynağında ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarı, mm,

d_t = Bitki kök bölgesinde depolanması istenen sulama suyu miktarı, mm,

E_u = Su uygulama randımanı, % ve

E_c = 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.

$$SA = \frac{d_n}{ET} \quad (4.39)$$

Eşitlikte;

SA = Sulama aralığı, gün,

d_n = Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm ve

ET = Bitki su tüketimi, mm/ gün dir.

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.

Örnek :

Verilenler :

- Kullanılabilir su tutma kapasitesi, $d_k = 160 \text{ mm/m}$
- Etkili bitki kök derinliği, $D = 60 \text{ cm}$
- Bitki su tüketimi, $ET = 5.9 \text{ mm/gün}$
- Kullanılabilir su tutma kapasitesinin % 50 si tüketildiğinde sulamaya başlanacaktır, $R_y = 0.50$
- Su uygulama randımanı, $E_a = \% 65$,
- Su iletim randımanı, $E_c = \% 85$

İstenecekler :

- Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı
- Sulama aralığı
- Tarla başında ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarı
- Su kaynağında ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarı

Çözüm:

- 1) Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı;

$$d_n = d_k DR_y = 160 \times 0.50 = 48.0 \text{ mm}$$

- 2) Sulama aralığı;

$$S.A = \frac{d_n}{ET} = \frac{48.0}{5.9} = 8 \text{ gün}$$

- 3) Tarla başında ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarı (Tarlaya her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı);

$$d_t = \frac{d_n}{E_a} = \frac{48.0}{0.65} = 73.8 \text{ mm}$$

- 4) Su kaynağında ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarı;

$$d_i = \frac{d_n}{E_a E_c} = \frac{48.0}{0.65 \times 0.85} = 86.9 \text{ mm}$$

4.4.3. Sistem Kapasitesi

Belirli bir sulama sisteminin kapasitesi;

$$Q = \frac{Ad_s}{3.6T} \quad (4.40)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Bu eşitlik aynı zamanda (4.37) ve (4.38) nolu eşitliklerle 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 sulanacağını belirlemede kullanılabilir.

Eşitlikte;

- Q = Sistem kapasitesi, L/s,
- A = Sulanacak alan, da,
- d_s = Toplam sulama suyu ihtiyacı, mm ve
- T = Sulama süresi, h'tir.

Örnek :

Verilenler :

- Tarla parselinin büyüklüğü, A = 20 da
- Uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, d_s = 90 mm
- Tarlanın 10 saatte sulanması istenmektedir, T = 10 h

İstenen :

- Tarla başı kanalında ihtiyaç duyulan debi miktarı

Çözüm:

$$Q = \frac{Ad_s}{3.6T} = \frac{20 \times 90}{3.6 \times 10} = 50 \text{ L/s}$$

Örnek :

Verilenler :

- Su kaynağında mevcut debi, Q = 60 L/s
- Tarla parselinin büyüklüğü, A = 50 da
- Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, d_n = 80 mm
- Su uygulama randımanı, E_a = % 70
- Su iletim randımanı, E_s = % 100

İstenen :

- Tarlanın sulama süresi

Çözüm :

$$d_i = \frac{d_n}{E_x E_c} = \frac{80}{0.70 \times 1.00} = 114.3 \text{ mm}$$

$$T = \frac{Ad_i}{3.6Q} = \frac{50 \times 114.3}{3.6 \times 60} = 26 \text{ h}$$

4.4.4. 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 düşüldüğünde tarla kapasitesine çıkaracak kadar sulama suyu uygulamaktır.

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

1. Fenolojik gözlemlerle,
2. Toprak neminin elle kontrolüyle,
3. Toprak neminin ölçülmesi ile ve
4. Bitki su tüketiminden yararlanarak

sulama zamanının planlanmasıdır.

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, daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi, elle kontrol edilerek sulama başlangıcındaki nem düzeyine düşüp düşmediği belirlenir. Sulama başlangıcındaki nem düzeyini tarla kapasitesine çıkaracak kadar sulama suyu uygulanır. Bu yöntem de 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.

Daha önce açıklandığı gibi, gravimetrik yöntemde, bitki kök bölgesinin her 30 cm'lik katmanından toprak burgusu ile örnekler alınarak yaş ağırlıkları tartılmakta, bu örnekler kurutma fırınında 105 °C'ta 24 saat bekletildikten sonra kuru ağırlıkları elde edilmekte ve mevcut nem yüzde cinsinden hesaplanmaktadır. Bu ölçmeler sonucunda, bitki kök bölgesindeki nem öngörülen sulamaya başlanacak nem düzeyine düştüğünde, mevcut nem tarla kapasitesine çıkaracak kadar sulama suyu uygulanmaktadır. Bitki kök bölgesindeki nem değeri bir gün sonra hesaplanabilmesine karşın, oldukça sağlıklı sonuç veren bir yöntemdir. Ancak, tarla parselinin değişik noktalarından sık aralıklarla çok sayıda toprak örneği alındığından fazla zaman ayırmak gerekmektedir. Ayrıca, toprak örneklerinin alındığı araç ve kaplar yanında kurutma fırınına ve hassas teraziye ihtiyaç vardır.

Tansiyometrelerle toprak neminin ölçülebilmesi için, tarla parselinin değişik noktalarında, bitki kök bölgesinin her 30 cm'lik toprak katmanına tansiyometreler yerleştirmek ve kalibrasyon eğrilerini hazırlamak gerekmektedir. Kalibrasyon eğrisinde, sulamaya başlanacak nem düzeyinin yüzde değerine karşılık gelen toprak rutubet gerilimi değeri tansiyometreden okunduğunda sulamaya başlanmakta ve toprak nemini tarla kapasitesine çıkaracak kadar sulama suyu uygulanmaktadır. Tansiyometrelerle, toprak rutubet geriliminin 0.85 atm değerine kadar sağlıklı nem ölçmeleri yapılabilmektedir. Bu nedenle, sulamaya başlanacak nem düzeyinin yüksek olduğu, sık aralıklarla sulama yapılan damla gibi sulama yöntemlerinde başarı ile uygulanabilmektedir. Bu amaçla, genellikle elektronik tansiyometrelerden yararlanılmaktadır.

Sulama zamanının planlanmasında nötron yöntemiyle de oldukça sağlıklı sonuçlar elde edilmektedir. Bu yöntemde, tarla parselinin değişik noktalarında bitki kök bölgesi derinliğinde yerleştirilen metal tüplere hızlı nötron saçan radyoaktif kaynak sarkıtılmakta ve yavaşlayan nötron sayısı ölçülmektedir. Kalibrasyon eğrisinden yavaşlayan nötron sayısına karşılık gelen nem değeri yüzde cinsinden elde edilmektedir. Nem ölçmeleri her 30 cm'lik toprak katmanında yapılmaktadır. Bitki kök bölgesindeki nem, öngörülen düzeye düştüğünde sulamaya başlanmaktadır. Bu yöntemde, radyoaktif madde ile çalışıldığından, oldukça pahalıdır ve aracın kullanılması uzmanlık istemektedir. Ancak, oldukça sağlıklı sonuç vermesi, kalibrasyon eğrisinin toprak özellikleri ve zamana göre pek değişmemesi, çok hızlı toprak nemi ölçmeleri yapılabilmesi

nedeniyle nötron yöntemi sulama zamanının planlanmasında kullanılmaya başlanmıştır ve gelecekte çok yaygın olarak kullanılması beklenmektedir.

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. Yöntem bir örnek verilerek aşağıda açıklanmıştır.

Örnek :

-Ankarada, domatesin sulama zamanının planlanması istenmektedir.

-Dikim tarihi 1 Mayıs ve son hasat tarihi 25 Eylül'dür.

-Etkili bitki kök derinliği 90 cm'dir.

-Su uygulama maddimamı % 70'tir.

-Sulama amacıyla yapılan toprak analizlerinden elde edilen sonuçlar

Çizelge 4.22 de verilmiştir. Sulamaya, kullanılabilir su tutma kapasitesinin % 50' si tüketildiğinde başlanacaktır. Çizelgedeki sulamaya başlanacak toprak nemi değerleri buna göre hesaplanmıştır. Başka bir deyişle, 90 cm derinliğindeki kök bölgesinde tarla kapasitesi 368.7 mm ve sulamaya başlanacak nem düzeyi 299.7 mm'dir. Özetle, toprak nemi 299.7 mm civarına düştüğünde sulamaya başlanacak ve mevcut nem miktarını 368.7 mm'ye çıkaracak kadar net sulama suyu uygulanacaktır.

-Penman - Monteith yönteminin FAO modifikasyonuna göre 10 günlük periyotlar için hesaplanan ortalama bitki su tüketimi değerleri Çizelge 4.23'te verilmiştir.

Çizelge 4.22 Örneğe ilişkin toprak analiz sonuçları

Toprak katmanı (cm)	Toprağın hacim ağırlığı (g/cm ³)	Tarla kapasitesi % mm	Solma noktası % mm	Kullanılabilir su tutma kapasitesi % mm	Sulamaya başlanacak nem düzeyi % mm
0-30	1.34	29.4 118.2	18.7 75.2	10.7 43.0	24.1 96.9
30-60	1.38	30.2 125.0	18.5 76.6	11.7 48.4	24.4 101.0
60-90	1.32	31.7 125.5	19.6 77.6	12.1 47.9	25.7 101.8
0-90		368.7	229.4	139.3	299.7

Çizelge 4.23 Örneğe ilişkin bitki su tüketimi değerleri

Periyot	Kıyas bitki su tüketimi (mm/gün)	Bitki katsayısı	Bitki su tüketimi (mm/gün)
1 - 10 Mayıs	4.6	0.35	1.6
11 - 20 Mayıs	4.8	0.35	1.7
21 - 31 Mayıs	5.1	0.35	1.8
1 - 10 Haziran	5.3	0.45	2.4
11 - 20 Haziran	5.6	0.65	3.6
21 - 30 Haziran	6.0	0.85	5.1
1 - 10 Temmuz	6.1	1.05	6.4
11 - 20 Temmuz	6.2	1.10	6.8
21 - 31 Temmuz	6.6	1.15	7.6
1 - 10 Ağustos	6.5	1.15	7.5
11 - 20 Ağustos	6.0	1.15	6.9
21 - 31 Ağustos	6.0	1.10	6.6
1 - 10 Eylül	5.7	1.00	5.7
11 - 20 Eylül	5.2	0.80	4.2
21 - 25 Eylül	5.1	0.65	3.3

-Dikim yapıldıktan sonra etkili kök derinliğindeki mevcut toprak nem $\%$ 28.2 (342.6 mm) olarak ölçülmüştür.

-Büyüme mevsimi boyunca düşen yağış ve buna karşılık gelen etkili yağış değerleri su bilançosunda gösterilmiştir.

Bu verilere göre sulama zamanları ve uygulanan sulama suyu miktarları Çizelge 4.24'teki su bilançosunda görülmektedir.

Çizelgenin doldurulmasında aşağıdaki konulara dikkat edilmelidir:

1) Herhangi bir gün için kök bölgesindeki mevcut nem miktarı, bir önceki günde mevcut nem miktarından bitki su tüketimi çıkarılarak elde edilir. Örneğin, 1 Mayıs'ta kök bölgesinde mevcut nem 342.6 mm ve bitki su tüketimi 1.6 mm'dir. Bu durumda 2 Mayıs'ta kök bölgesindeki mevcut nem $342.6 - 1.6 = 341.0$ mm olur. Aynı biçimde, 22 Temmuz'da kök bölgesinde mevcut nem 340.7 mm, bitki su tüketimi 7.6 mm ve dolayısıyla 23 Temmuz'da kök bölgesinde mevcut nem $340.7 - 7.6 = 333.1$ mm'dir.

2) Ekim ya da dikim gününden hemen sonra kök bölgesindeki mevcut nem tarla kapasitesine çıkaracak biçimde sulama suyu uygulamak iyi bir kök gelişmesi açısından genellikle istenmektedir. Bu nedenle örnekte, 1 Mayıs'ta

Çizelge 4.24 Örneğe ilişkin su bilançosu

Günler	Kök bölgesinde mevcut nem (mm)	Bilki su miktarını (mm/gün)	Yağış (mm)	Etken yağış (mm)	Net sulama suyu miktarı (mm)	Toplam sulama suyu miktarı (mm)
MAYIS	1	342.6				
	2	341.0 - 368.7			27.7	39.6
	3	367.1				
	4	365.5 - 368.7		14.8	14.8	
	5	367.1				
	6	365.5				
	7	363.9				
	8	362.3				
	9	360.7				
	10	359.1				
	11	357.5				
	12	355.8				
	13	354.1 - 357.2		3.1	3.1	
	14	355.5				
	15	353.8				
	16	352.1				
	17	350.4				
	18	348.7				
	19	347.0				
	20	345.3				
	21	343.6				
	22	341.8				
	23	340.0				
	24	338.2 - 346.5		8.3	8.3	
	25	344.7				
	26	342.9				
	27	341.1				
	28	339.3				
	29	337.5				
	30	335.7				
	31	333.9				
HAZİRAN	1	332.1				
	2	329.7				
	3	327.3				
	4	324.9				
	5	322.5				
	6	320.1				
	7	317.7				
	8	315.3				
	9	312.9				
	10	310.5				

Çizelge 4.24 Örneğe ilişkin su bilançosu (devamı)

Günler	Kalk bölgesinde mevcut su miktarı (mm)	Birki su miktarı (mm/gün)	Yağış (mm)	Ekici yağış (mm)	Net sulama suyu miktarı (mm)	Toplam sulama suyu miktarı (mm)
HAZİRAN 11	308.1	3.6				
12	304.5	3.6	7.3	7.3		
13	300.9 - 308.2	3.6	10.9	10.9		
14	304.6 - 315.5	3.6				
15	311.9	3.6				
16	308.3	3.6				
17	304.7	3.6	2.2	2.2		
18	301.1 - 303.3	3.0			69.0	98.6
19	299.7 - 368.7	3.0				
20	365.1	3.6				
21	361.5	5.1				
22	356.4	5.1				
23	351.3	5.1				
24	346.2	5.1				
25	341.1	5.1	14.7	14.7		
26	336.0 - 350.7	5.1				
27	345.6	5.1				
28	340.5	5.1				
29	335.4	5.1				
30	330.3	5.1				
TEMMUZ 1	325.2	6.4				
2	318.8	6.4				
3	312.4	6.4				
4	306.0	6.4			69.1	98.7
5	299.6 - 368.7	6.4				
6	362.3	6.4				
7	355.9	6.4				
8	349.5	6.4				
9	343.1	6.4				
10	336.7	6.4				
11	330.3	6.8	4.5	4.5		
12	323.5 - 328.0	6.8	10.5	10.5		
13	321.2 - 331.7	6.8				
14	324.9	6.8				
15	318.1	6.8				
16	311.3	6.8				
17	304.5	6.8			71.0	101.4
18	297.7 - 368.7	6.8				
19	361.9	6.8				
20	355.1	6.8				

Çizelge 4.24 Örneğe ilişkin su bilançosu (devamı)

Günler	Kök bölgesinde mevcut nem (mm)	Birici su tüketimi (mm/gün)	Yağış (mm)	Etkin yağış (mm)	Net sulama suyu miktarı (mm)	Toplam sulama suyu tüketimi (mm)
TEMMUZ 21	348.3	7.6				
22	340.7	7.6				
23	333.1	7.6				
24	325.5	7.6				
25	317.9	7.6				
26	310.3	7.6				
27	302.7	7.6				
28	295.1 - 368.7	7.6			73.6	105.1
29	361.1	7.6				
30	353.5	7.6				
31	345.9	7.6				
AĞUSTOS 1	338.3	7.5				
2	330.8	7.5				
3	323.3	7.5				
4	315.8	7.5				
5	308.3	7.5				
6	300.8 - 368.7	7.5			67.9	97.0
7	361.2	7.5				
8	353.7	7.5				
9	346.2	7.5				
10	338.7	7.5				
11	331.2	6.9				
12	324.3	6.9				
13	317.4	6.9				
14	310.5	6.9				
15	303.6	6.9				
16	296.7 - 368.7	6.9			72.0	102.9
17	361.8	6.9				
18	354.9	6.9				
19	348.0	6.9				
20	341.1	6.9				
21	334.2	6.6				
22	327.6	6.6				
23	321.0	6.6				
24	314.4	6.6				
25	307.8	6.6				
26	301.2 - 368.7	6.6			67.5	96.4
27	362.1 - 368.7	6.6	7.1	7.1		
28	362.1	6.6				
29	355.5	6.6				
30	348.9	6.6				
31	342.3	6.6				

$$k = 0.90 \times 0.70 = 0.63$$

ve bitki su tüketimi:

$$ET = 0.63 \times 68.6 = 43.2 \text{ mm/10 gün} = 4.3 \text{ mm/gün}$$

bulunur.

4.5. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ

1) Eskişehir ili için Ağustos ayı ortalama iklim değerleri aşağıda verildiğine göre, bu aya ilişkin kıyas bitki su tüketimini Blaney - Criddle ve Penman - Monteith yöntemi FAO modifikasyonuna göre bulunuz.

- Enlem derecesi : 39° 46'
- Ortalama sıcaklık : 21.4 °C
- 10 m yükseklikte ölçülen ortalama rüzgar hızı : 2.9 m/s
- Ortalama bağıl nem : % 54
- Minimum bağıl nem : % 25
- Güneşlenme süresi : 11 h 31 dak
- Atmosfer basıncı : 921.7 mb

2) Nevşehir ilinde hiber tarımı yapılan bir tarla parselinde A sınıfı buharlaşma kabı rüzgar tarafındaki uzunluğu 10 m olan çıplak arazi içerisine kurulmuştur. Aşağıdaki verilerden yararlanarak;

- a) Büyüme mevsimi boyunca referans bitki su tüketimlerini bulunuz.
- b) Bitki katsayısı eğrisini çiziniz.
- c) Büyüme mevsimi boyunca bitki su tüketimlerini bulunuz.

- Dikim ve acı basat tarihleri : 1 Nisan - 25 Ağustos
- Başlangıç devresindeki ortalama yağış aralığı : 8 gün
- Farklı periyotlardaki rüzgar hızı, bağıl nem ve A sınıfı kaptan ölçülen buharlaşma miktarları;

Periyot	10 m yükseklikte ölçülmüş rüzgar hızı (m/s)	Bağıl nem (%)		A sınıfı kaptan ölçülen buharlaşma (mm)
		Ort.	Min.	
1-10 Nisan	2.8	66	32	4.9
11-20 Nisan	3.4	68	31	5.4
21-30 Nisan	3.0	67	33	5.7
1-10 Mayıs	2.6	68	35	6.2
11-20 Mayıs	2.9	68	34	6.5
21-31 Mayıs	2.7	68	34	7.1

1-10 Haziran	3.1	60	38	7.7
11-20 Haziran	3.1	62	40	8.5
21-30 Haziran	2.7	62	40	9.2
1-10 Temmuz	3.0	58	37	9.8
11-20 Temmuz	2.8	58	37	10.4
21-31 Temmuz	3.2	58	37	10.6
1-10 Ağustos	3.3	56	36	10.5
10-20 Ağustos	3.3	56	36	10.1
21-31 Ağustos	2.9	58	38	9.4

3) Aşağıda verilen bilgilere göre, Urfa'da bulunan bir sulama projesi için Blaney - Criddle yönteminin USDA-SCS modifikasyonunu kullanarak aylara göre sulama modüllerini bulunuz.

-Proje alanı enlem derecesi : 37°03'

-Proje alanındaki bitki deseni ve büyüme mevsimleri

Bitki cinsi	Ekiliş oranı (%)	Büyüme mevsimi
Hububat	25	1 Kasım - 1 Haziran
Pamuk	40	1 Nisan - 15 Eylül
Ayçiçeği	15	15 Mart - 15 Ağustos
Mısır	5	15 Mart - 15 Eylül
Sebze	15	1 Nisan - 1 Eylül

-Aylık ortalama sıcaklık ve yağış değerleri

Aylar	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Ort. sıcaklık (°C)	10.1	15.8	21.8	27.8	31.7	31.4	26.6
Ort. yağış (mm)	62.8	49.9	25.6	2.7	0.6	0.4	1.3

4) Aşağıdaki verilere göre,

a) Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarını,

b) Sulama aralığını,

c) Tarla başında ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarını,

d) Su kaynağında ihtiyaç duyulan sulama suyu miktarını,

e) Tarla parselinin günde 12 saat sulama yapmak üzere 2 günde sulanması istendiğine göre su kaynağında ihtiyaç duyulan debi miktarını ve

f) Su kaynağından 80 L/s su alınması koşulunda tarla parselinin sulama süresini bulunuz.

-Tarla kapasitesi : % 28.4

-Solma noktası : % 19.2

5.1. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Belirli bir tarım alanına sulama hizmeti götürülürken, uygun sulama yönteminin seçilmesi, arazinin sulamaya hazırlanması, sulama ve drenaj sistemlerinin planlanması, sistemi unsurlarının boyutlandırılması ve işletilmesi için ilk aşamada bazı bilgilerin derlenmesine ihtiyaç vardır. Bu bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

5.1.1. Planlama Haritası

Sulansacak arazinin topografik haritası elde edilir. Harita ölçeğinin, genel bir sınırlama ile 300 ha'a kadar olan alanlar için 1/2000, daha geniş alanlar için 1/3000 olması önerilmektedir. Tesviye eğrilerinin, ortalama eğimi % 1'e kadar olan alanlarda 0.50 m, % 1'den yüksek olan alanlarda 1.00 m aralıklarıyla geçirilmesi yeterlidir. Topografik haritada;

- 1) Sabit noktalar (röperler),
- 2) Su kaynağının yeri ve yüksekliği,
- 3) Mevcut tarla parsellerinin sınırları,
- 4) Mevcut sulama ve drenaj kanalları,
- 5) Drenaj sistemi çıkış ağzının yeri ve yüksekliği,
- 6) Tarla içi yollar,
- 7) Bina vb. sabit yapılar,
- 8) Tarım dışı alanlar ve
- 9) Planlamaya etkili olabilecek diğer unsurlar

bulunmalıdır. Bu amaçla, varsa değerlendirilen özellikleri yansıtan mevcut topografik haritalardan yararlanılır. Aksi durumda, dayalı ya da bağımsız poligon ağı döşeyerek ve gerekli arazi ölçmeleri yapılarak istenilen özellikte bir topografik harita hazırlanmalıdır.

Ayrıca, yapılacak bir anket ile her tarla parselinin büyüklüğü, işletmecisinin adı ve kullanıma biçimi, başka bir deyişle, alındaki mülkiyet durumu ve tarımsal yapı saptanmalıdır. Bu amaçla, varsa kadastro haritalarından yararlanılabilir. Ancak, özellikle mülkiyet durumu zaman boyutunda değişebileceğinden, üzerinden uzun zaman geçmiş anket çalışmaları yenilenmelidir.

Sulama sistemi söz konusu harita üzerinde planlanır. Proje unsurlarının boyutlandırılmasında ve araziye geçirilmesinde kullanılan bazı değerler harita üzerinden ölçülerek sağlandığından ve bu haritalardan aynı zamanda işletme aşamasında yararlanıldığından, topografik haritanın doğru ve yeterli ayrıntıda olması son derece önemlidir.

5.1.2. Toprak Bilgileri

Alanın toprak özelliklerini saptamak amacıyla, 150 cm derinliğe kadar toprak profilleri açılır ve her 30 cm toprak katmanından bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınır. Laboratuvar analizleri ile; bozulmuş toprak örneklerinden bünye sınıfı, toprak tuzluluğu ve salma noktası, bozulmamış toprak örneklerinden ise, tarla kapasitesi, hacim ağırlığı ve geçirgenlik saptanır. Genel olarak, her 16 ha alan için bir toprak profili açılır. Ancak, toprak özelliklerinin değiştiği koşullarda, profillerin daha sık açılması gerekebilir.

Bunun yanında, her profilin yakınında infiltrasyon testleri yapılarak, eklemeli su alma eşitlikleri ve infiltrasyon hızları saptanır.

5.1.3. Bitki Özellikleri

Alanda mevcut ve sulamaya açıldıktan sonra öngörülen bitki deseni saptanır. Özellikle, sulamaya açılacak alanda projeli koşuldaki olası bitki deseni, yörede diğer sulu tarım alanlarındaki bitki desenleri incelenerek belirlenmelidir. Her bir bitkiye ilişkin ekiliş sırası, büyüme mevsimi, etkili kök derinliği, sulamaya bağlanacak toprak nemi düzeyi, bitki su tüketimi, tarımsal işlemler, birim alan verimleri ve birim alandan proje öncesi ve sonrasında sağlanacak faydalar gibi bilgiler derlenir.

5.1.4. Su Kaynağı Özellikleri

Yararlanılacak su kaynağı yada kaynaklarının cinsi, konumu, uygun su alma yeri, suyun alınmasında pompa birimi gerekliliği, enerji cinsi, pompa statik emme yüksekliği, kuyu ise dinamik yüksekliği, su kaynağının minimum, maksimum ve ortalama debileri, su tersiyer kanaldan alınacaksa tersiyer kanala su verilen günler ve süresi, proje alanı sulama suyu ihtiyacına göre su kaynağı debisinin yeterli olup olmadığı, sulama suyu kalitesi vb. bilgiler derlenir.

5.1.5. İklim Özellikleri

Yükseklik, enlem ve boylam dereceleri, yağış, sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı, yönlü ve esme süresi, güneşlenme süresi, ilk ve son don tarihleri vb. iklim bilgileri derlenir.

5.1.6. Diğer Bilgiler

Planlama, projelendirme ve işletmeye etkili olabilecek diğer bilgiler derlenir.

Alan için ayrıntılı sulu arazi tasnif raporu mevcutsa, değerlendirilen bilgilerin tamamı ya da bir kısmı bu rapordan alınabilir.

5.2. TARLA PARSELLERİNİN DÜZENLENMESİ

Yüzey sulama yöntemlerinin uygulanacağı arazide, sulama doğrultusundaki parsel uzunluğu saptanırken, öncelikle toprak özellikleri,

topografya, uygulanacak sulama suyu miktarı ve uygun birim tava ya da karık debileri gibi etmenler dikkate alınarak, erozyona neden olmayacak maksimum akış uzunluğu saptanır. Sonra, arazi boyutlarına göre parsel uzunluğu belirlenir. Örneğin, sulama doğrultusunda arazi uzunluğu 500 m ve maksimum akış uzunluğu 300 m ise, bu doğrultudaki parsel uzunluğunun 250 m alınacağı açıktır. Parsel eni ise, parsel uzunluğunun 1/10 - 1/1'i kadar olabilir. En uygunu 1/3 - 1/2'dir.

Maksimum akış uzunluğu, toprağın su tutma kapasitesi, uygulanacak sulama suyu miktarı ve erozyona neden olmaması koşuluyla birim tava ya da karık debisi yüksek olduğunda artmakta, buna karşın arazi eğimi ve su alma hızı yüksek olduğunda ise azalmaktadır. Maksimum akış uzunluğu uygulanacak yüzey sulama yöntemine göre de değişmektedir. Bu nedenlerle, erozyona neden olmayacak maksimum akış uzunluğunun arazide yapılacak testlerle belirlenmesi en sağlıklı yoldur. Bir fikir vermesi açısından, arazi eğimi ve toprak bünye sınıfına göre göz önüne alınabilecek maksimum akış uzunlukları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

5.3. SULAMA VE DRENAJ SİSTEMİNİN PLANLANMASI

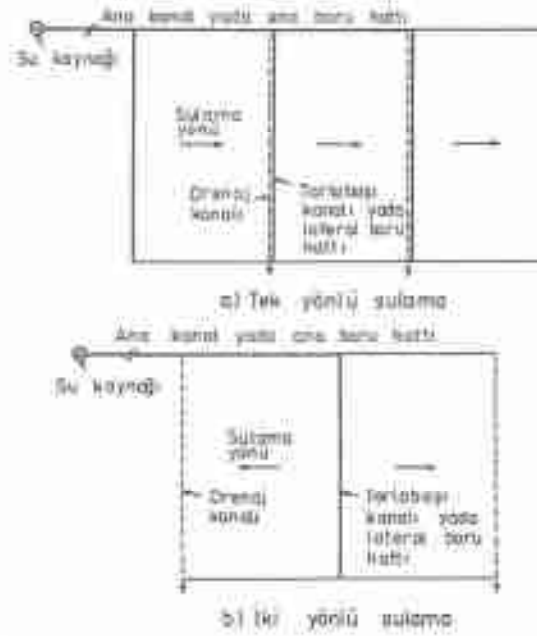
Uygun parsel boyutları saptandıktan sonra, oluşturulan tarla parselleri ve tarımsal yollar planlama haritası üzerinde gösterilir. Yine harita üzerinde, her tarla parselinin başına, parselde su alacak biçimde tarla başı kanalı ya da lateral boru hattı yerleştirilir. Bu kanal ya da boru hatları, bir ana kanal ya da ana boru hattı ile su kaynağına bağlanır.

Sulama uzun tava ya da açık kartlarla yapılacaksa, sulama doğrultusunda olmak üzere her tarla parselinin sonuna bir yüzey drenaj kanalı planlanır ve bu kanallar çıkış ağzına bağlanır.

Uygulamada en çok rastlanan planlama biçimlerinin iki örneği Şekil 5.1'de verilmiştir. Şekil 5.1 a'da, aynı yönde eğimli arazinin maksimum akış uzunluğu dikkate alınarak üç tarla parseline ayrılmış biçimi görülmektedir. Her

Çizelge 5.1 Yüzey sulama yöntemlerinde maksimum akış uzunlukları

Arazi eğimi (%)	Toprak bünyesi		
	Hafif	Orta	Ağır
0.25	80-180	240-290	340-380
0.50	50-120	160-200	240-260
0.75	40-100	120-160	180-210
1.00	30-80	100-130	150-180



Şekil 5.1 Tek ve iki yönlü sulamada planlama biçimleri

tarla parseline, tarla başı kanalı ya da lateral boru hattı ile su verilmekte, parselde çıkan su yüzey drenaj kanalı ile uzaklaştırılmaktadır. Topografik koşullar bazen, tarla başı kanalı ya da lateral boru hattının iki yönlü hizmet verecek biçimde planlanmasına olanak vermektedir (Şekil 5.1 b). Bu koşulda, tarla içi su dağıtım sistemi ve yüzey drenaj kanallarının toplam uzunlukları daha az olur ve sistem maliyeti düşer.

Sulamaya hizmeti götürülecek alanın topografik özelliklerine göre, belirli kesimde tek ve belirli kesimde iki yönlü sulamaya olanak verecek biçimde planlama söz konusu olabilmektedir.

Harita üzerinde, tarla sulama ve drenaj sistemi planlandıktan sonra, alana iletililecek ve dağıtılacak, bunun yanında alandan uzaklaştırılacak suyun debisine göre sistem unsurları boyutlandırılır. Daha sonra, tarla parselleri ile sulama ve drenaj sistemi araziye geçirilir (aplikasyon). Sistem unsurlarının inşası, genellikle, her tarla parseli tesviye edildikten sonra yapılır.

5.4. ARAZİ TESVİYESİ

Arazi tesviyesi; yüzey sulama yöntemlerinde, kabul edilebilir düzeyde eş bir su dağılımının sağlanması için, olanaklar ölçüsünde doğal eğimi bozmadan ve verimlilik potansiyelini azaltmadan, arazide bulunan yüzeyel düzensizliklerin sulama yönteminin gerektirdiği eğim derecelerine göre düzeltilmesi biçiminde tanımlanır. Etkili ve kolay bir yüzey sulamanın yapılabilmesi için arazinin uygun ve olanaklar ölçüsünde değişmeyen bir eğime sahip olması gerekir.

5.4.1. Arazi Tesviyesinin Yararları

Arazi tesviyesinin yararları şöylece sıralanabilir;

1) Daha eş bir su dağılımı sağlandığından su uygulama randımanı yükselir. Böylece sulama suyu ihtiyacı azalır ve mevcut suyla daha fazla alan sulanabilir.

2) Derine sızma fazla olmaz, dolayısıyla bitki besin maddelerinin kök bölgesinin altına yıkanması sorunu azalır.

3) Etkili bir yüzey drenajı yapılabilir ve tuzluluk ve sodyumluluk sorunu ortadan kaldırılabilir.

4) Arazi yüzeyinin her tarafı aynı zamanda toprağın işlenmesi için gerekli nem düzeyine gelir ve sürme, çapa vb. tarımsal işlemler kolaylıkla yapılır.

5) Su arazi yüzeyinde kolaylıkla ilerlediğinden sulama işçiliği masrafları azalır.

5.4.2. Arazi Tesviyesinin Uygulanmasını Kısıtlayan Etmenler

Bazı koşullarda, teknik ya da ekonomik yönden arazi tesviyesi yapılmaz. Arazi tesviyesinin uygulanmasını kısıtlayan bu etmenler aşağıda sıralanmıştır.

1) Su alma hızı yüksek hafif bünyeli topraklarda yüzey sulama yöntemleri uygulanırsa derine sızma çok fazla olur. Akış uzunluğu azaltılarak, bu sorun belirli oranda ortadan kaldırılabilir. Ancak, bu koşulda tarla parsellerinin boyutları küçüleceğinden çok fazla tarla başı ve drenaj kanallarının tesisi gerekir. Dolayısıyla hem sulama sisteminin maliyeti artar hem de kanalların kapladığı alanların tarım dışında kalması sorunuyla karşılaşılır. Bu nedenlerle uygulamada, su alma hızı yüksek hafif bünyeli topraklar basınçlı sulama yöntemleri ile sulanır. Bu yöntemlerde arazi tesviyesine gerek yoktur.

2) Ana kayanın, geçirimsiz tabakanın ya da taban suyunun yakında olduğu yüzlek topraklarda arazi tesviyesi yapılmaz. Aksi durumda yapılacak kazı ile etkili toprak derinliği daha da azaltılır. Dolayısıyla, yüzlek topraklarda basınçlı sulama yöntemleri uygulanır.

3) Doğal eğimi yüksek arazide yüzey sulama yöntemleri erozyona neden olur. Bu tip arazide yüzey sulama yöntemleri ancak teras yapılsa uygulanabilir. Aksi durumda basınçlı sulama yöntemleri tercih edilir.

4) Doğal eğim düşük olmama karşın eğimin çok değişken olduğu dalgalı arazinin tesviyesi fazla kazıyı gerektirir ve tesviye maliyeti artar. Bu gibi yerlerde arazi tesviyesi gerektirmeyen basınçlı sulama yöntemlerinin uygulanması genellikle daha ekonomik olur.

5) Sulama suyunun kısıtlı ancak sulanabilir arazinin fazla olduğu yerlerde, yüksek sulama randımanına sahip basınçlı sulama yöntemleri uygulanır. Dolayısıyla arazi tesviyesine gerek kalmaz.

5.4.3. Arazi Tesviyesi Tipleri

Arazi tesviyesi, yapılaş biçimi ve uygulanacak sulama yöntemi, birim alandan kazılacak toprak hacmi ve yapılaş sırasına göre değişik tiplere ayrılmaktadır. Bunlar, Şekil 5.2'de şematik olarak sınıflandırılmış ve aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Yersel tesviye: Oldukça düz tarla parsellerinde, arazinin yalnızca belirli bir kesiminin tesviye edilmesidir. Topografik koşullar nedeniyle tarla parselinin diğer kesimlerinde etkili bir sulama açısından tesviyeye ihtiyaç duyulmaz.

İki yönde değişken eğimli tesviye: Tarla parseli, sulama doğrultusunda ve sulamaya dik yönde olmak üzere iki yönde eğim verilerek tesviye edilir. Ancak, tesviye maliyetini arttırmamak amacıyla eğim dereceleri doğal eğime uygun biçimde değiştirilir. Bu tip arazi tesviyesi karık sulama yönteminin uygulanacağı tarla parsellerinde yapılır.



Şekil 5.2. Arazi tesviyesi tipleri.

Tek yönde değişken eğimli tesviye: Bu tesviye tipinde, tarla parseline yalnızca sulama doğrultusunda değişebilen derecelerde eğim verilir. Sulama doğrultusuna dik yönde hiç eğim verilmez. Uzun tava sulama yönteminin uygulanacağı tarla parsellerinde yapılır.

İki yönde sabit eğimli tesviye: Karık sulama yönteminin uygulanacağı tarla parsellerinde yapılır. Tarla parseline, sulama doğrultusunda ve dik yönde sabit eğim verilir.

Tek yönde sabit eğimli tesviye: Uzun tava sulama yönteminin uygulanacağı tarla parsellerinde yapılır. Yalnızca sulama doğrultusunda sabit eğim verilir.

Eikili bir sulama açısından, uygulamada en çok iki yönde ve tek yönde sabit eğimli tesviye yapılmaktadır.

Hafif tesviye: Kazı hacmi $50 \text{ m}^3/\text{da}$ 'dan az olan tesviyedir.

Orta tesviye: Kazı hacmi $50 - 100 \text{ m}^3/\text{da}$ arasında olan tesviyedir.

Ağır tesviye: Kazı hacmi $100 - 150 \text{ m}^3/\text{da}$ arasında olan tesviyedir.

Çok ağır tesviye: Kazı hacmi $150 \text{ m}^3/\text{da}$ dan fazla olan tesviyedir.

Özellikle ağır ve çok ağır tesviye koşullarında, tesviye maliyetinin yüksek olması, yapılacak fazla derinlikte kazı sonucu ham toprağın ortaya çıkması ve verimliliğin azalması etmenleri dikkate alınarak, yüzey sulama yöntemleri yerine, basma sulama yöntemlerinin seçilmesi alternatifleri üzerinde de durulmalıdır.

Kaba tesviye: İlk aşamada skreyper ya da dozer gibi ağır tesviye makineleri ile yapılan tesviyedir.

İnce tesviye: Kaba tesviye tamamlandıktan sonra arazi üzerindeki küçük düzensizlikleri gidermek amacıyla lend-pleyn ya da greyder gibi hafif tesviye makineleri ile yapılan tesviyedir.

5.4.4. Tesviye Projelene Yöntemleri

Arazi tesviye projelerinde amaç, sulama yönteminin gerektirdiği eğim dereceleri de dikkate alınarak doğal topografyaya en uygun tesviye düzleminin geçirilmesi, doğal arazi yüzeyi ile tesviye düzlemi arasında kalan yükseklik farklarından yararlanarak kazı ve dolgu miktarlarının hesaplanması ve kazılan toprağın dolgu yapılacak yerlere optimum taşıma koşullarının belirlenmesidir. Arazi tesviye projelerinin hazırlanmasında çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Burada yalnızca, uygulamada yaygın olarak kullanılan en küçük karolar yöntemi üzerinde durulacaktır.

En küçük kareler tesviye projelene yöntemi: Bu yöntem, istatistikte yer alan en küçük kareler kuramına dayalıdır. Burada temel ilke, kareler ağına ayrılmış arazide kare köşelerinin (istasyonların) doğal zemin kotları ile tesviye düzlemi kotları arasındaki farkların karelerinin toplamı en küçük olan tesviye düzleminin belirlenmesidir. Yöntem, dikdörtgen şekilli ya da düzgün olmayan şekilli araziye kolaylıkla uygulanabilmektedir.

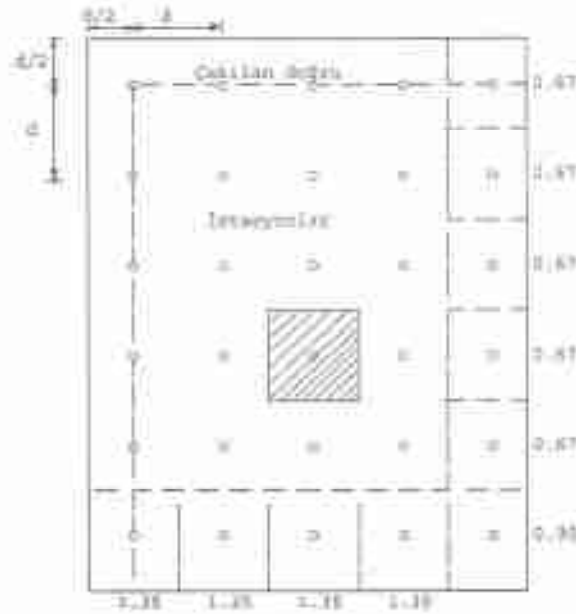
5.4.5. Tesviye Öncesi Hazırlık ve Ölçme İşleri

Arazi tesviyesi yaz aylarında yağışsız dönemlerde yapılır. Tesviye araçlarının ıslak arazide çalıştırılması hem ekonomik değildir, hem de toprağın gereğinden fazla sıkışmasına, ayrıca uygun bir tesviyenin yapılamamasına yol açar. Bu nedenlerle, tesviye sırasında arazi yüzeyinin kuru olması gerekmektedir.

Tesviye yapılacak arazide önce ot, çalı ve taşlar temizlenir. Varsa yöresel tepe ve çukurlar dozerle kazılır ya da doldurulur. Bir önceki yıldan kalan karık, tava izleri diskaro çekilerek düzeltilir. Böylece, mira okumaları ve kazi hesaplarının daha sağlıklı yapılması sağlanır. Ayrıca, civardaki tarla parsellerinden gelebilecek yüzey akışları engellenir.

Bu hazırlıklar tamamlandıktan sonra arazinin istasyonlanması işlemine geçilir. İstasyonlar arası mesafe d birim uzunluğu ile ifade edilir. Nispeten büyük, düzgün topografyaya sahip ya da düşük eğimli arazide $d = 30$ m ve küçük, dalgalı topografyaya sahip ya da eğimin nispeten yüksek olduğu arazide $d = 20$ m alınır. İstasyonların oluşturulması amacıyla, arazinin bir kenarından $d/2$ mesafede olacak biçimde bir doğru çakılır (Şekil 5.3). Doğru üzerinde, diğer kenardan $d/2$ kadar içerde ilk istasyon oluşturulur. Bu istasyondan, daha önce çakılan doğruya, bir prizma ya da nivelman aletinden yararlanarak dik bir doğru çakılır. Her iki doğru üzerinde, aralarında d birim uzaklık bulunan istasyonlar çelik şerit aracılığıyla çakılır. Bu istasyonlar baz alınarak arazi bütünüyle istasyonlanır. Her istasyon, boyutları $2.5 \times 5 \times 100$ cm olan ahşap kazıklarla belirlenir. Son olarak, arazi kenarlarındaki her bir istasyonun kenarlara olan uzaklıkları çelik şeritle ölçülerek kaydedilir.

Arazi, $1/1000 - 1/2000$ arası bir ölçekle milimetrik kağıda çizilir ve istasyonlar gösterilir. İstasyonlar $m \times n$ boyutlarında bir matris oluşturur. Başka bir deyişle, m adet satır ve n adet kolon söz konusudur. Herhangi bir istasyon, satır ve kolon numarası ile ifade edilir. Örneğin, (4,3) istasyonu, 4. satır ile 3. kolonun kesiştiği yerdeki istasyondur. Bunun yanında, $d \times d = d^2$ değerindeki alan 1 birim alan olarak tanımlanır. İstasyonların çoğu 1 birim alanı temsil eder. Örneğin, (4,3) istasyonu 1 birim alanı temsil etmektedir ve istasyon değinilen birim alanın merkezindedir (Şekil 5.3). Bunun yanında, kenarlardaki istasyonların bazıları 1 birim alandan farklı olabilir. Böyle istasyonların temsil ettiği alan kesik çizgilerle sınırlanır ve birim alan değeri yamma yazılır. Örneğin, Şekil 5.3'teki



Şekil 5.3. Tesviye yapılacak arazide istasyonların oluşturulması

(1,5) istasyonunun birim alan değeri 0,67, (6,5) istasyonunun birim alan değeri ise 0,90'dır.

Bundan sonra, istasyonların mira değerlerinin belirlenmesi amacıyla, nivelman aleti ile yüzey nivelmanı yapılır. Tesviye projelerinde her istasyondaki kazı ve dolgu miktarları saptandığından, istasyonların yüksekliklerinin yada kotlarının elde edilmesine gerek yoktur. Mira değerleri yeterli olur. Yüzey nivelmanı sonuçları, bir nivelman karnesine kaydedilir ve eşdeğer mira değerleri hesaplanarak her istasyonun üzerine yazılır.

Örneğin, Şekil 5.3'teki arazide mira okunmaları 4 alet durağında yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.2'deki nivelman karnesine kaydedilmiştir. Yalnız, nivelman işlemi birden fazla alet durağında yapılırsa, istasyonlara ilişkin eşdeğer mira değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Örneğin, Çizelge 5.2'de I. ve II. alet durağından gözlem yapılan (2,3) istasyonunda, I. alet durağında 2,851 m, II. alet durağında 2,767 m mira değeri okunmuştur. II. alet durağında okunan 2,767 m değerini eşdeğer mira değerine (2,851 m'ye) çevirmek için, aradaki fark olan 0,084 m ile toplamak gerekir. Bunun yanında, II. alet durağında okunan diğer tüm

Çizelge 5.2 Teuviye yapılacak örnek tarla parseline ilişkin yükseklik karnesi

Alet durağı	Gözlem noktası (istasyon no)	Mira okuması (m)	Düzeltilme değeri (m)	Eşdeğer mira değeri (m)
I	1,1	2,573	0,000	2,573
	1,2	2,608		2,608
	1,3	2,980		2,980
	2,1	2,604		2,604
	2,2	2,815		2,815
	2,3	2,851		2,851
	3,1	2,422		2,422
	3,2	2,757		2,757
	3,3	3,243		3,243
II	2,3	2,767	2,851-2,767 \Rightarrow +0,084	2,851
	1,4	3,125		3,209
	1,5	2,852		2,936
	2,4	2,931		3,015
	2,5	2,918		3,002
	3,4	3,135		3,214
	3,5	3,363		3,447
III	3,1	1,975	2,422-1,975 \Rightarrow +0,447	2,422
	4,1	1,840		2,287
	4,2	1,856		2,303
	4,3	2,262		2,709
	5,1	1,683		2,130
	5,2	1,724		2,171
	5,3	2,091		2,538
	6,1	1,393		1,840
	6,2	1,705		2,152
	6,3	1,897		2,344
IV	3,4	3,543	3,214-3,543 \Rightarrow -0,329	3,214
	4,4	3,080		2,751
	4,5	3,248		2,919
	5,4	2,904		2,575
	5,5	3,001		2,672
	6,4	2,760		2,431
	6,5	2,838		2,509

değerlere, bu alet durağı için düzeltme değeri olan 0.084 m eklenir. Bu yolla elde edilen eşdeğer mira değerleri çizelgenin son kolonunda gösterilmiştir. Bu mira değerleri cm'ye kadar yuvarlatılır ve plandaki her istasyonun üzerine yazılır. Bunun yanında, tarla başı kanalının ya da tarla parseline su alınacak prizinin tabanı, hareket yada su üst düzeyi mira değeri de plan üzerinde gösterilir (Şekil 5.4). Bundan sonra tesviye projelene işlemine geçilir.

5.4.6. En Küçük Kareler Tesviye Projelene Yöntemi

En küçük kareler yöntemiyle arazi tesviye projesinin yapılması Şekil 5.4'te verilen tarla parseli örnek alınarak açıklanacaktır. Daha önce değinildiği gibi, tarla parseli dikdörtgen şekillidir. Toplam 30 istasyon bulunmaktadır. Satır sayısı 6 ve kolon sayısı 5'tir. Başka bir deyişle, $m \times n = 6 \times 5$ boyutlarında bir matris söz konusudur. Her istasyonun doğal zemin mira değeri üzerine yazılmıştır. Örneğin, (1,1) istasyonu mira değeri 2.57 m, (1,2) istasyonu mira değeri 2.61 m ve (6,5) istasyonu mira değeri ise 2.51 m'dir. İstasyonlar arası mesafe $d=30$ m'dir. Bir istasyonun temsil ettiği birim alan değeri $d^2 = 30^2 = 900$ m²'dir. Bir birimden farklı alanlar kesik çizgilerle ayrılarak birim alan değerleri yanına yazılmıştır. Örneğin, (1,5) istasyonu 0.67 birim, (6,1) istasyonu 1.35 birim ve (6,5) istasyonu 0.90 birim alanı temsil etmektedir. Projelenede, sırasıyla izlenecek aşamalar aşağıda açıklanmıştır.

2.57	2.61	2.88	3.21	2.94	0.67
2.60	2.82	2.95	2.02	2.02	2.45
2.42	2.74	2.24	3.21	2.43	0.87
2.29	2.35	2.71	2.75	2.98	0.47
2.13	2.17	2.54	2.55	2.47	0.47
1.84	2.18	2.28	2.43	2.51	0.90
1.25	1.33	1.33	1.45		

Şekil 5.4 Tesviye yapılacak arazinin planı ve istasyonlarda doğal zemin mira değerleri

1. aşama : Birinci satırın 1 birim yukarıından X eksenini ve birinci kolonun 1 birim solundan Y eksenini geçirilerek bir dik koordinat sistemi oluşturulur. Eksenlerin kesim noktası olan orijin O ile gösterilir. Her satır ve kolonun mira değeri toplamları (H_x, H_y), birim alan değeri toplamları (S_x, S_y), satır ve kolonların eksenlere olan birim uzaklıkları (D_x, D_y), bunun yanında ($H_x D_y$), ($H_y D_x$), ($S_x D_y$) ve ($S_y D_x$) çarpımları hesaplanarak plan üzerinde ilgili satır ve kolonun karşısına yazılır ve toplamları bulunur (Şekil 5.5). Örneğin, 1. satıra ilişkin değerler;

$$H_{x1} = 2.57 + 2.61 + 2.98 + 3.21 + 2.94 = 14.31m$$

$$S_{x1} = 1 + 1 + 1 + 1 + 0.67 = 4.67birim$$

$$D_{y1} = 1birim$$

$$(H_x D_y) = 14.31 \times 1 = 14.31$$

$$(S_x D_y) = 4.67 \times 1 = 4.67$$

5. kolona ilişkin değerler ise;

$$H_{y5} = 2.94 + 3.00 + 3.45 + 2.92 + 2.67 + 2.51 = 17.49m$$

$$S_{y5} = 0.67 + 0.67 + 0.67 + 0.67 + 0.67 + 0.90 = 4.25birim$$

$$D_{x5} = 5birim$$

$$(H_y D_x) = 17.49 \times 5 = 87.45$$

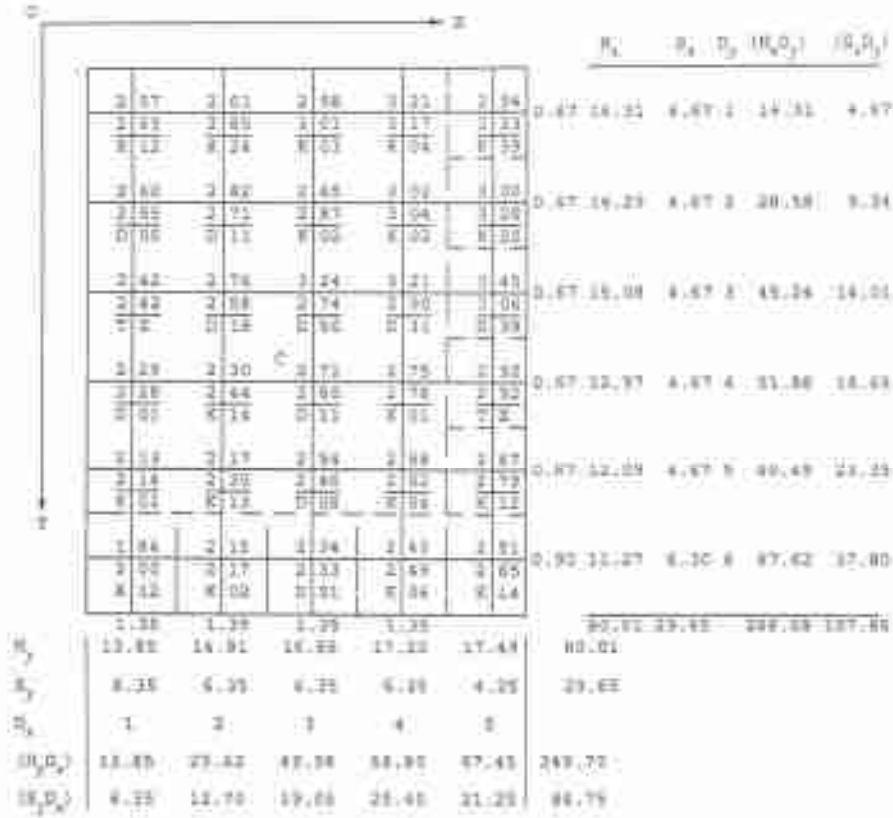
$$(S_y D_x) = 4.25 \times 5 = 21.25$$

2. aşama : Tesviye düzlemi ağırlık merkezinin koordinatları saptanır. Bu amaçla;

$$x_c = \frac{\sum(S_y D_x)}{\sum S_y} \quad (5.1)$$

$$y_c = \frac{\sum(S_x D_y)}{\sum S_x} \quad (5.2)$$

eşitliklerinden yararlanılır. Verilen örnek için tesviye düzlemi ağırlık merkezinin koordinatları;



Şekil 5.5 Tesviye yapılacak örnek tarla parselinde en küçük kareler tesviye projelendirme yöntemine ilişkin sayısal uygulama

$$x_c = \frac{\sum(S_y D_x)}{\sum S_y} = \frac{84.75}{29.65} = 2.86 \text{ birim}$$

$$y_c = \frac{\sum(S_x D_y)}{\sum S_x} = \frac{107.85}{29.65} = 3.64 \text{ birim}$$

biçiminde hesaplanır. Başka bir deyişle, tesviye düzlemi ağırlık merkezi Y eksenine $x_c = 2.86$ birim ve X eksenine $y_c = 3.64$ birim uzaklıktadır. Tesviye düzlemi ağırlık merkezi plan üzerine işaretlenir ve C ile gösterilir (Şekil 5.5).

3. aşama : Tesviye düzlemi ağırlık merkezinin mira değeri;

$$H_c = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (H_{ij} S_{ij})}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S_{ij}} \quad (5.3)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

H_c = Tesviye düzlemi ağırlık merkezinin mira değeri, m,
 H_{ij} = (i,j) istasyonu mira değeri, m ve
 S_{ij} = (i,j) istasyonu birim alan değeri dir.

Verilen örnek için tesviye düzlemi ağırlık merkezinin mira değeri;

$$H_c = \frac{2.57 \times 1 + 2.61 \times 1 + \dots + 2.51 \times 0.90}{29.65} = 2.627m$$

olarak elde edilir.

4. aşama : Tesviye düzleminin X ve Y eksenini doğrultularındaki tesviye düzlemi eğimleri bulunur. Bu amaçla aşağıda verilen eşitliklerden yararlanır;

$$M_x = \frac{\sum (H_y D_x) - A_x \sum H_x}{B_x} \quad (5.4)$$

$$M_y = \frac{\sum (H_x D_y) - A_y \sum H_y}{B_y} \quad (5.5)$$

Bu eşitliklerde;

M_x = Tesviye düzleminin X eksenini doğrultusundaki eğimi (X eksenini doğrultusunda tesviye düzlemi mira değerlerinin birim uzunluktaki değişimi), m/d,

M_y = Tesviye düzleminin Y eksenini doğrultusundaki eğimi (Y eksenini doğrultusunda tesviye düzlemi mira değerlerinin birim uzunluktaki değişimi), m/d,

A_x = X eksenini boyunca kolonların Y eksenine olan uzaklıklarının ortalaması,

A_y = Y eksenini boyunca satırların X eksenine olan uzaklıklarının ortalaması,

B_x, B_y = Satır ve kolonların sayılarına ve eksenlere göre konumlarına bağlı katsayılardır.

Bu eşitliklerdeki A_x, A_y, B_x ve B_y katsayıları Çizelge 5.3'ten doğrudan

Çizelge 5.3 En Küçük Kareler Tesviye Yönteminde A ve B Katsayıları

EGİMLİ SAPTANACAKI YÖNDEKİ SATIR YA DA KOLON SAYISI																				
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
A DEĞERLERİ																				
1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5		
B DEĞERLERİ																				
1	0.5	2	5	10	17.5	28	42	60	82.5	110	143	182	227.5	280	340	408	484.5	570	665	DİR YÖNDEKİ KOLON YA DA SATIR SAYISI
2	1	4	10	20	35	56	84	120	165	220	286	364	455	560	680	816	969	1140	1330	
3	1.5	6	15	30	52.5	84	126	180	247.5	330	429	546	682.5	840	1020	1224	1453.5	1710	1995	
4	2	8	20	40	70	112	168	240	330	440	572	728	910	1120	1360	1632	1938	2280	2660	
5	2.5	10	25	50	87.5	140	210	300	412.5	550	715	910	1137.5	1400	1700	2040	2422.5	2850	3325	
6	3	12	30	60	105	168	252	360	495	660	858	1092	1365	1680	2040	2448	2907	3420	3990	
7	3.5	14	35	70	122.5	196	294	420	577.5	770	1001	1274	1592.5	1960	2380	2856	3391.5	3990	4655	
8	4	16	40	80	140	224	336	480	660	880	1144	1456	1820	2240	2720	3264	3876	4560	5320	
9	4.5	18	45	90	157.5	252	378	540	742.5	996	1287	1638	2047.5	2520	3060	3672	4360.5	5130	5985	
10	5	20	50	100	175	280	420	600	825	1100	1430	1820	2275	2800	3400	4080	4845	5700	6650	
11	5.5	22	55	110	192.5	308	462	660	907.5	1210	1573	2002	2502.5	3080	3740	4488	5329.5	6270	7315	
12	6	24	60	120	210	336	504	720	990	1320	1716	2184	2730	3360	4080	4896	5814	6840	7980	
13	6.5	26	65	130	227.5	364	546	780	1072.5	1430	1859	2366	2957.5	3640	4420	5304	6298.5	7410	8645	
14	7	28	70	140	245	392	588	840	1155	1540	2002	2548	3185	3920	4760	5712	6783	7980	9310	
15	7.5	30	75	150	262.5	420	630	900	1237.5	1650	2145	2730	3412.5	4200	5100	6120	7267.5	8550	9975	
16	8	32	80	160	280	448	672	960	1320	1760	2288	2912	3640	4480	5440	6528	7752	9120	10640	
17	8.5	34	85	170	297.5	476	714	1020	1402.5	1870	2431	3094	3867.5	4760	5780	6936	8236.5	9690	11305	
18	9	36	90	180	315	504	756	1080	1485	1980	2574	3276	4095	5040	6120	7344	8721	10260	11970	
19	9.5	38	95	190	332.5	532	798	1140	1567.5	2090	2717	3458	4322.5	5320	6460	7752	9205.5	10830	12635	
20	10	40	100	200	350	560	840	1200	1650	2200	2860	3640	4550	5600	6800	8160	9690	11400	13300	

almabilir. Verilen örnekte, X eksen doğrultusundaki kolon sayısı, $n = 5$ 'tir. Çizelgede en üst satırda 5 ile gösterilen kolonun hemen altındaki 3 değeri A_n 'i verir. Buna karşın, X eksen doğrultusuna dik yöndeki (Y eksen doğrultusundaki) satır sayısı $m = 6$ 'dır. Çizelgede 5. kolon ile 6. satırın kesim noktasındaki 60 değeri B_n 'i verir. Benzer biçimde, Y eksen doğrultusundaki satır sayısı, $m = 6$ dir. Çizelgede en üst satırda 6 ile gösterilen kolonun hemen altındaki 3.5 değeri A_m 'yi verir. Buna karşın, Y eksen doğrultusuna dik yöndeki (X eksen doğrultusundaki) kolon sayısı $n = 5$ 'tir. Çizelgede 6. kolon ile 5. satırın kesim noktasındaki 87.5 değeri B_m 'yi verir. Sonuç olarak verilen örnek için;

$$M_x = \frac{249.70 - 3.0 \times 80.01}{60.0} = +0.161 \text{ m/30m}$$

$$M_y = \frac{268.08 - 3.5 \times 80.01}{87.5} = -0.137 \text{ m/30m}$$

Başka bir deyişle, tesviye düzlemi mira değerleri, X eksen doğrultusunda her 30 m de (1 birim uzunlukta) 0.161 m artacak, buna karşın, Y eksen doğrultusunda yine her 30 m de (1 birim uzunlukta) 0.137 m azalacaktır. Buna göre, tesviye düzlemi eğimleri, X eksen doğrultusunda;

$$M_x = \frac{0.161}{30} \times 100 = \%0.54$$

Y eksen doğrultusunda;

$$M_y = \frac{0.137}{30} \times 100 = \%0.46$$

biçiminde hesaplanır.

Sulama doğrultusunda ve dik yönde elde edilen bu eğim değerleri uygulanırsa, hesaplanan değerler göz önüne alınarak projelenebilir. Aksi durumda, sulama yöntemine göre öngörülen eğim değerleri dikkate alınır. Örneğin, X eksen doğrultusunda eğimin $\%0.2$ olması öngörülüyorsa, projeye;

$$M_x = \frac{0.2}{100} \times 30 = +0.060 \text{ m/30m}$$

alınarak devam edilmelidir. Ancak, doğal eğimi değiştirmek tesviye masraflarını arttırır.

5. aşama : Her istasyonun tesviye düzlemi mira değerleri bulunur. Bunun için önce orijinin tesviye düzlemi mira değeri hesaplanır ve sonra her istasyona ait tesviye düzlemi mira değerlerinin hesaplanmasına geçilir. Bu amaçla kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$H_a = H_c - x_c M_x - y_c M_y \quad (5.6)$$

$$H_{ij} = H_a + D_{ij} M_x + D_{ji} M_y \quad (5.7)$$

Bu eşitliklerde;

H_a = Orijinin tesviye düzlemi mira değeri, m.

H_{ij} = (i,j) istasyonu tesviye düzlemi mira değeri, m.

D_{ij} = j. kolonun Y eksenine uzaklığı, birim ve

D_{ji} = i. satırın X eksenine uzaklığı, birim'dir.

Verilen örnek için orijinin tesviye düzlemi mira değeri;

$$H_a = 2.627 - 2.86 \times 0.161 - 3.64 \times (-0.137) = 2.665 \text{ m}$$

(1,1) istasyonunun tesviye düzlemi mira değeri;

$$H_{1,1} = 2.665 + 1 \times 0.161 + 1 \times (-0.137) = 2.689 \text{ m}$$

(2,3) istasyonunun tesviye düzlemi mira değeri,

$$H_{2,3} = 2.665 + 3 \times 0.161 + 2 \times (-0.137) = 2.874 \text{ m}$$

(6,5) istasyonunun tesviye düzlemi mira değeri,

$$H_{6,5} = 2.665 + 5 \times 0.161 + 6 \times (-0.137) = 2.648 \text{ m}$$

Tüm istasyonlara ait tesviye düzlemi mira değerleri benzer biçimde mım ye kadar hesaplanır, cm ye kadar yuvarlatılır ve plan üzerinde doğal zemin mira değerlerinin altına yazılır (Şekil 5.5).

6. aşama : Her istasyondaki kazı ve dolgu miktarları hesaplanarak plan üzerine yazılır. Herhangi bir istasyonda, doğal zemin mira değeri, tesviye düzlemi mira değerinden küçükse, o istasyonda kazı, aksi durumda dolgu vardır. Örneğin;

(1,1) istasyonunda;

$$2.69 - 2.57 = 0.12 \text{ m} = 12 \text{ cm kazı (K 12)}$$

(1,4) istasyonunda;

$$3.21 - 3.17 = 0.04 \text{ m} = 4 \text{ cm dolgu (D 04)}$$

vardır. Herhangi bir istasyonda, doğal zemin ve tesviye düzlemi mira değerleri eşitse, o istasyona "doğal zemin" anlamında TZ yazılır. Diğer istasyonlar için hesaplamalar benzer biçimde yapılmış ve sonuçlar plan üzerine yazılmıştır (Şekil 5.5).

7. aşama : Toplam kazı ve dolgu hacimleri hesaplanır, kazı-dolgu oranı bulunur ve kazı-dolgu oranında dengeleme yapılır. Toplam kazı ve dolgu

hacimlerinin hesaplanmasında, herhangi bir istasyondaki m cinsinden kazı ya da dolgu derinliği, o istasyona ait birim alan değeri ile çarpılır ve elde edilen değerler toplanır. Daha sonra, toplam kazı yada dolgu derinliği, m^2 cinsinden birim alan ile çarpılır. Verilen örnek için;

$$\sum K = (0.12 \times 1 + 0.24 \times 1 + \dots + 0.14 \times 0.90) \times 900 = 1517.1 m^3$$

$$\sum D = (0.04 \times 1 + 0.05 \times 1 + \dots + 0.01 \times 1.35) \times 900 = 1498.3 m^3$$

$$\frac{\sum K}{\sum D} = \frac{1517.1}{1498.3} = 1.01$$

Tesviye projelerinde toplam kazı hacminin, toplam dolgu hacminden daha fazla olması istenir. Bunun nedeni, doğal olarak yerinde hesaplanan belirli hacimdeki toprak kazıldığında kabarmış sonucu hacmi artırır, buna karşın aynı toprak dolguya serildiğinde ve sıkıştırıldığında oluşan büzülme sonucu doğal hacimden daha az hacimde dolgu oluşturur. Uygulamada, toprak bünye sınıfına göre kazı-dolgu oranının Çizelge 5.4'te verilen sınırlar arasında olması istenir. Dolayısıyla ilk aşamada hesaplanan kazı-dolgu oranı yetersizdir ve kazı hacmini arttırmak için tesviye düzleminin düşürülmesi (ya da ilk hesaplamada kazı-dolgu oranı yüksek bulunursa kazı hacmini azaltmak için tesviye düzleminin yükseltilmesi) gerekmektedir. Tesviye düzleminin düşürüleceği (ya da yükseltileceği) miktar;

$$e = \frac{R \sum d - \sum k}{R_p + r + x} \quad (5.8)$$

eşitliği ile hesaplanır ve sonuç cm'ye yuvarlatılır. Eşitlikte;

- e = Tesviye düzleminin düşürüleceği (yada yükseltileceği) miktar, cm,
- R = İstenen kazı-dolgu oranı,
- $\sum d$ = Toplam dolgu derinliği, cm,
- $\sum k$ = Toplam kazı derinliği, cm,

Çizelge 5.4 Toprak bünyesine göre kazı-dolgu oranları

Toprak bünyesi	Kazı-dolgu oranı
Hafif	1.15 - 1.25
Orta	1.25 - 1.40
Orta-ağır	1.40 - 1.60
Ağır	1.50 - 1.80

- p = Dolgu istasyonları sayısı,
 r = Kazı istasyonları sayısı ve
 s = Doğal zemin istasyonları sayısıdır.

Verilen örnekteki tarla parselinde toprak bñnye sınıfı orta-ağır olsun. Bu durumda kazı-dolgu oranı 1.40 - 1.60 arasında, ortalama 1.50 olacaktır (Çizelge 5.4). Bunun yanında, istasyonların 11'inde dolgu, 17'sinde kazı ve 2'sinde doğal zemin söz konusudur. Gerekli hesaplamalar yapılırsa, tesviye düzleminin düşürüleceği miktar;

$$\sum d = 4 + 5 + \dots + 1 = 179 \text{ cm}$$

$$\sum k = 12 + 24 + \dots + 14 = 185 \text{ cm}$$

$$e = \frac{1.50 \times 179 - 185}{1.50 \times 11 + 17 + 2} = +2 \text{ cm}$$

olarak hesaplanır. Başka bir deyişle, tesviye düzlemi 2 cm düşürülecektir. Bu işlemi, Şekil 5.5'teki tesviye düzlemi mira değerleri 2 cm artırılarak yapılır ve her istasyondaki kazı ve dolgu miktarları yeniden hesaplanır. Göz önüne alınan örnek için dengelenmiş durumdaki tesviye düzlemi mira değerleri ile kazı ve dolgu miktarları Şekil 5.6'da verilmiştir. Eğer, e değeri eksi çıkarsa tesviye düzleminin yükseltileceği anlamını taşır.

2.07	2.01	2.98	2.21	2.94	0.47
2.71	2.87	2.03	2.55	2.14	
8.14	8.24	8.05	7.92	8.41	
2.40	2.43	2.02	1.02	2.00	0.47
2.57	2.71	2.99	2.06	1.22	
2.02	2.99	8.09	8.04	8.22	
2.42	2.76	1.24	2.21	2.45	0.47
2.44	2.82	2.76	2.95	2.08	
8.02	8.15	8.48	8.28	8.37	
2.29	2.30	1.71	2.75	2.04	0.47
2.20	2.44	2.03	2.78	2.04	
8.01	8.15	8.09	8.21	8.02	
2.10	2.17	1.54	1.09	0.67	0.47
2.15	2.22	2.45	2.04	1.61	
8.03	8.15	8.09	8.02	8.14	
1.88	2.15	2.34	2.43	2.21	0.90
2.02	2.12	2.18	2.21	2.47	
8.14	8.04	8.01	8.04	8.14	
2.38	2.42	2.38	2.31		

Şekil 5.6 Tesviye yapılacak arazinin dengelenmiş durumdaki kazı ve dolgu miktarları

San düzenleme için toplam kazı ve dolgu hacimleri ile kazı-dolgu oranı;

$$\sum K = (0,14 \times 1 + 0,26 \times 1 + \dots + 0,16 \times 0,90) \times 900 = 1873,6 \text{ m}^3$$

$$\sum D = (0,02 \times 1 + 0,03 \times 1 + \dots + 0,06 \times 1) \times 900 = 1321,1 \text{ m}^3$$

$$\frac{\sum K}{\sum D} = \frac{1873,6}{1321,1} = 1,42$$

bulunur ki elde edilen kazı-dolgu oranı 1,40 ile 1,60 arasında olduğundan uygundur.

8. aşama : Birim alana düşen kazı miktarı hesaplanır. Verilen örnekte toplam alan;

$$\sum S = 29,65 \text{ birim} = 29,65 \times 900 = 26685 \text{ m}^2 = 26,7 \text{ da}$$

ve birim alan kazı miktarı;

$$\frac{\sum K}{\sum S} = \frac{1873,6}{26,7} = 70,2 \text{ m}^3/\text{da}$$

bulunur. Görüleceği üzere tesviye tipi orta tesviyedir.

9. aşama : Hacim dağıtım planı hazırlanır. Bu planda yalnızca, istasyonlardaki kazı ve dolgu miktarları gösterilir, kazı alanları kırmızı ve dolgu alanları mavi ile taranır. Burada amaç, kazı materyalinin alındığı ve taşındığı yer ve yön hakkında uygulayıcıya bilgi veren bir plan hazırlamaktır. Verilen örneğe ilişkin hacim dağıtım planı Şekil 5.7'de görülmektedir.

5.4.7. En Küçük Kareler Tesviye Projelene Yönteminin Düzgün Olmayan Şekilli Araziye Uygulanması

En küçük kareler tesviye projelene yöntemi, prensip olarak dikdörtgen (kare) şekilli araziye uygulanır. Bu tip arazide oldukça sağlıklı sonuçlar vermektedir. Ancak, yöntemin düzgün olmayan şekilli araziye de uygulanması mümkündür. Bu durumda, arazide en çok istasyonu kapsayacak en büyük dikdörtgen (kare) seçilir, tesviye düzlemi eğimleri yalnızca bu dikdörtgen içindeki istasyonların doğal zemin mira değerleri dikkate alınarak saptanır. Bundan sonra, tüm arazideki tesviye düzlemi mira değerleri bu eğim derecelerine göre belirlenir.

Şekil 5.8'de verilen tarla parseli örnek olarak alırsak, en çok istasyonu kapsayan en büyük dikdörtgen, köşelerinde (1,1), (1,4), (5,1) ve (5,4) istasyonlarının bulunduğu dikdörtgendir. Projelene aşamalarında, tesviye düzlemi eğimleri bulununcaya kadar, başka bir deyişle, dik koordinat sisteminin oluşturulması, ağırlık merkezi koordinatlarının bulunması, ağırlık merkezinin



Şekil 5.7 Hacim dağıtım planı



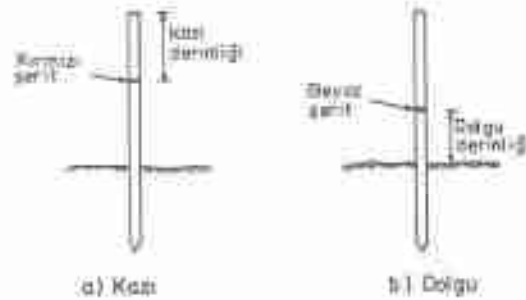
Şekil 5.8 Düzensiz olmayan şekilli örnek tarla parseli

tesviye düzlemi mira değerinin belirlenmesi ve tesviye düzlemi eğimlerinin hesaplanmasını kapsayan ilk 4 aşama işlemleri, yalnızca söz konusu dikdörtgen alan içindeki istasyonların doğal zemin mira değerleri ve birim alan değerleri dikkate alınarak yapılır. Daha sonraki aşamaları kapsayan işlemler yapılırken arazideki tüm istasyonlar dikkate alınır. Ancak, arazinin yalnızca belirli kesimindeki doğal zemin mira değerlerine göre tesviye düzlemi eğimleri saptandığı için bu değerler doğal arazi eğimini yansıtmayabilmekte ve dolayısıyla sağlıklı sonuç elde edilmeyebilmektedir.

5.4.8. Arazinin Tesviye Edilmesi

Tesviye edilecek araziye ilişkin proje tamamlandıktan sonra her istasyon için elde edilen kazı ve dolgu miktarları istasyon kazıkları üzerinde işaretlenir. Bunun için, kazı yapılacak istasyonlarda, kazığın üstten başlayarak kazı derinliği kadar aşağısına bir kırmızı şerit bağlanır (Şekil 5.9 a) ve yanına kazı derinliği yazılır. Dolgu yapılacak istasyonlarda ise beyaz ya da mavi şerit kullanılır. Şerit bu kez doğal zeminden başlayarak dolgu derinliği kadar kazığın yukarısına bağlanır (Şekil 5.9 b) ve kazığın yanına dolgu derinliği yazılır. Kazı ve dolgunun olmadığı istasyonlarda (TZ), kazığa herhangi bir şerit bağlanmaz. Yalnızca kazığın yanına doğal zemin olduğu yazılır.

Istasyon kazıklarının işaretlenmesi tamamlandıktan sonra, kaba tesviyenin yapılması için ağır tesviye makineleri araziye girer. Bu amaçla dozer ya da skreyperlerden yararlanılır. Bir tarla parselinin kaba tesviyesinde birden fazla makina çalıştırılabilir. Tesviye makineleri hacim dağıtım planına göre, kazı alanındaki toprağı projede öngörülen miktarda kazarak dolgu alanlarına serer. Makinalar genellikle kazıklara paralel yönde hareket eder. Kaba tesviye yapılırken, tesviyenin bittiği yerlerde bir nivelman aleti yardımıyla eğim devamlı kontrol edilir.



Şekil 5.9 İstasyon kazıklarının işaretlenmesi

Kaba tesviye yapıldıktan sonra istasyonlardaki mira değerleri tekrar okunur ve proje değerleri ile karşılaştırılır. İzin verilenin dışında bir hata yok ise istasyon kazıkları sökülür. Böylece kaba tesviye tamamlanmış olur. Eğer bazı istasyonlarda izin verilenin dışında hata olduğu saptanırsa, bu istasyonlardaki hata tesviye makineleri ile giderilir.

Bundan sonra ince tesviye işlemine geçilir. Bu işlem, lentpleyn ya da greyder ile yapılır. İnce tesviyede amaç, kaba tesviye sonrasında arazi yüzeyinde kalan küçük düzensizlikleri gidermektir. İnce tesviyeyi yapacak makina, kaba tesviye makinalarının hareket yönüne çapraz olacak şekilde hareket eder (Şekil 5.10).

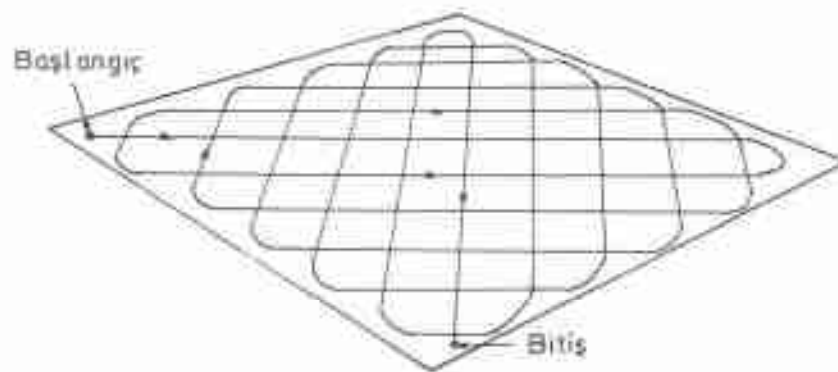
İnce tesviye tamamlandıktan sonra, tüm arazide tekrar bir eğim kontrolü yapılır ve hatalı yer var ise tesviye makinası ile giderilir.

İzin verilen hata sınırı, kaba tesviyede ± 4 cm, ince tesviyede ise ± 2 cm'dir.

5.4.9. Tesviyenin Yıllık Bakımı

Arazinin tesviyesi genellikle büyük yatırımı gerektirir. Bu yatırımdan beklenen yararın sağlanabilmesi için tesviyeden sonraki düzgün arazi yüzeyi korunmalıdır. Bu da özel işlemler ve yıllık bakım ile sağlanır.

Eğer arazide fazla miktarda kazıyı gerektiren tesviye yapılmışsa, ilk yıl yeşil gübre olabilecek baklagillerin ekilmesi ve sonra bunların toprağa karıştırılarak organik materyalin artırılması büyük yarar sağlar. Kazı alanlarına fazla miktarda çiftlik gübresinin karıştırılması da aynı görevi yapar.



Şekil 5.10 İnce tesviye malcınlarının en uygun hareket yönü

Tesviye sonrası ilk toprak işleme ve sulamalar sonucunda, kazılan alanların kabarması ve dolgu alanlarının oturması, böylece de arazi yüzeyinde küçük düzensizliklerin meydana gelmesi sorunuyla karşılaşılır. Bu nedenle tesviye sonrasında ilk yıl, tek yıllık bitkilerin ekilmesi önerilmektedir. Hasattan sonra yapılacak bir ince tesviye ile bu düzensizlikler giderilir. Yine her yıl küçük çapta da olsa ince tesviyenin yapılması gerekir.

5.5. TARLA İÇİ SU DAĞITIM SİSTEMLERİ

Önceki bölümlerde de değinildiği gibi, tarla içi su dağıtım sistemleri (tarla sulama sistemleri, çiftlik sulama sistemleri, tersiyer altı sulama sistemleri) bir yada birkaç tarımsal işletmeye hizmet götüren küçük kapasiteli sistemlerdir. Bu sistemlere su, küçük akarsu, gölet, rezervuar, kuyu, tersiyer kanal üzerindeki priz yada basınçlı boru ağı üzerindeki hidrant ve vanadan alınabilmektedir.

Tarla içi su dağıtım sistemlerini Şekil 5.11'de görüldüğü gibi açık kanal sistemleri ve basınçlı boru sistemleri biçiminde sınıflandırmak mümkündür. Şekildeki açık kanal sistemleri ile düşük basınçlı boru sistemleri yüzey sulama yöntemleri söz konusu olduğunda kullanılır. Bu nedenle, bu bölümde bu sistemler üzerinde durulacaktır. Yüksek basınçlı boru sistemlerini, yağmurlama, damla, ağaç altı mikro yağmurlama vb. sistemler oluşturur. Bu sistemler ilerideki bölümlerde değinilen sulama yöntemleri içerisinde açıklanacaktır.

Yüzey sulama yöntemlerinin uygulandığı koşullarda açık kanal ya da düşük basınçlı sulama sistemlerinden birine karar verirken şu özellikler göz önüne alınır.

- 1) Sızma kayıpları en az düzeyde tutulmalıdır.
- 2) Sistemin bakımı ve yabancı ot kontrolü kolay olmalıdır.
- 3) İstenilen zamanda ve istenilen noktaya yeter miktarda suyu iletecek biçimde işletmeye uygun olmalıdır.
- 4) İlk yatırım ve işletme masrafları düşük olmalıdır.



Şekil 5.11: Tarla içi su dağıtım sistemlerinin sınıflandırılması

5.5.1. Açık Kanal Sistemleri

Yüzey sulama yöntemlerinin kullanıldığı tarım işletmelerinde, tarla içi su dağıtım sistemlerinde yaygın olarak açık kanallardan yararlanılmaktadır. Açık kanallar toprak ya da kaplamalı kanal biçiminde olabilmektedir.

Toprak kanallar

Tarla içi su dağıtım sistemlerinde toprak kanallara tarla hendekleri adı da verilmektedir. Yapımları kolay ve ilk tesis masrafları çok düşüktür. Kanaldan olan sızma kayıpları fazladır. Sızma kayıplarını etkileyen en önemli faktör toprağın geçirgenliğidir. Hafif bünyeli kobbeyonsuz topraklarda sızma kayıpları yüksek, ağır bünyeli topraklarda ise düşüktür. Bazı killi topraklarda büzülme nedeniyle oluşan çatlaklar sızma kayıplarını artırabilir. Tarla içi su dağıtım sistemlerindeki toprak kanallarda sızma kayıpları, kaynaktan sapıtılan suyun genellikle % 25 - % 35'i kadar olmaktadır. Çakıllı ya da kumlu topraklarda bu miktar % 50'yi aşabilmektedir. Suyun fazla yızması, kanal güzergahı boyunca taban suyunun yükselmesine ve tuzluluk sorununa neden olabilmektedir.

Toprak kanallarda, şevlerin otlanması, yer yer oyulmalar ve sediment birikmelerinin meydana gelmesi, kanal şevlerini bozulabilmesi nedenleri ile çok sık bakım gerekir. Bu da işletme masraflarını önemli oranda artırır.

Bunun yanında, özellikle erozyona uygun topraklarda kanal stabilitesini sağlamak amacıyla şevlerin otlandırılması yoluna gidilebilir. Ancak bu koşulda, kanal kapasitesini düşürmemek için otların çok sık biçilmesi gerekir. Dolayısıyla işçilik masrafları artar.

Toprak kanallar non derece ucuz olmasına karşın değinilen sakıncaları nedeniyle, bu tip kanalların yapımına, kaplamalı kanallar için gereken ilk yatırım masrafları karşılanamadığında geçici olarak hayvurulur. Toprak kanalların devamlı olabilmesi için kanal güzergahında toprağın stabil, bunun yanında uygulanacak olan tava, uzun tava ve karık sulama yöntemlerinde su uygulama randımanının yüksek (en az % 60) olması gerekir. Aksi durumda, toplam sulama randımanı (çiftlik sulama randımanı) çok düşük olur.

Kaplamalı kanallar

Kanalların kaplanması amaç, oyuntuya karşı mukavemeti arttırmak ve sızma kayıplarını azaltmaktır. Kaplama bitki örtüsüyle, geçirimsiz toprakla, asfaltla yada betonla yapılabilmektedir.

Kanal şevlerinin otlandırılması oyuntuya karşı mukavemeti arttırmasına karşın sızma kayıplarını önleyemez. Hatta sızma kayıplarında belirli oranda artış olabilir.

Geçirimsiz toprakla kaplama oyuntuya karşı mukavemeti çok az artırır

ve sızma kayıplarını bir miktar önler. Kaplama toprağı olarak genellikle kil, kil-kum karışımı ve kil - çakıl karışımı kullanılmaktadır.

Kanalların asfalt ile kaplanması, oyuntuya karşı mukavemeti fazla arttırmaz, ancak sızma kayıplarını önemli ölçüde önler. Ayrıca, şevlerin otlanması sorunu da azalır.

Kanallar yaygın olarak betonla kaplanmaktadır. Beton kanallarda hem oyuntuya karşı mukavemet son derece yüksektir, hem de sızma kayıpları oldukça düşüktür. Bunların yanında, otlanma sorunu büyük ölçüde ortadan kalkar ve kanalın su taşıma kapasitesi artar. İlk tesis masrafları toprak kanallara oranla son derece yüksek olmaması karşın, servis ömürleri uzun ve bakım onarım masrafları düşük olduğundan yıllık toplam masraflar açısından genellikle daha ekonomiktir.

Özellikle drenajı iyi olmayan güzergahlarda ya da soğuk yörelerde beton kaplama kanallar tercih edilmelidir. Bu koşullarda genellikle kaplama kalınlığı artırılır.

5.5.2. Açık Kanalların Boyutlandırılması

Tarla içi su dağıtım sistemlerinde toprak kanallar trapez (yamuk) kesitli, beton kanallar ise genellikle trapez kesitli, kanal güzergahının dar olduğu yada drenajın iyi olmadığı koşullarda ise çoğunlukla dikdörtgen kesitli yapılmaktadır. Dikdörtgen kesitli kanallar beton olabildiği gibi, özellikle kaya zeminden geçen güzergahlarda kargirden yapılabilir. Toprak ve beton trapez kanallar ile beton ve kargir dikdörtgen kanalların kesitleri Şekil 5.12'de görülmektedir.

Kanal kapasitesi, sulama mevsimi boyunca en yüksek sulama suyu ihtiyacına göre belirlenir. Yıkama suyu ve diğer ihtiyaçlar varsa kanal kapasitesi buna göre artırılır.

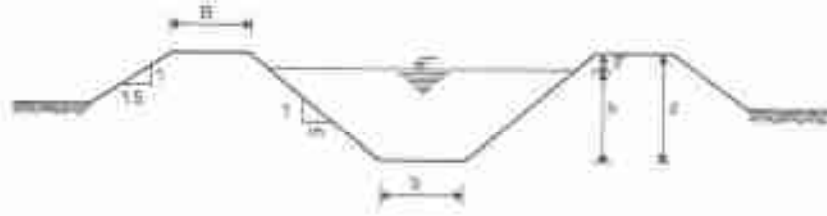
Tarla içi su dağıtım sistemlerindeki kanallarda, banket genişliği (B) en az 0.50 m, kanal tabanı (b) en az 0.25 m, kanal yüksekliği (d) en az 0.30 m, hava payı (F) toprak kanallarda en az 0.10 m ve beton kanallarda en az 0.075 m olmalıdır. Hava payı ayrıca;

$$F \geq 0.20h \quad (5.9)$$

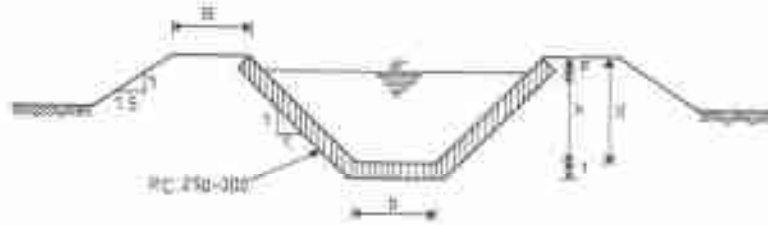
koşulunu sağlamalıdır.

Banket şev eğimi 1/1.5, kanal şev eğimi (1/m) ise toprak kanallarda yüksek stabilite koşullarında 1/1, düşük stabilite koşullarında yüksekliği 0.50 m'yi geçmeyen küçük kapasiteli toprak kanallarda 1/1.25, büyük kapasiteli toprak kanallarda 1/1.5 - 1/2, trapez kesitli beton kanallarda 1/1 alınır.

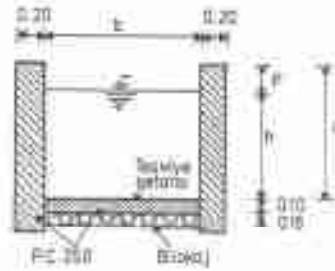
Silt birikimini engelleme açısından kanal taban eğimi en az % 0.04 ya da ortalama akış hızı en az 0.30 m/s olmalıdır. Tarla parsellerine suyun sifon ya da



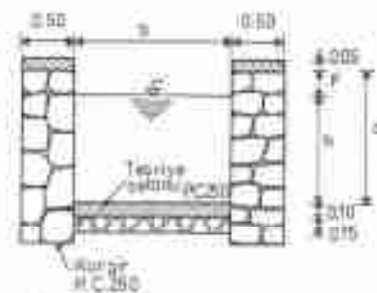
a) Toprak kanal



b) Trapez kesitli beton kanal



c) Dikdörtgen kesitli beton kanal.



d) Dikdörtgen kesitli kargir kanal.

Kanal tabanı	: b > 0.25 m
Kanal yüksekliği	: d > 0.30 m
Yana duvar	: F > E.25 m
	F > 0.10 m (toprak kanal)
	F > 0.075 m (beton kanal)
Betonsuz genişliği	: b > 0.50 m
Beton kaplama kalınlığı	: t = 0.08 m (PC 300)
	t = 0.10 m (PC 250)

Şekil 5.12. Trapez ve dikdörtgen kesitli kanallar

arifislerle kolaylıkla alınabilmesi için tarla başı kanalı taban eğimi % 0.2'yi geçmemeli, bunun yanında, kanaldaki su yüzeyi tarla yüzeyinden, tava ve uzun tava sulama yönteminde en az 0.30 m, karık sulama yönteminde en az 0.15 m yüksek olmalıdır.

Toprak kanallarda oyuntuyu engellemek için akış hızı Çizelge 5.5'te verilen değerleri geçmemeli, bunun yanında aşağıdaki eşitlikle hesaplanacak Froud sayısı 1'den az olmalıdır. Beton kanallarda akış hızı 2.4 m/s kadar olabilir.

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (5.10)$$

Eyittikte;

F_r = Froud sayısı,

V = Ortalama akış hızı, m/s,

g = Yerçekimi ivmesi, m/s^2 ve

h = Kanaldaki su yüksekliği, m'dir.

Kanalların boyutlandırılması ve analizinde kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir:

Trapez kanallarda akan suyun kesit alanı ve ıslak çevre;

$$A = (b + mh)h \quad (5.11)$$

$$P = b + 2h\sqrt{1+m^2} \quad (5.12)$$

Dikdörtgen kanallarda akan suyun kesit alanı ve ıslak çevre;

$$A = bh \quad (5.13)$$

$$P = b + 2h \quad (5.14)$$

Çizelge 5.5 Toprak kanallarda maksimum akış hızları

Toprak tipi	Maksimum akış hızı (m/s)
Çok ince kum	0.45
Kumlu tın	0.55
Siltli tın, tın	0.60
Kil, ince çakıl	0.75
Kolloidal sert kil	1.10
Orta ve kaba çakıl	1.20

Hidrolik yarıçap;

$$R = \frac{A}{P} \quad (5.15)$$

Ortalama akış hızı ve debi (Manning eşitliği);

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (5.16)$$

$$Q = AV = A \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (5.17)$$

Kanalların kesit optimum olacak biçimde boyutlandırılmasında kullanılan eşitlikler ise şöyledir.

Hidrolik yarıçap - su derinliği ilişkisi;

$$R = \frac{h}{2} \quad (5.18)$$

Kanal taban genişliği - su derinliği ilişkisi;

Trapez kanallarda;

$$b = 2h(\sqrt{1+m^2} - m) \quad (5.19)$$

Dikdörtgen kanallarda;

$$b = 2h \quad (5.20)$$

Bu eşitliklerde;

A = Akın suyun kesit alanı, m²,

b = Kanal taban genişliği, m,

m = Kanal şev eğiminin paydası,

h = Kanaldaki su yüksekliği, m,

P = İslak çevre, m,

R = Hidrolik yarıçap, m,

V = Ortalama akış hızı, m/s,

n = Manning pürüzlülük katsayısı (Ortalama olarak toprak kanallarda 0.025, beton kanallarda 0.016 alınabilir),

S = Hidrolik eğim (Kanal taban eğimine eşit alınabilir), m/m ve

Q = Kanal debisi, m³/s,

değerlerini göstermektedir.

Örnekler :

1) Taban genişliği $b = 0.40$ m, su yüksekliği $h = 0.60$ m, yev eğimi $1/m = 1/1.25$ ve taban eğimi $S = \% 0.06$ olan toprak kanalda iletilen suyun hızını ve debisini bulunuz.

Çözüm :

- Akan suyun kesit alanı;

$$A = (b + mh)h = (0.40 + 1.25 \times 0.60) \times 0.60 = 0.69 \text{ m}^2$$

- Islak çevre;

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$$
$$= 0.40 + 2 \times 0.60 \times \sqrt{1 + (1.25)^2} = 2.32 \text{ m}$$

- Hidrolik yarıçap;

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.69}{2.32} = 0.297 \text{ m}$$

- Ortalama akış hızı;

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$
$$= \frac{1}{0.025} \times (0.297)^{2/3} \times (0.0006)^{1/2} = 0.44 \text{ m/s}$$

- Debi;

$$Q = AV = 0.69 \times 0.44 = 0.3 \text{ m}^3 / \text{s} = 300 \text{ L/s}$$

2) Trapez kesitli beton kanalın minimum kesitte ve kanal taban eğiminin $\% 0.1$ olması koşulunda ileteceği debiyi bulunuz.

Çözüm :

Minimum kesit söz konusu olduğundan kanal taban genişliği $b = 0.25$ m ve kanal yüksekliği $d = 0.30$ m'dir. Beton kanallarda en az hava payı $F = 0.075$ m alındığından kanaldaki su yüksekliği en fazla $h = 0.225$ m olacaktır. Bunun yanında beton kanallarda yev eğimi $1/m = 1/1$ ve Manning pürüzlülük katsayısı $n = 0.016$ 'dır.

- Akan suyun kesit alanı;

$$A = (b + mh)h = (0.25 + 1 \times 0.225) \times 0.225 = 0.107 \text{ m}^2$$

- Islak çevre;

$$P = b + 2h\sqrt{1+m^2} = 0.25 + 2 \times 0.225 \times \sqrt{1+1^2} = 0.886m$$

- Hidrolik yarıçap;

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.107}{0.886} = 0.121m$$

- Debi;

$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$
$$= 0.107 \times \frac{1}{0.016} \times (0.121)^{2/3} \times (0.001)^{1/2} = 0.052m^3/s = 52L/s$$

Tarla içi su dağıtım sistemlerinde açık kanallar boyutlandırılırken önce minimum kesitte iletilecek debi hesaplanmalıdır. Eğer kanal kapasitesi bu debi değerinden küçükse kanal boyutları $b = 0.25$ m ve $d = 0.30$ m alınır. Aksi durumda kesit optimum olacak biçimde boyutlandırma yapılır. Bu örnek için $Q = 52$ L/s'ye kadar olan tüm kanal kapasitelerinde $b = 0.25$ m ve $d = 0.30$ m olacaktır.

3) Kapasitesi $Q = 200$ L/s, yev eğimi $1/m = 1/1.5$ ve taban eğimi $S = \%$ 0.2 olan toprak kanalı boyutlandırınız.

Cözüm :

- Kanaldaki su yüksekliği;

$$b = 2h(\sqrt{1+m^2} - m) = 2h(\sqrt{1+(1.5)^2} - 1.5) = 0.606h$$

$$A = (b + mh)h = (0.606h + 1.5h)h = 2.106h^2$$

$$Q = AV = A \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$R = \frac{h}{2}$$

$$0.200 = 2.106h^2 \times \frac{1}{0.025} \times \left(\frac{h}{2}\right)^{2/3} \times (0.002)^{1/2}$$

$$h^{8/3} = \frac{0.200}{2.373} = 0.084$$

$$h = (0.084)^{3/8} = 0.40 \text{ m}$$

- Kanal taban genişliği;

$$b = 0.606h = 0.606 \times 0.40 = 0.24 \text{ m}$$

Kanal taban genişliği, minimum değer olan $b=0.25$ m alınır.

- Hava payı;

$$F \geq 0.10 \text{ m}$$

$$F \geq 0.20h \geq 0.20 \times 0.40 \geq 0.08 \text{ m}$$

Burada hava payı, $F = 0.10$ m alınır.

- Kanal yüksekliği;

$$d = h + F = 0.40 + 0.10 = 0.50 \text{ m}$$

- Ortalama akış hızı;

$$A = 2.106h^2 = 2.106 \times (0.40)^2 = 0.337 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.200}{0.337} = 0.59 \text{ m/s}$$

Ortalama akış hızı, $V > 0.50$ m/s olduğundan uygundur.

- Froud sayısı;

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gh}} = \frac{0.59}{\sqrt{9.81 \times 0.40}} = 0.3$$

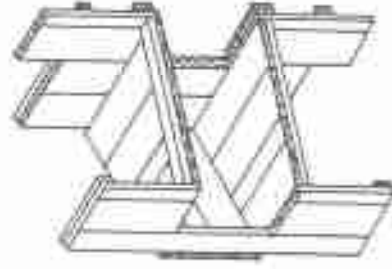
Froud sayısı, $F_r < 1$ olduğundan oyulma açısından uygundur.

5.5.3. Kontrol Yapıları

Yüzeysel sulama yöntemlerinde işçilik masrafları yüksek olduğundan, sulamayı kolaylaştırmak ve işçilik masraflarını belirli oranda azaltmak için kanallar üzerinde, su ayırma yapıları, düzüm tesisleri, şişirme savakları, prizler gibi kontrol yapılarına ihtiyaç vardır. Açık kanallar üzerinde inşa edilen kontrol yapılarından bazıları Şekil 5.13'te görülmektedir.



Ahsap su ayırma yapısı



Ahsap düğüm tesisi (süt)



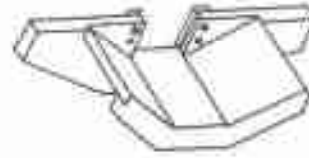
Betón düğüm tesisi



Borulu düğüm tesisi



Ahsap sığırma sarığı



Betón tarlabası prizi



Borulu tarlabası prizi

Şekil 5.13 Toprak kanallar üzerindeki kontrol yapıları

Su ayırma yapıları, suyun belirli oranlarda iki ya da daha fazla kısma ayrılmasında kullanılır. Genellikle, ana kanaldan tarla başı kanalına su alınması amacıyla inşa edilir. Üzerinde, serbest yada batık akışlı orifis biçiminde çalışan kapaklar bulunur. Bu kapaklarla kanallara su alınması denetlendiği gibi suyun debisi de ölçülebilir. Su ayırma yapıları, ahşap yada betondan yapılırlar.

Düşüm tesisleri yada şütler, eğimi fazla olan kanallın taban eğimini düzeltmek amacıyla yapılırlar. Ahşap, beton yada borulu olabilir.

Şişirme savakları, suyun bir kanaldan diğerine yada doğrudan tarla parseline alınmasında su yüzeyinin yükseltilmesi amacıyla yapılırlar.

Tarla başı prizleri, suyun tarla başı kanalından tarla parsellerine alınmasında kullanılır.

Bunların yanında, özellikle suyun kaynaktan tarla parsellerine iletilmesi ve dağıtılması sırasında kanallar üzerine yol geçitleri, menfezler, akedükler ve ters sifonlar gibi yapılar da inşa edilirler.

5.5.4. Düşük Basınçlı Boru Sistemleri

Yüzey sulama yöntemlerinin uygulandığı yerlerde, topografik koşullara bağlı olarak, suyun kaynaktan tarla parsellerine kadar iletilmesi ve dağıtılması açık kanal sistemleri yerine yüzeye serili ya da gömülü düşük basınçlı boru sistemleri ile yapılabilir. Düşük basınçlı boru sistemlerinin açık kanal sistemlerine olan üstünlükleri şöylece sıralanabilir.

1) Sistem basınçlı olduğundan su bayır yukarı eğimde iletilir. Açık kanallarda olduğu gibi tesviye eğrilerini izleme zorunluluğu yoktur. Böylece, su kaynağından tarla parsellerine en kısa yoldan su iletimi ve dağıtımı yapılabilir ve yüksek arazi kısımları sulamaya açılabilir.

2) Uygun malzeme ve iyi işletme koşullarında boru hatlarında sızma kayıpları meydana gelmez, su iletim verimliliği % 100'dür. Böylece sulama verimliliği artar.

3) Boru hatları gömülü olduğunda, güzergah üzerindeki alanda tarım yapılabilir. Yüzeyde olduğunda ise borular açık kanallara oranla çok az yer kapladıklarından ve gerektiğinde bitki sıraları arasında döşenebileceğinden tarım dışı alan son derece azdır.

4) Daha kontrollü bir su dağıtımı söz konusudur. Tarla parsellerine su daha kolaylıkla ve istenen miktarda alınır.

5) Bakım ve onarım daha kolaydır ve işletme masrafları özellikle toprak kanallara oranla son derece düşüktür.

Bunların yanında, açık kanal sistemlerine oranla düşük basınçlı boru

sistemlerinin bazı dezavantajları da vardır. Bu dezavantajlar şöylece sıralanabilir.

1) İlk tesis masrafları oldukça yüksektir. Özellikle sistem kapasitesi yüksek olduğunda (örneğin 100 L/s'nin üzerinde) bu sistemler ekonomik olmayabilmektedir.

2) Su kaynağının fazla miktarda sediment taşınması koşulunda, sedimentin özellikle gömülü boru hatlarında birikmesi ve su iletim kapasitesinin düşmesi sorunuyla karşılaşılır. Bu nedenle, değişilen koşullarda tercih edilmezler. Ayrıca, aslı maddeleri ve yüzücü cisimlerin sisteme girmesini engellemek için özel yapılara gerek vardır.

3) Gömülü boru hatları sabit sistem niteliğindedir. Bu özellik, devamlı ve sabit bir tarım sisteminin uygulanmasını gerektirir. Bir tarım sisteminden diğerine geçiş için yeterli esnekliğe sahip değildir.

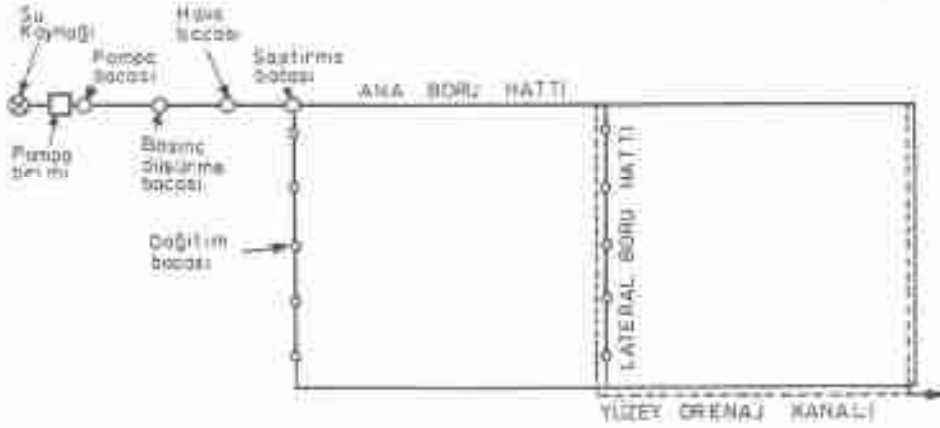
Sistem unsurları

Düşük basınçlı boru sistemleri genellikle toprak altına gömülürler. Toprak yüzeyine serili olanları çoğunlukla küçük işletmelerde kullanılır ve oldukça basit sistemlerdir. Toprak yüzeyine serili sistemler, su iletimi ve dağıtımını sağlayan boru hatları ve suyun tarla parsellerine alınmasında kullanılan vanalardan oluşur. Yüzeye serili boru hatlarında genellikle, sert plastik borular ya da esnek hortumlar kullanılır. Çoğunlukla, boru hatlarının bir konumdan diğerine taşındığı portatif sistem biçiminde oluşturulur.

Uygulamada yaygın olarak gömülü sistemler kullanıldığından burada bu sistemler üzerinde durulacaktır. Düşük basınçlı gömülü boru sistemi unsurları Şekil 5.14'te şematik olarak gösterilmiş ve sistem unsurlarını kapsayan bir örnek Şekil 5.15'te verilmiştir. Bu şekillerden izleneceği gibi, sistem unsurlarını, sırasıyla, iletim unsurları (boru hatları), kontrol unsurları ve dağıtım unsurları olmak üzere üç grupta toplamak mümkündür.



Şekil 5.14 Düşük basınçlı gömülü boru sistemi unsurları



Şekil 5.15 Düşük basınçlı gömülü boru sistemi

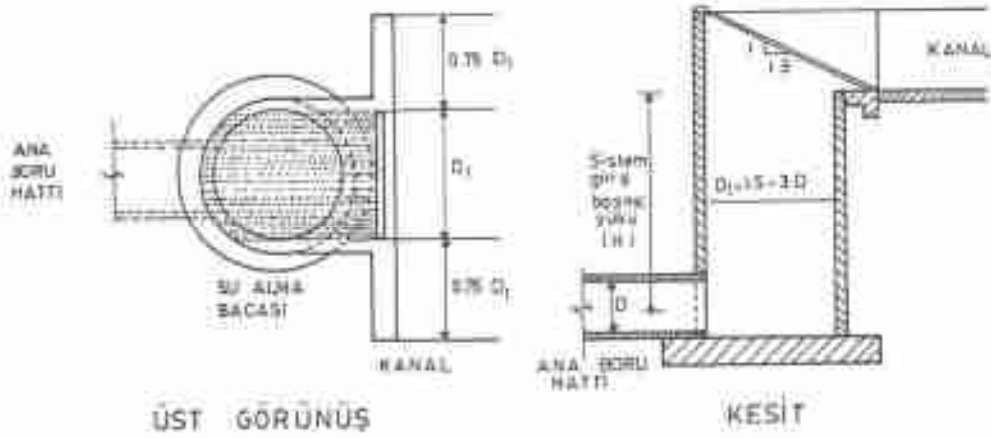
Boru hatları :

Suyun kaynaktan alınıp tarla parsellerine kadar iletilmesi ve dağıtılması amacıyla döşenirler. Genellikle, en az 2.5 atm işletme basınçlı beton, AÇB (asbestli çimento boru) ya da sert PVC (polivinilklorit) borular kullanılır. Ana boru hattı ve lateral boru hatlarından oluşur. Lateral boru hatları tarla başına döşenir ve üzerinde tarla parsellerine su alınan dağıtım bacaları bulunur. Ana boru hattı suyu kaynaktan lateral boru hatlarına iletir. Boru hatları, dondan etkilenmeyecek toprak derinliğine gömülür. Boru çapları genellikle 150 - 600 mm arasında değişir ve bu değer iletilecek su miktarına göre saptanır.

Su alma bacaları :

Su alma bacaları, suyun sisteme girdiği yere düşey doğrultuda yerleştirilen beton borulardan ibarettir. Gerekli işletme basıncının yerçekimi yada pompa birimi ile sağlanması koşullarına göre farklılık gösterir.

Su kaynağı, istenen işletme basıncını sağlayacak kadar yüksekte ise, Şekil 5.16'dan izleneceği gibi, su kaynaktan bir kanal ile getirilir ve su alma bacası aracılığıyla sisteme verilir. Yüzücü cisimlerin sisteme girişini engellemek amacıyla baca üzerine 1/1.5 eğimde ızgara yerleştirilir. Baca çapı (D_1), ana boru çapının (D) 1.5-3 katı olacak ve ortalama akış hızı 0.6 m/s yi geçmeyecek biçimde seçilir. Bacaya su ileten kanalın tabanı baca çapına eşit ve üst genişliği baca çapının 2.5 katı kadar olmalıdır. Baca yüksekliği, kanal tabanı ile ana boru hattı merkezi arasındaki düşey mesafe sistem giriş basıncı yüküne (H) eşit olacak biçimde saptanmalıdır.

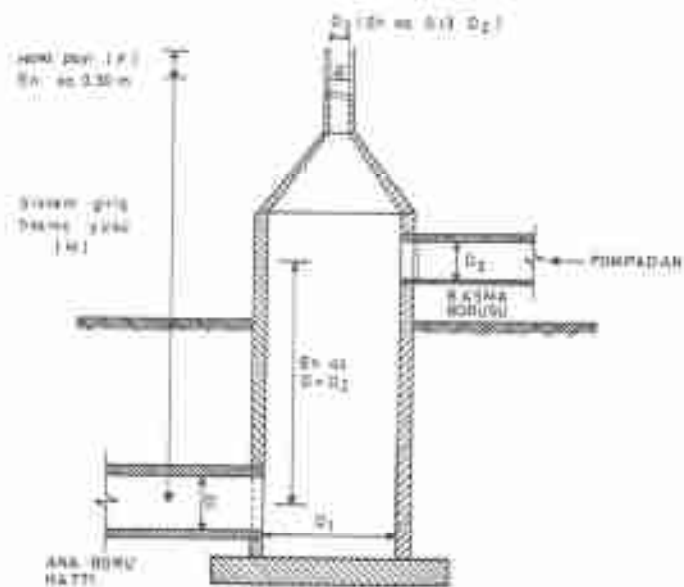


Şekil 5.16: Suyun kanaldan ana boru hattına alınmasında kullanılan baca

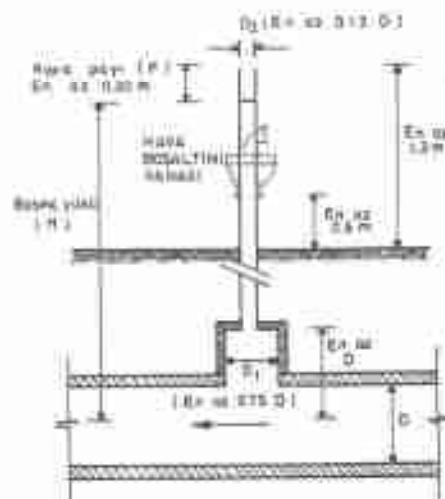
Su kaynağı, istenen işletme basıncını sağlayacak kadar yüksekte değilse, su kaynağından bir pompa birimi aracılığıyla alınır. Bu koşulda suyun ana boru hattına verilmesinde kullanılan su alma bacasına pompa bacası adı verilir (Şekil 5.17). Pompa bacası çapı (D_1), akış hızı 0.6 m/s 'yi geçmeyecek biçimde seçilir. Pompa basma borusu girişinden itibaren çap daraltılır. Bu kesimde baca çapı (D_2), ana boru hattı çapının (D) en az 0.13 'ü olacak ve akış hızı 3 m/s yi geçmeyecek biçimde belirlenir. Basma borusu ile ana boru merkezleri arasındaki düzey mesafe, en az ana boru hattı çapı (D) ile basma borusu çapı (D_2) toplamı kadar olmalıdır. Baca toplam yüksekliği, sistem giriş basıncı yüküne (H) en az 0.30 m hava payı (F) eklenerek saptanır.

Hava bacaları :

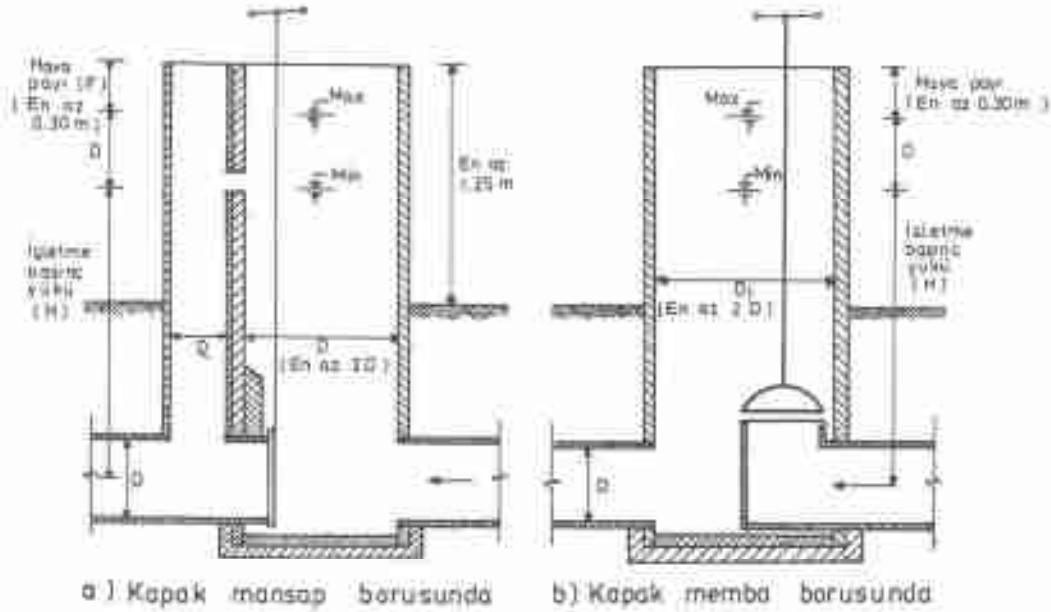
Boru hattına giren hava, hat boyunca yüksek noktalarda ve eğim değişikliklerinin olduğu yerlerde hava cepleri oluşturarak akan suyun kesit alanını daraltır ve bunun sonucunda boru hattı su iletim kapasitesi düşer. Bu sorunu engellemek için doğınileli yerlere havayı dışarı atmamak amacıyla hava bacaları yerleştirilir. Boru hattı düz olsa bile en çok 150 m 'de bir hava bacası inşa edilmelidir. Tipik bir hava bacası kesiti Şekil 5.18'de verilmiştir. Basıncı yükünün (H) 3 m yi geçmediği yerlerde hava bacası düz bir çelik borudan ibarettir. Baca çapı (D_2), boru hattı çapının (D) en az 0.13 ü kadar olmalı ve baca içerisindeki akış hızı 3 m/s yi geçmemelidir. Baca yüksekliği basıncı yüküne en az 0.30 m hava payı (F) eklenerek bulunur. Ancak, bacanın toprak üzerindeki yüksekliği en az 1.3 m olmalıdır. Hava bacasının boru hattına bağlandığı yerde bir cep yapılıır. Bu cebin çapı (D_3), en az boru çapının 0.75 'i ve boru merkezinden itibaren



Şekil 5.17 Suyun pompalan ana beton hatında kullanılan pompa bacası



Şekil 5.18 Hava bacası kesiti



Şekil 5.20: Kapaklı basınç düşürme bacaları.

Kapaklı basınç düşürme bacalarında, boru merkezinden itibaren baca yüksekliği, işletme basınç yüküne (H), boru çapı (D) ve en az 0.30 m hava payı (F) eklenerek saptanır. Baca çapı (D), en az boru çapının 2 katı olmalıdır. Kapak, mansap ya da memba borusuna yerleştirilebilir. Mansap borusuna yerleştirildiğinde (Şekil 5.20 a), bacanın toprak yüzeyinden itibaren yüksekliği en az 1.25 m olmalı ve basınç düşürme bacası yanına, çapı boru hattı çapına eşit bir emniyet bacası yerleştirilmelidir. Hava bacası ile emniyet bacası arasında, işletme basınç yüküne karşılık gelen yükseklikte su geçişi sağlanmalıdır. Böylelikle, hava bacasında yükselen su, taçmaksızın emniyet bacasına ve buradan da boru hattına girer. Suyun bu geçişi sırasında meydana gelen yük kayıpları da basıncın düşmesini sağlar. Kapak memba borusu üzerine yerleştirildiğinde emniyet bacasına gerek yoktur (Şekil 5.20 b).

Basınç düşürme bacaları aynı zamanda hava bacası görevi de yapar.

Saptırma bacaları :

Suyun, dağıtım ağında kolları ayrılmasında, özellikle ana boru hattından lateral boru hatlarına alınmasında kullanılan bacalardır. Aynı zamanda basınç düşürme bacası görevi de yapacak biçimde inşa edilebilirler. Özellikleri, Şekil 5.20'de verilen kapaklı basınç düşürme bacalarında olduğu gibidir. Saptırma

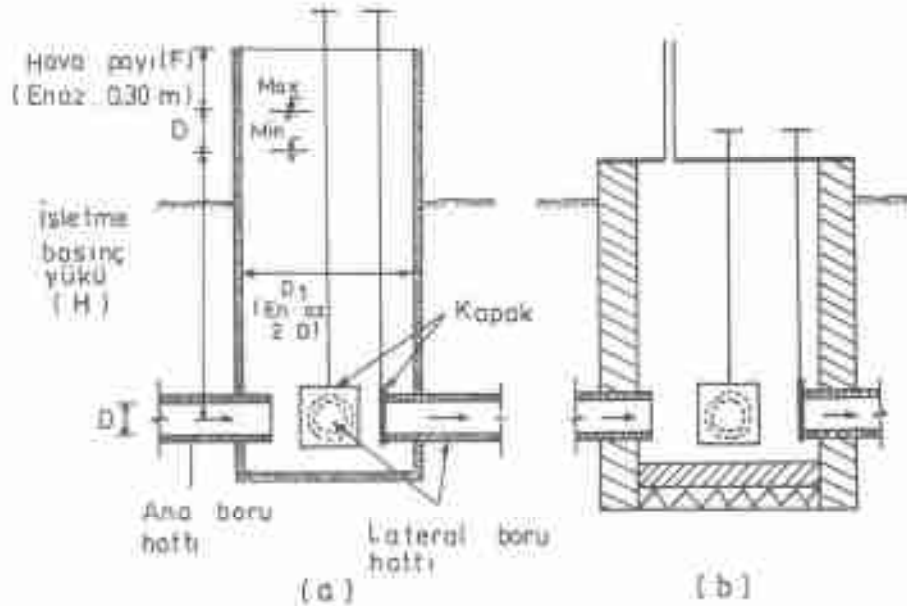
bacalarında, ana boru hattının mansap tarafına ve lateral boru hattı girişine kapak yerleştirilir (Şekil 5.21 a). İşletme basınç yükünün 3 m'den fazla olduğu koşullarda, toprak yüzeyinden itibaren baca üzerinin kapatılması ve kapak üzerine hava bacası özelliğindeki çelik boru ya da hava boşaltma vanası konulmalıdır (Şekil 5.21 b).

Dağıtma bacaları :

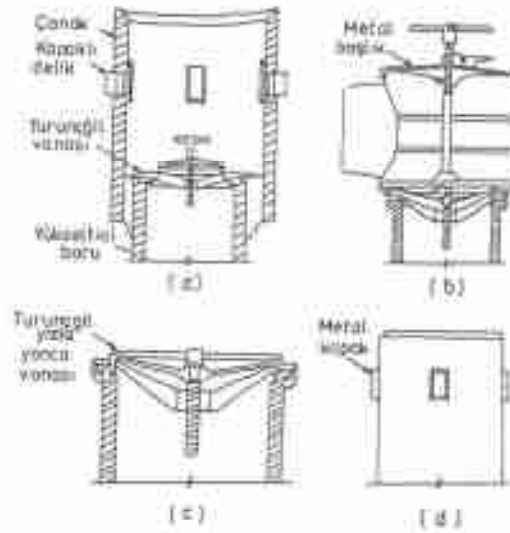
Sulama suyunun lateral boru hatlarından tarla parsellerine alınmasında kullanılan bacalardır. Üzerine alınacak su miktarının ayarlandığı vana ya da kapaklar yerleştirilen ve çapı genellikle ana boru hattı çapına eşit olan yükseltici borulardan ibarettir. Farklı tipteki dağıtma bacaları Şekil 5.22'de görülmektedir.

Şekil 5.22 a'daki dağıtma bacası yükseltici boru ve hunun üzerine yerleştirilmiş çanaktan ibarettir. Yükseltici boru üzerine özel bir turuncgil vana monte edilir. Çanak üzerinde ise kapaklı delikler bulunur. Tarla parseline su alınacağı anda, vana hıttıntıyla açılır, istenen miktarda su deliklerdeki kapaklar ayarlanarak alınır.

Şekil 5.22 b'deki dağıtma bacasında, yükseltici boru üzerine çanak yerine bir metal başlık yerleştirilir. Metal başlığa delikli boru hattı takılır, vana belirli oranda açılarak istenen miktarda su delikli boru hattına alınır ve tarla parseline verilir.



Şekil 5.21 Saptırma bacası tipleri



Şekil 5.22 Dağıtma bacası tipleri

Şekil 5.22 c'deki dağıtma bacasında, yükseltici boru üzerinde yalnızca özel turuncgil ya da yonca vanası bulunur. Tarla parseline istenen miktarda su vana belirli oranda açılarak alınır.

Şekil 5.22 d'deki dağıtma bacasında ise, yükseltici boru üzerinde vana yerine doğrudan metal kapaklar bulunur. Tarla parseline su alınması bu kapaklar istenen oranda açılarak denetlenir.

Dağıtma bacalarında, Şekil 5.22 a ve d'deki çanak ya da yükseltici boru tarla yüzeyinden 30 cm kadar yukarıda olmalı, delik ya da kapaklar baca üst düzeyinin 5-10 cm kadar aşağısına yerleştirilmelidir. Şekil 5.22 a, b ve c'deki vanalar ise toprak yüzeyinin 15 cm kadar altına yerleştirilmelidir.

Şekil 5.22'deki dağıtma bacalarından a, c ve d'de görülenleri genellikle tava ya da uzun tava, b'de görüleni ise karık sulama yönteminde kullanılır. Baca aralıkları, her tavaya bir ya da birkaç adet, her bir ya da birkaç uzun tavaya bir adet ve her karık setine bir adet olacak biçimde seçilir.

Boru çapının seçilmesi

Düşük basınçlı gömülü boru sistemlerinde, ana boru hattı girişindeki pompa bacasında en çok 6 m ve herhangi bir lateral boru hattı üzerindeki dağıtma bacasında en az 2 m basınç yükü istenir. Bu basınç yükü sınırlamaları ve arazi eğimi de dikkate alınarak, göz önüne alınan boru hattında oluşan yük kayıpları,

izin verilen yük kayıplarını aşmayacak ve ortalama akış hızı, 0.5-2.0 m/s arasında olacak biçimde boru çapı seçilir.

Yük kayıplarının hesaplanmasında, Şekil 5.23'te verilen diyagramdan yararlanılabilir. Diyagram aşağıda verilen Hazen-Williams yük kayıpları eşitliği ve süreklilik eşitliğinden yararlanarak hazırlanmıştır.

$$h_f = \frac{5.038}{C^{1.852}} L \frac{V^{1.852}}{D^{1.167}} \quad (5.21)$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad (5.22)$$

Bu eşitliklerde;

- h_f = Yük kayıpları, m.
- C = Hazen-Williams sürtünme katsayısı,
- L = Boru hattı uzunluğu, m.
- V = Ortalama akış hızı, m/s,
- D = Boru iç çapı, m ve
- Q = Debi, m³/s'dir.

Diyagramdan elde edilecek yük kayıpları $C = 100$ için geçerlidir. Boru cinsine göre, Şekil 5.23'ün sol list bölümündeki K katsayıları ile düzeltilmelidir. Hazen-Williams C sürtünme katsayısı, sert PVC ve alüminyum borular için 140, asbestli çimento borular için 130 ve beton borular için ise 120 alınabilir.

Boru hatlarındaki bağlantı elemanlarında oluşan yerel yük kayıpları;

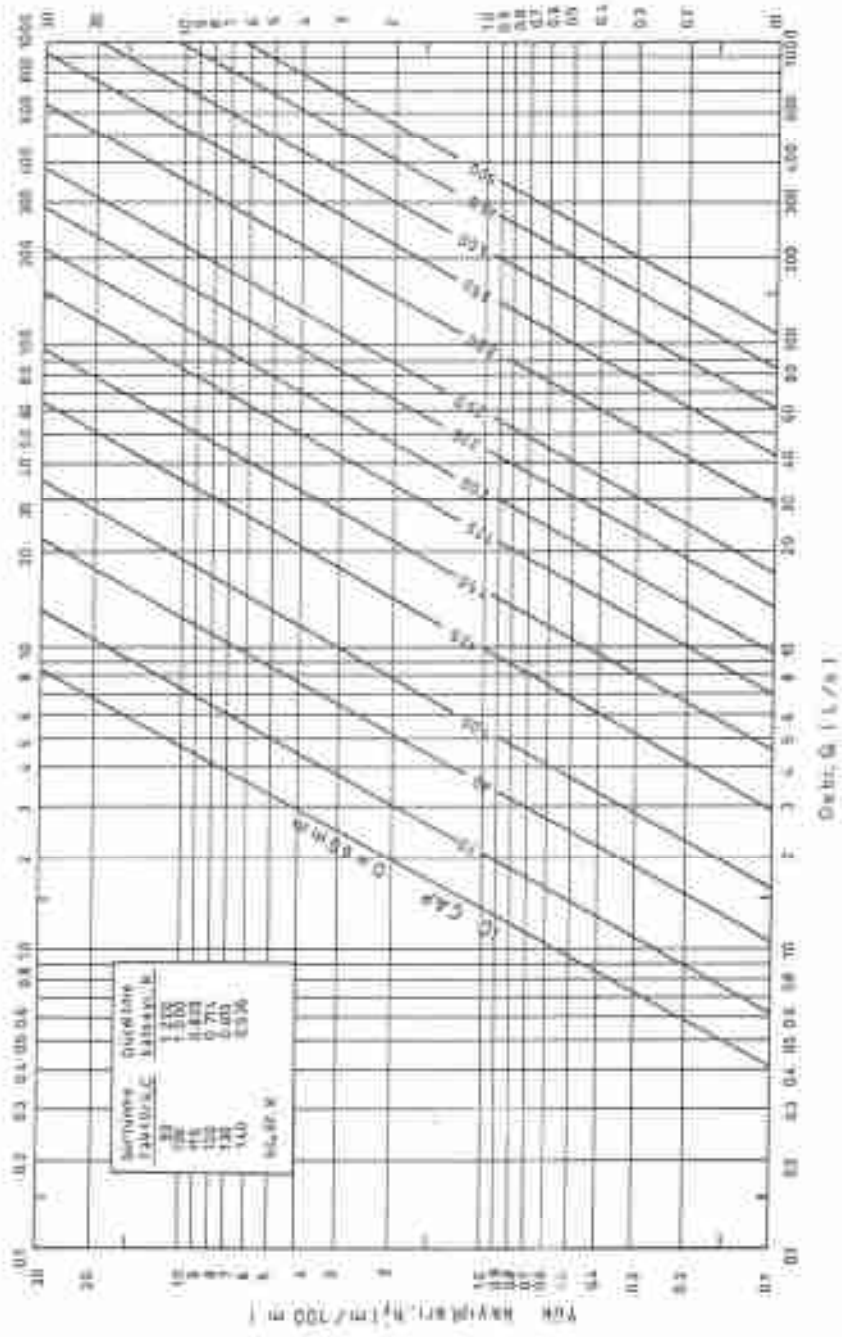
$$h_y = K \frac{V^2}{2g} \quad (5.23)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

- h_y = Yerel yük kayıpları, m,
- K = Bağlantı elemanı cinsine bağlı sürtünme katsayısı,
- V = Ortalama akış hızı, m ve
- g = Yerçekimi ivmesi, m/s²'dir.

Farklı bağlantı elemanları ve vanalar için K sürtünme katsayıları Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Düşük basınçlı gömülü boru hatlarında boru çapının seçilmesi ve bacaların boyutlandırılmasına ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.23 Değişik çaplı boruların debi-yük kaybı ilişkileri (C = 100 için)

Çizelge 5.6 Bazı Bağlantı Elemanı ve Vanalarda K Sürütme Katsayıları

Bağlantı elemanı yada vana	Nominal boru çapı (mm)							
	75 (3")	100 (4")	125 (5")	150 (6")	175 (7")	200 (8")	250 (10")	
Standart borular								
Dirsekler :								
90° flanşlı	0.34	0.31	0.30	0.28	0.27	0.26	0.25	
90° flanşlı, büyük yarıçaplı	0.25	0.22	0.20	0.18	0.17	0.15	0.14	
90° geçme mufu	0.80	0.70						
T parçaları :								
Boru hattı üzerinde flanşlı	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	
Ayrılan kolda flanşlı	0.73	0.68	0.65	0.60	0.58	0.56	0.52	
Boru hattı üzerinde geçme mufu	0.90	0.90						
Ayrılan kolda geçme mufu	1.20	1.10						
Vanalar :								
Flanşlı, küresel	7.0	6.3	6.0	5.8	5.7	5.6	5.5	
Flanşlı, kapaklı	0.21	0.16	0.13	0.11	0.09	0.08	0.06	
Flanşlı, turuncgil, yonca	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
Pasolu	1.25	1.05	0.95	0.85	0.80	0.75	0.67	
Diğerleri								
Girişler :								
Su içine uzanan giriş	0.78	Tüm çaplarda						
Keskin kenarlı giriş	0.50	Tüm çaplarda						
Yuvarlatılmış kenarlı giriş	0.23	Tüm çaplarda						
Konik giriş	0.04	Tüm çaplarda						
$\text{Ani genişleme } K = \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right)^2$								
$\text{Ani daralma } K = 0.7 \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right)^2$								
Eşitliklerde D ₁ küçük borunun çapıdır.								

Örnek :

Şekil 5.24'te verilen 400 x 300 m boyutlarındaki (120 da) tarım işletmesinde karık sulama yöntemi uygulanacaktır. Yapılan planlama sonucunda karık uzunluğu 200 m, karık aralığı 1.00 m, karık debisi 0.8 L/s, bir seteki karık sayısı 50 adet olarak saptanmıştır. Dolayısıyla karık seti genişliği 50 m ve karık seti debisi 40 L/s'dir. Aynı anda bir karık setine su verilerek aralı bir sulama işletmesi yapılacağından tüm boru hattı bölümlerinde iletilecek debi 40 L/s'dir.

Su dağıtım ağında, 1-6 hattı ile 7-12 hattı lateral boru hatlarını, 6-15 hattı ise ana boru hattını oluşturmaktadır. Her karık seti başlangıcına, başka bir deyişle Şekil 5.24 üzerindeki 1, 2, ..., 12 nolu noktalara Şekil 5.22 b'de görülen tipte metal başlıklı dağıtma bacası, 13 nolu noktaya saptırma bacası, 14 nolu noktaya hava bacası ve 15 nolu noktaya pompa bacası yerleştirilecektir. Gerekli olursa 13 nolu saptırma bacası aynı zamanda basınç düşürme bacası görevi yapacaktır.

Ana ve lateral boru hatları 2.5 atm işletme basınçlı asbestli çimento borulardan (AÇB) ve bacalar düşey doğrultuda yerleştirilen beton borulardan oluşturulacaktır.

Su kaynağı keson kuyudur. Kuyu dinamik yüksekliği 6 m'dir ve 40 L/s su emniyetle alınabilecektir.

Bu verilere göre, ana ve lateral boru hatlarının çapları, baca boyutları ve pompa birimi özellikleri istenmektedir.

Çözüm :

1) Boru hatlarının çapları:

Öncelikle, pompa birimine en uzak konumda olan 1 nolu dağıtma bacasını 15 nolu pompa bacasına bağlayan ve kritik hat özelliği taşıyan 1-15 boru hattı çapı saptanır.

a) 1-15 boru hattında izin verilen yük kayıpları :

1-15 boru hattında izin verilen yük kayıpları;

$$h_{f,1-15} = \Delta H_{1-15} - \sum h_{y,1-15} \pm \Delta h_{g,1-15} \quad (5.24)$$

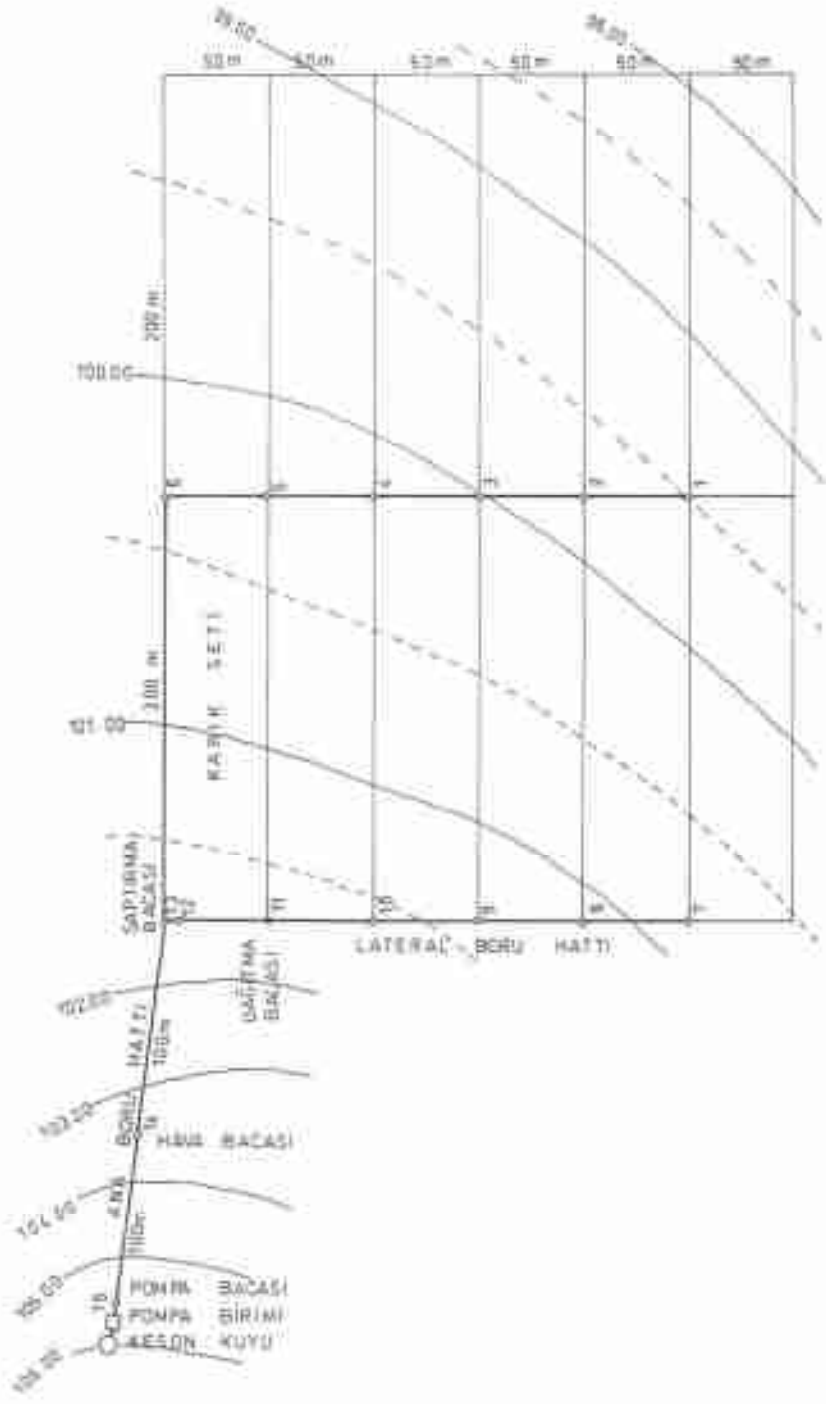
eşitliğine göre hesaplanabilir. Eşitlikte;

$h_{f,1-15}$ = 1-15 hattında izin verilen yük kayıpları, m,

ΔH_{1-15} = 1 ve 15 nolu bacalarıda istenen basınç yükleri farkı, m,

$\sum h_{y,1-15}$ = 1-15 hattında toplam yersel kayıplar, m ve

$\Delta h_{g,1-15}$ = 1 ve 15 nolu noktalar arasındaki yükseklik farkı, m'dir
(bayır aşağı eğimde + alınır).



Şekil 5.24: Düşük basınçlı içme suyu boru sisteminin projeleneceği örnek işletme

1 nolu dağıtma bacasında istenen basınç yükü en az 2.00 m ve 15 nolu pompa bacasında istenen basınç yükü en çok 6.00 m olduğuna göre;

$$\Delta H_{1,15} = H_{15} - H_1 = 6.00 - 2.00 = 4.00 \text{ m}$$

bulunur.

Boru çapı ve dolayısıyla ortalama akış hızı bilinmediğinden yersel kayıplar bu aşamada tahmin edilir. Örnek için 1-15 hattındaki yersel kayıplar;

$$\sum h_{y,1,15} = 1.00 \text{ m}$$

biçiminde tahmin edilmiştir.

Tesviye eğrilerinden yararlanarak 1 ve 15 nolu noktalardaki yükseklik farkı;

$$\Delta h_{e,1,15} = 106.00 - 99.50 = 6.50 \text{ m}$$

ve sonuçta, 1-15 hattında izin verilen yük kayıpları;

$$h_{0,1,15} = 4.00 - 1.00 + 6.50 = 9.50 \text{ m}$$

bulunur.

b) 1-15 boru hattı çapı :

Boru hattında iletilecek suyun debisi 40 L/s dir ve bu debide ortalama akış hızı 2 m/s yi geçmeyen en küçük boru iç çapı 175 mm'dir. 1-15 hattı 175 mm iç çaplı borulardan oluşturulursa, bu hattaki yük kayıpları, $Q=40 \text{ L/s}$, $D=175 \text{ mm}$, $L=650 \text{ m}$ ve $C=130$ için Şekil 5.23'ten yararlanarak;

$$h_f = \frac{2.7}{100} \times 0.615 \times 650 = 10.79 \text{ m}$$

bulunur. Bu değer, izin verilen yük kayıpları olan 9.50 m den büyük olduğu için 175 mm boru iç çapı uygun değildir. Bu durumda aynı işlem bir büyük iç çap olan 200 mm için yapılır ve yük kayıpları;

$$h_f = \frac{1.6}{100} \times 0.615 \times 650 = 6.40 \text{ m}$$

bulunur ki izin verilen 9.50 m yük kayıplarından küçük olduğu için uygundur.

Sonuçta, 1-15 hattı 200 mm (8") iç çaplı borulardan oluşturulacaktır.

c) 1-15 boru hattı boyunca basınç yükü dağılımı :

Göz önüne alınan 1-15 hattı boyunca her bacada işletme basınç yükleri hesaplanır. Bu amaçla;

$$H_p = H_{w,i} + \Delta h_v \pm \Delta h_y \quad (5.25)$$

eşitliğinden yararlanılır. Eşitlikte;

H_n = n. bacadaki basınç yükü, m,

H_{n-1} = Bir öncedeki bacadaki basınç yükü, m,

Δh_f = Ardışık bacalar arasındaki herü bölümlerinde oluşan yük kayıpları, m,

h_y = Bacalarda oluşan yersel yük kayıpları, m ve

Δh_g = Ardışık bacalar arasındaki yükseklik farkı, m'dir.

Boru hattı iç çapı 200 mm ve debi 40 L/s olduğundan 1-15 nolu boru hattında oluşan yük kayıpları Şekil 5.23'ten yararlanarak;

$$h_f = \frac{1.6}{100} \times 0.615 = 0.98 \text{ m}/100 \text{ m}$$

ve ortalama akış hızı;

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \times 0.40}{3.14 \times (0.200)^2} = 1.27 \text{ m/s}$$

bulunur.

1-6 nolu dağıtma bacalarının her birindeki yersel yük kayıpları (yonca vanası, $K = 2.0$);

$$h_y = K \frac{V^2}{2g} = 2.0 \times \frac{(1.27)^2}{2 \times 9.81} = 0.16 \text{ m}$$

ve 13 nolu saptırma bacası ile 15 nolu pompa bacasında yersel yük kayıpları (keskin kenarlı giriş, $K = 0.50$);

$$h_y = K \frac{V^2}{2g} = 0.50 \times \frac{(1.27)^2}{2 \times 9.81} = 0.04 \text{ m}$$

bulunur.

Hesaplanan bu yük kayıpları ile baca kotlarından yararlanarak (5.25) nolu eşitlikle her bacadaki basınç yükleri hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 5.7'de verilmiştir. Tüm boru bölümlerinde eğim bayır aşağı olduğundan, Çizelgede Δh_f nin işareti (-) alınmıştır.

d) 7-13 boru hattında izin verilen yük kayıpları:

Çizelge 5.7'den izleneceği gibi, 13 nolu saptırma bacasında işletme basınç yükü 5.12 m ve 7 nolu dağıtma bacasında istenen en az basınç yükü 2 m'dir. (5.24) nolu eşitlik uyarınca, 7-13 boru hattında izin verilen yük kayıpları;

Çizelge 5.7. Örnek için 1-15 boru hattında basınç yükü dağılımı

Baca no	Yersel yük kayıpları, h_s (m)	Boru bölümlerindeki yük kayıpları, h_f (m)	Baca kote (m)	Kot farkı, Δh_g (m)	İşletme basınç yükü, H (m)
1	0.16	0.49	99.50	-0.25	2.00
2	0.16	0.49	99.75	-0.25	2.40
3	0.16	0.49	100.00	-0.10	2.80
4	0.16	0.49	100.10	-0.10	3.35
5	0.16	0.49	100.20	-0.10	3.90
6	0.16	1.96	100.30	-1.45	4.45
13	0.04	0.98	101.75	-1.75	5.12
14	-	0.98	103.50	-2.50	4.39
15	0.04		106.00		2.87

$$\Delta H_{5,15} = 5.12 - 2.00 = 3.12 \text{ m}$$

$$\sum h_{s,15} = 1.00 \text{ m (tahmin)}$$

$$\Delta h_{g(13,15)} = 101.75 - 100.75 = 1.00 \text{ m}$$

$$h_{f(13,15)} = 3.12 - 1.00 + 1.00 = 3.12 \text{ m}$$

bulunur.

e) 7-13 boru hattı çapı :

Boru iç çapı 175 mm seçilirse, 7-13 boru hattında oluşan yük kayıpları;

$$h_f = \frac{2.7}{100} \times 0.615 \times 250 = 4.15 \text{ m}$$

bulunur ve bu değer izin verilen yük kayıplarından büyük olduğundan 175 mm boru iç çapı uygun olmaz.

Boru iç çapı 200 mm seçilirse, yük kayıpları:

$$h_f = \frac{1.6}{100} \times 0.615 \times 250 = 2.46m$$

bölünür. Bu değer izin verilen yük kayıplarından küçük olduğu için uygundur. Başka bir deyişle, 7-13 boru hattı iç çapı da 200 mm olacaktır.

f) 7-13 boru hattı boyunca basınç yükü dağılımı:

Daha önce bulunduğu gibi, 13 nolu saptırma bacasında işletme basınç yükü 5.12' m olduğundan ve 1-15 hattı için hesaplanan yük kayıpları da aynı olduğundan 7-13 boru hattındaki basınç yükleri 13 nolu saptırma bacasından başlayarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 5.8'de verilmiştir.

2) Baca boyutları:

a) Pompa bacası:

Pompa bacasının iç çapı, ortalama akış hızı 0.6 m/s yi geçmeyecek biçimde 300 mm seçilir. Baca üzerindeki dar kısmın iç çapı ise, en az pompa bama borusu çapının (bu aşamada bama borusu çapını ana boru çapına eşit

Çizelge 5.8. Örtük için 7-13 boru hattında basınç yükü dağılımı

Baca no	Yersel yük kayıpları, h_f (m)	Boru bölümlerindeki yük kayıpları, h_f (m)	Baca kotu (m)	Kot farkı, Δh_f (m)	İşletme basınç yükü, H (m)
7	0.16	0.49	100.75	-0.45	2.83
8	0.16	0.49	101.20	-0.20	3.03
9	0.16	0.49	101.40	-0.20	3.48
10	0.16	0.49	101.60	-0.15	3.93
11	0.16	0.49	101.75	-	4.43
12	0.16	-	101.75	-	5.08
13	0.04	-	101.75	-	5.12

olacağı yaklaşımı yapılabilir) 0.13 katı olacağı ve ortalama akış hızının 3 m/s yi geçmeyeceği göz önüne alınarak 150 mm seçilir.

Pompa bacasındaki işletme basınç yükü (Çizelge 5.7'de 15 nolu baca) 2.87 m olduğundan, buna en az 0.30 m hava payı eklenerek ana boru merkezinden itibaren en az baca yüksekliği;

$$2.87+0.30=3.17 \text{ m}$$

bulunur. Bu koşulda baca toplam yüksekliği, ana boru altında da bir miktar pay bırakılacağı yaklaşımıyla 3.50 m alınabilir.

b) Hava bacası :

14 nolu noktadaki hava bacasında, giriş yapılacak ebin iç çapı, ana boru çapının en az 0.75 katı olması gerektiğinden 150 mm seçilir. Cep üzerine, ana boru çapının en az 0.13 katı olan 32 mm dış çaplı (1") çelik boru yerleştirilecektir. Bu bacada, işletme basınç yükü 3 m'yi geçtiğinden çelik boru toprak yüzeyinden itibaren 0.60 m yükseklikte olmalı ve üzerine 1" hava boşaltma vanası konmalıdır.

c) Saptırma bacası :

Ana boru hattı üzerinde 13 nolu saptırma bacasında, baca iç çapı en az ana boru çapının 2 katı olması gerektiğinden 400 mm seçilir. Saptırma bacasında ana boru hattı mansabına ve lateral boru hattı girişine birer adet kapak yerleştirilir.

Bu bacada, işletme basınç yükü 5.12 m olduğundan ve 3 m'yi geçtiğinden, Şekil 5.21 b'deki tipin seçilmesi, başka bir deyişle, baca üzerinin toprak yüzeyinde su sızdırmayacak biçimde kapakla örtülmesi ve kapak üzerine hava bacası görevi yapacak 0.60 m yüksekliğinde 1" çelik boru ve boru ucuna 1" hava boşaltma vanası monte edilmesi gerekmektedir.

Sistemde aşırı basınç yükü söz konusu olmadığından 13 nolu saptırma bacasının aynı zamanda basınç düşürme bacası görevi yapmasına gerek yoktur.

d) Dağıtma bacaları :

Lateral boru hatları üzerindeki tüm dağıtma bacalarının iç çapı, boru hattı çapına eşit olacak biçimde 200 mm seçilir ve üzerine 8" yonca vanaları yerleştirilir. Karık sulama yöntemi söz konusu olduğundan Şekil 5.22 b'deki metal başlıklı baca tipi kullanılmalıdır.

3) Pompa özellikleri;

Kuyu dinamik yüksekliği 6 m ve pompa bacasındaki işletme basınç yükü 2.87 m olduğundan pompa manometrik yüksekliği;

$$H_m = 6.00 + 2.87 = 8.87 \text{ m} \approx 9.00 \text{ m}$$

bulunur. Sistemde, debisi $Q = 40 \text{ L/s}$ ve manometrik yüksekliği $H_m = 9.00 \text{ m}$ olan santrifüj tipi pompa kullanılır.

5.6. AKIŞ ÖLÇMELERİ

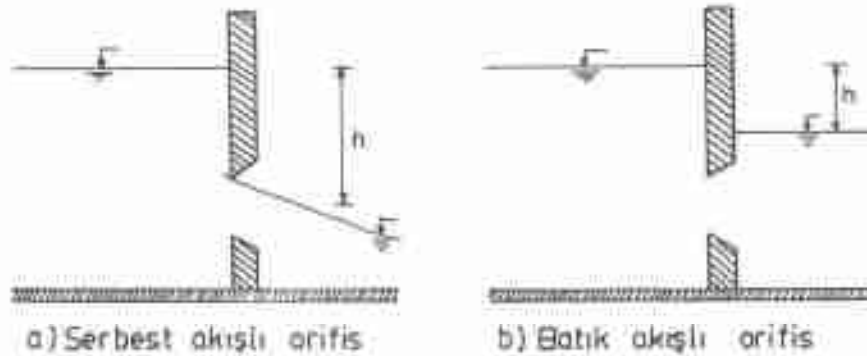
Açık kanallarda iletilen ve dağıtılan su miktarının ölçülmesinde orifis, savak ve sifonlardan yararlanılmaktadır. Özellikle, kanallar üzerindeki kapaklar birer orifis gibi çalışır. Su ayırma yapılarındaki kapaklarda kanala alınan, tarla başı prizlerindeki kapaklarda ise tarla parsellerine alınan suyun debisi ölçülebilir.

Orifisler, serbest ya da batık akışlı olabilir (Şekil 5.28). Genel olarak tarla başı kanalından tarla parseline su almada serbest akışlı, su ayırma yapısından kanala su almada ise batık akışlı orifis söz konusudur. Her iki tip orifiste de debi;

$$Q = CA\sqrt{2gh} \quad (5.26)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

- Q = Debi, m^3/s ,
- C = Akış katsayısı,
- A = Orifis kesit alanı, m^2 ,
- g = Yerçekimi ivmesi, m/s^2 ve
- h = Orifis su yükü, m'dir.



Şekil 5.25 Serbest ve batık akışlı orifisler

Açık kanallar üzerine yerleştirilen kapaklar genellikle keskin kenarlı olduklarından C akış katsayısı 0.57 - 0.61 arasında değişmektedir ve ortalama bir değer olarak 0.60 alınabilir. Orifis su yükü ise, serbest akışlı orifislerde membadaki su yüzeyi ile orifis merkezi arasındaki yükseklik farkı (Şekil 5.25 a), batık akışlı orifislerde memba ve mansaptaki su yüzeyleri arasındaki yükseklik farkıdır (Şekil 5.25 b). Orifislerde yalnızca değişilen yükseklik farkları ve orifis kesit alanı ölçülür, bu değerler (5.26) nolu eşitlikte yerine yazılarak debi hesaplanır. Su yüksekliklerini ölçmek için orifis kenarlarına eşeller yerleştirilebilir.

Açık kanallarda debinin ölçülmesinde kullanılan savakların değişik tipleri vardır. Bunlar; üçgen, dikdörtgen, trapez (yamuk) kesitli savaklarla parçalı savaklardır.

Savaklarla debinin ölçülmesinde;

$$Q = CLh^m \quad (5.27)$$

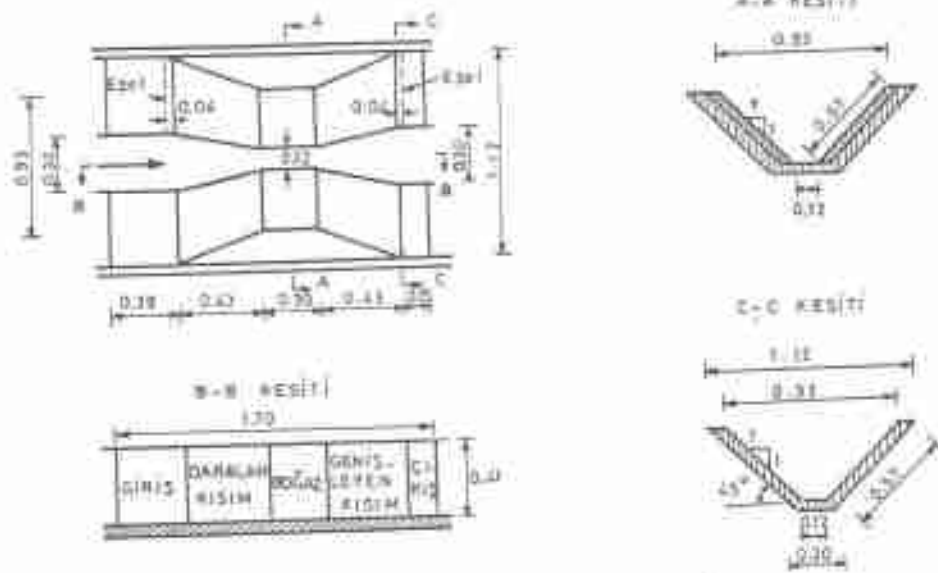
genel eşitliğinden yararlanılmaktadır. Eşitlikte;

- Q = Debi, m³/s,
- L = Savak eğilimin uzunluğu, m,
- h = Savak su yükü, m ve
- m = Akış üssü'dür.

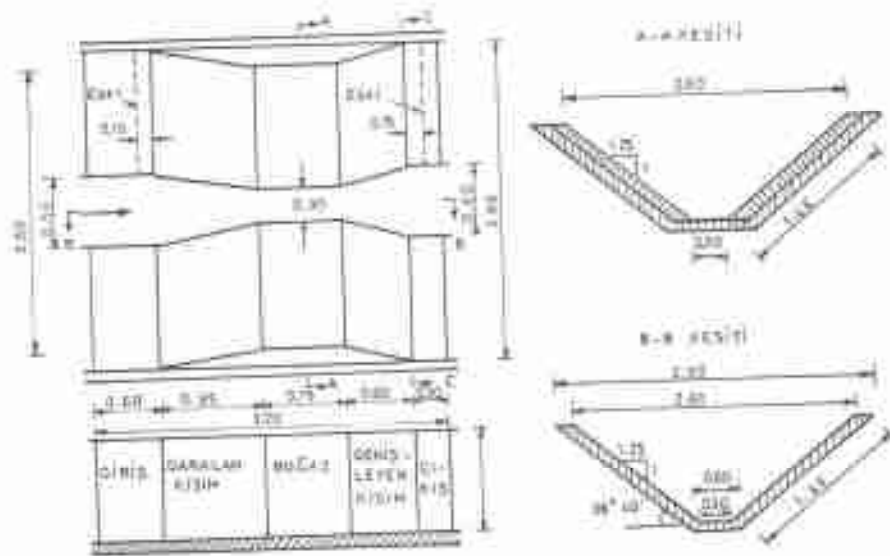
Eşitlikteki m değeri savak tipine göre değişmektedir.

Küçük kapasiteli tarla içi su dağıtım kanallarında, gerek kanalların alışlagelmış şekline uygun olmaları ve gerekse yeterli sağlıkta ölçüm yapılabilmesi nedenleriyle trapez savaklar yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle beton kaplama kanallarda, trapez savak kanalın bir parçası olarak inşa edilebilmektedir.

Trapez savaklar, standart boyutlarda yapılmaktadır. Beton kaplama kalınlığı dahil savak taban genişliği 30 cm (Tip 1) ve 60 cm (Tip 2) olan iki standart trapez savakın boyutları Şekil 5.26 ve Şekil 5.27'de verilmiştir. Bu savaklar, 30 cm ve 60 cm taban genişliğine sahip kanallar için geliştirilmiştir. Ancak, kanal taban genişliği bu değerlerden biraz farklı olsa bile, beton kanal üzerine değişilen trapez savaklar verilen standart boyutlarda olmak üzere inşa edilebilir ve yeterli sağlıkta ölçme yapılabilir. Beton kanallardaki trapez savaklar, kanal inşa edilirken kanalın bir parçası gibi yapılırlar. Bu durumda, savak taban eğimi kanal taban eğimine uygun olmalıdır. Beton kanal üzerinde savak inşa edilmemişse, değişilen tipteki savaklar (özellikle Tip 1) standart boyutlarda olmak üzere alüminyum ya da fiberglastan portatif olarak yapılabilir ve bu portatif savaklar kanal üzerine yerleştirilerek debi ölçülebilir. Ayrıca, bu portatif trapez savaklar toprak kanallar üzerine yerleştirilerek te debi ölçmeleri yapılabilir.



Şekil 5.26 Tip 1 standart trapez savaç boyutları



Şekil 5.27 Tip 2 standart trapez savaç boyutları

Toprak katallarda, sıvık tabanı kanal tabanından birkaç cm yüksek ve sıvık taban eğimi kanal taban eğimine uygun olmalıdır.

Şekil 5.26 ve 5.27'den izleneceği gibi, trapez sıvıklar giriş, daralan kısım, boğaz, genişleyen kısım ve çıkış bölümlerinden oluşmaktadır. Sıvıkta su yükseklikleri giriş bölümünün sonuna yakın (h_1) ve çıkış bölümünün başlangıcına yakın (h_2) yerlerde ölçülmektedir. Ölçüm yerlerine birer eşel yerleştirilebilir. Su yüksekliklerinin ölçüleceği noktaların kesin yerleri definilen şekillerde gösterilmiştir.

Girişteki h_1 su yüksekliği debinin, çıkıştaki h_2 su yüksekliği ise serbest ya da batık akış koşullarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Eğer, batıklık oranı (h_2/h_1) 0.70'ten küçükse serbest akış, 0.70'e eşit ya da daha büyükse batık akış koşulları söz konusudur. Serbest akış koşulları için h_1 su yüksekliğine karşılık gelen debi değerleri Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10'da verilmiştir. Batık akış koşullarında bu çizelgelerdeki değerlerin düzeltilmesine ihtiyaç vardır. Söz konusu debi düzeltme katsayıları Çizelge 5.11'de görülmektedir.

Örneğin, Tip 1 sıvıkta $h_1 = 20$ cm ve $h_2 = 12$ cm ölçülmüşse, batıklık oranı $h_2/h_1 = 12 / 20 = 0.60 < 0.70$ olduğundan serbest akış koşulları söz konusudur ve $h_1 = 20$ cm için Çizelge 5.9'dan $Q = 43$ L/s bulunur. Bunun yanında, yine Tip 1 sıvıkta $h_1 = 20$ cm ve $h_2 = 16$ cm ölçülmüşse, batıklık oranı $h_2/h_1 = 16 / 20 = 0.80 > 0.70$ olduğundan batık akış koşulları söz konusudur. Bu durumda, önce $h_1 = 20$ cm için Çizelge 5.9'dan $Q = 43$ L/s bulunur. Daha sonra, batıklık oranı $h_2/h_1 = 0.80$ için Çizelge 5.11'den düzeltme katsayısı 0.97 olarak alınır ve sonuçta debi $Q = 0.97 \times 43 = 41.7$ L/s biçiminde hesaplanır.

Çizelge 5.9 Tip 1 sıvıkta serbest akış koşullarındaki debi değerleri

Giriş su yüksekliği, h_1 (cm)	Debi, Q (L/s)	Giriş su yüksekliği, h_1 (cm)	Debi, Q (L/s)
5	4	22	53
6	5	24	65
7	6	26	77
8	7	28	92
9	9	30	106
10	11	32	124
12	15	34	144
14	20	34	163
16	27	38	186
18	34	40	201
20	43		

Çizelge 5.10 Tip 2 savahta serbest akış koşullarındaki debi değerleri

Giriş su yüksekliği, h_1 (cm)	Debi, Q (L/s)	Giriş su yüksekliği, h_2 (cm)	Debi, Q (L/s)
9	19	28	145
10	22	30	166
12	29	35	235
14	37	40	314
16	48	45	412
18	59	50	528
20	73	55	623
22	88	60	794
24	106	70	1140
26	128	80	1552

Çizelge 5.11 Bank akış koşullarında Tip 1 ve Tip 2 trapez savaklar için debi düzeltme katsayıları

Batıklık oranı, h_2/h_1	Debi düzeltme katsayısı
0.70	0.99
0.75	0.98
0.80	0.97
0.85	0.94
0.90	0.90
0.92	0.87
0.94	0.84
0.96	0.78
0.97	0.73

Sifonlar özellikle, tarla başı kanallarından tava, uzun tava ya da karık sulama sistemlerinde dağıtım kanallarına istenen miktarda suyun alınmasında kullanılmaktadır. Sifonda alınan suyun debisi;

$$Q = CA\sqrt{2gh} \quad (5.28)$$

epifliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

Q = Debi, m^3/s ,

C = Akış katsayısı,

A = Sifon kesit alanı, m^2 ,

g = Yerçekimi ivmesi, m/s^2 ve

h = Sifon su yüksekliği, m'dir.

Burada, sifon su yükü, serbest akış koşullarında kanaldaki su yüzeyi ile sifon çıkış ağzı arasındaki yükseklik farkı, batık akış koşullarında ise memba ve mansap su yüzeyleri arasındaki yükseklik farkıdır (Şekil 5.28). Bunun yanında, C akış katsayısı genellikle 0,95 - 1,00 arasında değer almaktadır ve C = 1,00 yaklaşımı yapılabilir. Örneğin, sifon iç çapı D = 125 mm ve sifon su yükü h = 30 cm ise tarla başı kanalından tarla parseline alınacak suyun debisi;

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \times (0,175)^2}{4} = 0,0123 m^2$$

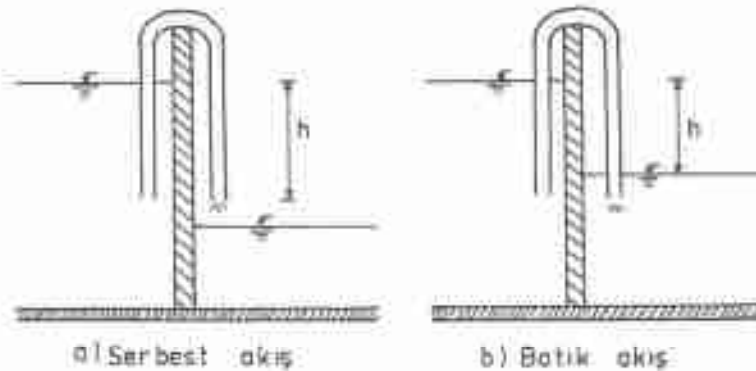
$$Q = CA\sqrt{2gh}$$

$$= 1,00 \times 0,0123 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,30} = 0,030 m^3 / s = 30 L / s$$

biçiminde hesaplanır:

Uygulamada, karık sulama yönteminde, tarla başı kanalından her karığa istenen miktarda suyun alınmasında küçük çaplı sifonlardan da yararlanılabilmektedir. Örneğin, tarla başı kanalından bir karığa, iç çapı D = 25 mm olan sifonla q = 1 l/s su alınmak istendiğinde;

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \times (0,025)^2}{4} = 0,00049 m^2$$



Şekil 5.28- Serbest ve batık akış koşullarında sifon su yükü

$$Q = CA\sqrt{2gh}$$

$$0,001 = 1,00 \times 0,00049 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times h}$$

$$h = 0,21 \text{ m} = 21 \text{ cm}$$

sifm 21 cm su yükü oluşturacak biçimde yerleştirilmelidir.

Düşük basınçlı boru hatlarında debi ölçmeleri, boru hattı üzerine yerleştirilen su sayaçları ve debi ölçerlerle yapılmaktadır.

5.7 ÇALIŞMA PROBLEMLERİ

1) Şekil 5.29'da verilen tarla parselinin tesviye projesini en küçük kareler yöntemine göre yapınız.

2) Şekil 5.30'da verilen tarla parselinin tesviye projesini en küçük kareler yöntemine göre yapınız.



Şekil 5.29 Çalışma problemi 1'e ait tarla parseli

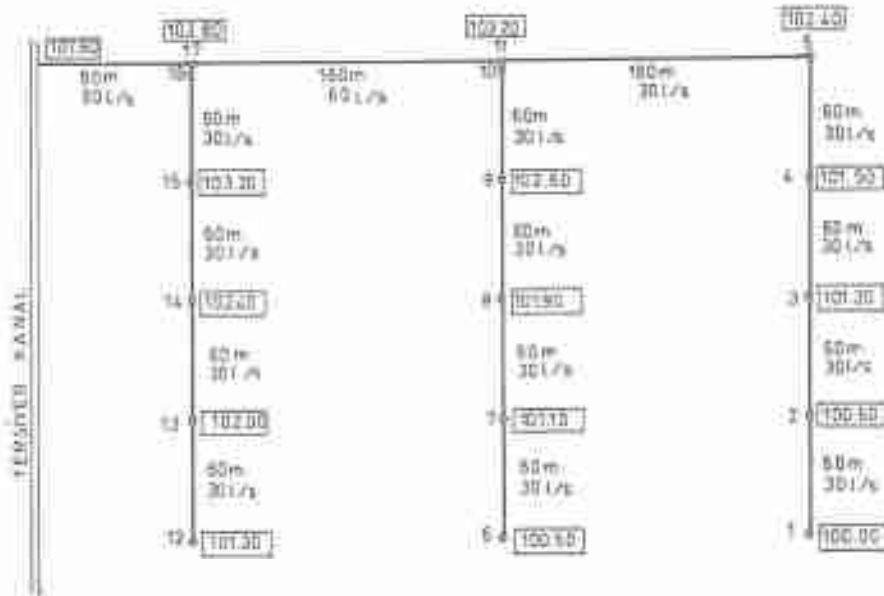
6) Şev eğimi 1/1,25 ve taban eğimi % 0,05 olan toprak kanalın minimum kesitte ileticeği suyun debisini bulunuz.

7) Taban eğimi % 0,2 olan trapez kesitli beton kanalın minimum kesitte ileticeği suyun debisini bulunuz.

8) Taban eğiminin % 0,1 ve iletilecek suyun debisinin 300 L/s olması koşulunda trapez kesitli beton kanalı boyutlandırınız.

9) Taban eğiminin % 0,2 ve iletilecek suyun debisinin 100 L/s olması koşulunda dikdörtgen kesitli kargir kanalı boyutlandırınız.

10) Şekil 5.31'deki düşük basınçlı gömülü boru sistemi 4 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulacaktır. Baca kotları, boru bölümü uzunlukları ve boru bölümlerinde iletilecek debi değerleri şekil üzerinde gösterildiğine göre, boru çaplarını, baca boyutlarını ve gerekli ise pompa özelliklerini bulunuz (Şekilde 11 ve 17 nolu noktalarda saptırma, diğerlerinde dağıtma bacaları vardır).

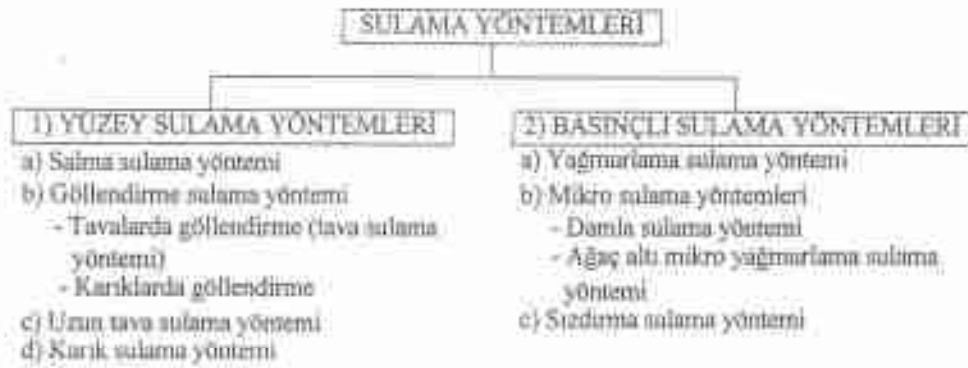


Şekil 5.31 10 nolu problem için örnek düşük basınçlı gömülü boru sistemi

SULAMA YÖNTEMLERİ

Sulama yöntemi deyimi, su kaynağından tarla parsellerine kadar getirilen sulama suyunun bitki kök bölgesine verilmiş biçimini tanımlamaktadır. Sulama yöntemlerini, yüzey ve basınçlı sulama yöntemleri biçiminde sınıflandırmak mümkündür (Şekil 6.1). Yüzey sulama yöntemlerinde su, arazi yüzeyinde belirli bir eğim doğrultusunda yerçekiminin etkisi ile ilerlerken bir yandan da infiltrasyonla toprak içerisine sızar ve istenilen miktarda sulama suyu bitki kök bölgesinde depolanır. Basınçlı sulama yöntemlerinde ise, sulama suyu kaynaktan bitkiye kadar basınçlı borularla iletilir ve dağıtılır. Sulama suyu hasıncı altında ya doğal yağışa benzer biçimde bitki üzerinden verilir, ya damla damla toprak yüzeyine verilir, ya da toprak altına gömülü borulardan sızdırılır.

Sulama yöntemleri, ilerideki bölümlerde ayrıntılı bir biçimde açıklanacaktır.



Şekil 6.1 Sulama yöntemlerinin sınıflandırılması

alıştırılmasıdır. Bu işlemler çok pahalıdır. Bu koşullarda, yüzey sulama yöntemlerinin uygulanması daha doğrudur. Eğer sulama suyu tuzlu ise, yüzey sulama ve yağmurlama sulama yöntemlerini seçmemek gerekir. Tuzlu sulama suyu koşulunda, özellikle yıllık yağışın 300 mm'den fazla olduğu yörelerde damla sulama yöntemi uygulanabilir. Bunun nedeni, damla sulama yönteminde, bitki kök bölgesinde sürekli yüksek düzeyde nem sağlandığından, erimiş haldeki tuzların oluşturduğu ozmotik basınç yüksek olmasına karşın, matris tenzyonu düşük düzeydedir ve toprak rutubet gerilimi bitkinin kökleri aracılığıyla suyu almasını engellemez. Ayrıca, tuzlar ıslak çeperde doğru hareket ederek burada birikir ve bitki köklerinin geliştiği ortamda tuz oranı nispeten düşük olur. Sulama sezonu boyunca ıslak çeperde biriken tuzlar ise kış yağışları ile bitki kök bölgesinin altına yıkanır.

Su maliyeti : Daha önce de değinildiği gibi, maliyeti yüksek olan sulama suyunun yüksek randımanla uygulanması, dolayısıyla, basınçlı sulama yöntemlerinin seçilmesi daha doğrudur. Ancak yine de yüzey sulama yöntemleri alternatifleri üzerinde durulmalı ve yapılacak ekonomik analizlerle yıllık toplam masrafları en düşük olan yöntem tercih edilmelidir. Bu işlem özellikle, sulama suyunun dinamik yüksekliği fazla olmayan pompa birimi ile sağlanması koşulunda yapılmalıdır.

6.1.2. Toprak Özellikleri

Kullanılabilir su tutma kapasitesi : Kullanılabilir su tutma kapasitesi yüksek olan topraklarda, sulama aralığı geniş ve uygulanacak sulama suyu miktarı fazladır. Bu koşullarda, yüzey sulama yöntemleri ile yüksek su uygulama randımanı sağlanabildiğinden bu yöntemler tercih edilir. Kullanılabilir su tutma kapasitesinin düşük olduğu hafif bünyeli topraklarda, her defasında az miktarda sulama suyu sık aralıklarla uygulandığından basınçlı sulama yöntemleri seçilir.

Su alma hızı : Su alma hızı yüksek hafif bünyeli topraklarda, derine sızan su miktarını azaltmak için akış uzunluğunu çok kısa tutmak gerektiğinden yüzey sulama yöntemleri seçilmez. Aksi durumda, gereğinden çok fazla tarla başı kanalı ve yüzey drenaj kanalının tesisi söz konusu olur. Bu da hem sistem maliyetini artırır, hem de önemli düzeyde alanın tarım dışı kalmasına neden olur. Dolayısıyla, su alma hızı yüksek topraklarda basınçlı sulama yöntemleri tercih edilir.

Toprak derinliği ve taban suyu : Geçirimsiz tabaka ya da taban suyunun yakında olduğu yüzlek topraklarda, başka bir deyişle, etkili toprak derinliğinin az olduğu koşullarda, daha kontrollü sulamamın yapılabildiği basınçlı sulama yöntemleri seçilir. Yüzey sulama yöntemlerinin uygulanması durumunda, derine

sızan su taban suyunu yükseltir yada yeni taban suyu oluşturur. Dolayısıyla, etkili toprak derinliği daha da azalır.

Tuzluluk ve drenaj koşulları : Tuzlu topraklarda tarım yapılırken, sulama suyuna ek olarak yıkama suyu da uygulanır. Bu fazla yıkama suyu bitki kök bölgesinin altına sızarken bünyesinde eriyen tuzlar da alt toprak katmanlarına taşınır ve kök bölgesindeki tuz oranı düşer. Yıkama suyu en iyi, tava ve yağmurlama sulama yöntemleri ile uygulanır. Dolayısıyla, tuzun yıkılacağı topraklarda bu yöntemlerin seçilmesi daha doğrudur. Ancak, kök bölgesinin altına yikanan tuzların araziden uzaklaştırılması için genellikle etkin bir toprakaltı drenaj sistemi kurulur. Bunun yanında, sulama sezonu dışıda tavulardan yararlanarak yıkama yapmak ve sulama sezonunda diğer sulama yöntemlerini uygulamak ta çok sık başvurulan bir diğer yoldur. Tuzlu topraklarda damla sulama yöntemi başarı ile uygulanabilir. Bu yöntemde, damlatıcıdan çıkan su ıslak hacmin çeperine doğru hareket ederken tuzları da bünyesinde eriterek bu çepere taşır. Böylece, lateral boru hattı boyunca tuz oranı düşük bir ıslak perit oluşur ve bitki kökleri bu ortamda gelişir. Ancak, yıllık yağış 300 mm'den az olan yörelerde, ıslak çeperde biriken tuzların zaman zaman portatif yağmurlama sulama sistemleri ile yıkanması gerekebilir. Tuzlu topraklarda karık ve sızdırma sulama yöntemleri kesinlikle uygulanmaz. Bunun nedeni, tuzların, karık sulama yönteminde bitki köklerinin geliştiği karık sırtlarında ve sızdırma sulama yönteminde kılcal köklerin yaygın olduğu toprak yüzeyinde birikmesidir.

Taşlılık : Taşlı topraklarda, arazi tesviyesi güç olduğundan yüzey sulama yöntemleri genellikle uygulanmaz. Bu tip topraklarda, arazi tesviyesini gerektirmeyen basınçlı sulama yöntemleri tercih edilir.

6.1.3. Topografik Özellikler

Eğim derecesi : Eğimi düşük düzgün arazide hemen her türlü sulama yöntemi uygulanabilir. Bu koşulda sulama yönteminin seçimine diğer faktörler etkili olur. Ancak, eğim yüksekse yada ortalama eğim düşük olmasına karşın arazi dalgalı topografyaya sahipse basınçlı sulama yöntemleri tercih edilir.

Erozyona uygunluk : Erozyona uygun topraklarda, yüzey sulama yöntemleri dikkatli bir biçimde uygulanmalıdır. Erozyonu önlemek için ya eğim çok düşük olmalı yada sulama suyu düşük debide araziye verilmelidir. Bu tip topraklarda basınçlı sulama yöntemlerini seçmek genellikle daha doğrudur. Ancak, yağmurlama sulama yöntemi seçilirse, yağmurlama başlıklarından çıkan su damlacıklarının çapı küçük olacak biçimde işletme basıncı yüksek tutulmalıdır. Aksi durumda iri su damlacıkları da erozyona neden olur.

6.1.4. İklim Özellikleri

Rüzgar : Rüzgar hızının yüksek ve esme süresinin fazla olduğu yörelerde, yağmurlama sulama yönteminin seçilmesi sakıncalıdır. Bunun nedeni, yüksek rüzgar hızında su damlalarının rüzgarla sürüklenmesi ve eş su dağılım düzeyinin, dolayısıyla, su uygulaması randımanının düşmesidir.

Sıcaklık : Hava sıcaklığının yüksek olduğu yörelerde, yağmurlama sulama yönteminde buharlaşma kayıpları yüksek olmaktadır. Sulamanın gece saatlerine kaydırılması ile bu sorun ortadan kaldırılabilir. Ancak bu koşulda, daha yüksek kapasiteli su kaynağına ihtiyaç duyulur ve sistem kapasitesi yüksek olur. Bunun yerine genellikle, yüzey, damla ya da meyve bahçelerinde ağaç altı yağmurlama sulama yöntemleri tercih edilir.

Bağıl nem : Bağıl nemin çok düşük olduğu yörelerde yine buharlaşma kayıpları yüksek olacağından yağmurlama sulama yöntemi genellikle uygun olmaz.

Yağış : Bitki büyüme mevsiminde, bitki su ihtiyacının önemli bir bölümünün yağışlarla karşılandığı nemli bölgelerde, ancak nispeten kurak periyotlarda destekleme niteliğinde sulamalar yapılır. Büyüme mevsimi boyunca sulama sayısı bir yada ikiyi geçmez. Bu koşulda en ideal yöntem, arazi tesviyesi ve tarla başı kanallarını gerektirmeyen portatif boru hatlarının kullanıldığı yağmurlama sulama yöntemidir.

Don tehlikesi : Özellikle ilkbahar son donlarının tehlikeli olduğu yörelerde, ekonomik değeri yüksek bitkilerin dondan korunması için bazı önlemler alınır. Bu önlemlerden biri de yağmurlama sulama yöntemidir. Böyle yörelerde, yağmurlama sulama yöntemi tercih edilerek hem dondan korunma hem de sulama aynı sistemle yapılabilir. Ancak, sabit sistemi ve yüksek sistem debisini gerektirdiğinden ilk yatırım masrafları çok fazladır.

6.1.5. Bitki Özellikleri

Bitki evisi : Yüzey sulama yöntemleri seçilirse, sıraya ekilen ya da dikilen bitkiler ancak karık sulama yöntemiyle, sık ekilen ya da dikilen bitkiler ise tava ve uzun tava sulama yöntemiyle sulanabilir. Yüksek boylu bitkilerde, yağmurlama sulama yönteminin uygulanması zordur. Çünkü, yağmurlama başlıklarını toprak üzerine çıkarmak için uzun yükseltici borulara ihtiyaç vardır ve bitkiler arasında boru hatlarının bir konumdan diğer konuma taşınması güçtür. Meyve bahçelerinin sulanmasında, ağaç altı sulamasına imkan veren ve boru hatlarının taşınmadığı sabit sistemi gerektiren küçük yağmurlama başlıkları oldukça kullanışlıdır. Örtü altı yetiştiriciliğinde ve topraktaki nem eksikliğine

duyarlı ekonomik değeri yüksek bitki tarımında en uygun yöntem damla sulama yöntemidir. Derin köklü bitkilerde her defasında fazla miktarda sulama suyu geniş aralıklarla uygulandığından yüzey sulama yöntemleri başarı ile kullanılabilir. Buna karşın, yüzlek köklü bitkilerde her defasında az miktarda sulama suyu sık aralıklarla uygulanır ve bu koşullarda basınçlı sulama yöntemleri tercih edilir.

Bitki hastalıkları : Yaprakların ıslanmasından kaynaklanan hastalıklara duyarlı bitkilerde yağmurlama sulama yöntemi, kök boğazının ıslanmasından kaynaklanan hastalıklara duyarlı bitkilerde ise tava ya da uzun tava sulama yöntemleri kullanılmamalıdır.

Özel istekler : Bazı bitkiler, diğer etmenler dikkate alınmadan sulama yöntemini doğrudan belirler. Bunun en tipik örneği, çeltiğin yalnızca tava yöntemiyle sulanmasıdır.

6.1.6. Ekonomik Koşullar

Sulamanın maliyeti : Basınçlı sulama yöntemlerinde ilk tesis masrafları, ağır tesviyeyi ya da teraslamayı gerektirmeyen yüzey sulama yöntemlerine oranla daha fazladır. Dolayısıyla, satın alma gücü düşük çiftçiler genellikle basınçlı sulama yöntemlerini uygulamamaktadır. İşletme masrafları, enerji masraflarına bağlı olarak bazen basınçlı, bazen de yüzey sulama yöntemleri lehinedir.

Ürünün değeri : Elde edilecek ürünün piyasa değeri yüksek ise, ilk yatırım masrafları fazla olmasına karşın birim alandan daha çok ürün sağlandığından basınçlı sulama yöntemleri daha ekonomik olabilmektedir.

Ekonomik faktörler dışında diğer tüm faktörler dikkate alındığında, birden fazla sulama yöntemi teknik yönden uygun olabilir. Bu durumda, bir ekonomik analiz yapılarak yıllık fayda - masraf oranı en yüksek olan yöntem seçilmelidir.

6.1.7. Sosyal ve Kültürel Durum

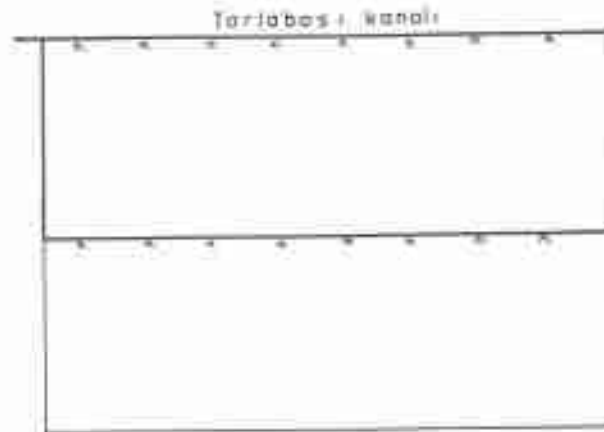
Çiftçilerin gelenekleri, alışkanlıkları, kültür düzeyleri, tarımsal yönden eğitim düzeyleri seçilecek sulama yöntemi açısından önemlidir. Genellikle, eğitim düzeyi düşük çiftçilerin basınçlı sulama yöntemlerini uygulamaları güç olmaktadır.

6.2. SALMA SULAMA YÖNTEMİ

Salma sulama yönteminde, tarla başı kanalı yada boru hatlarından tarla parseline alınan su, parsel üzerinde rast gele yayılmaya bırakılır (Şekil 6.3). Su toprak yüzeyinde ilerlerken bir yandan da infiltrasyonla toprak içerisine sızar ve istenen miktarda su kök bölgesinde depolanmaya çalışılır.

Teorik olarak suyun toprak yüzeyini bir tabaka biçiminde kaplayarak akacağı öngörülür. Ancak uygulamada bu koşul genellikle gerçekleşmez. Su kendine yol açarak ilerler ve çokluk eş olmayan bir su dağılımı meydana gelir.

Salma sulama yöntemi, ekonomik değeri yüksek olmayan, topraktaki nem eksikliğine yada nem fazlalığına duyarlı olmayan, kök boğazının ıslatılmasından kaynaklanan hastalıklara dayanıklı sık ekilen yada dikilen bitkilerin sulanmasında kullanılabilir. Yöntem ancak, su alma hızı nispeten düşük, kullanılabilir su tutma kapasitesi yüksek, derin, doğal drenajı iyi, orta ve ağır bünyeli topraklarda uygulanabilir. Tarla, sulama doğrultusuna dik yönde tamamen eğimsiz, sulama doğrultusunda ise eğim çok düşük yada eğimsiz olmalıdır. Başka bir deyişle, sulanacak tarla parseli arazi tesviyesini gerektirmeyecek kadar düz olmalıdır. Bunların yanında, sulama suyunun bol ve birim su maliyetinin çok düşük, sulama işçiliğinin ucuz olması gerekmektedir.



Şekil 6.3 Salma sulama yöntemi

Salma sulama yönteminde su uygulama randımanı çok düşüktür. Genellikle, aşırı su kullanımı söz konusudur. Derine sızan su miktarı fazla olur. Dolayısıyla, taban suyunun yükselmesi ya da taban suyu oluşturulması, drenaj probleminin ortaya çıkması ve arazinin tuzlulaşması gibi sorunlarla çok sık karşılaşılır.

Salma sulama yöntemi, sulanacak tarla parselinde, deneyimlerden elde edilen bilgilere göre uygulanır. Genellikle 1 m parsel genişliği için 1 L/s suyun tarlaya alınması önerilmektedir. Bunun yanında, tarla parselinin her noktasında, aşağıdaki eşitlikle hesaplanacak T_n süresi kadar toprak yüzeyinde su bulundurulmalıdır.

$$T_n = \left(\frac{d_n}{a} \right)^b \quad (6.1)$$

Eşitlikte;

T_n = Net infiltrasyon süresi, dak,

d_n = Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm,

a ve b = Amirik katsayılarıdır.

Burada net infiltrasyon süresi, her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarının toprağa girmesi için geçen süredir.

Yukarıdaki (6.1) nolu eşitlik, çift silindirik infiltrometre ölçmeleri ile elde edilen;

$$D = aT^b$$

elzemli su alma eşitliğinde D yerine her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı olan d_n değerinin ve T yerine net infiltrasyon süresi olan T_n değerinin yazılması ve eşitliğin yeniden düzenlenmesi ile elde edilmiştir.

6.3. GÖLLENDİRME SULAMA YÖNTEMİ

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.

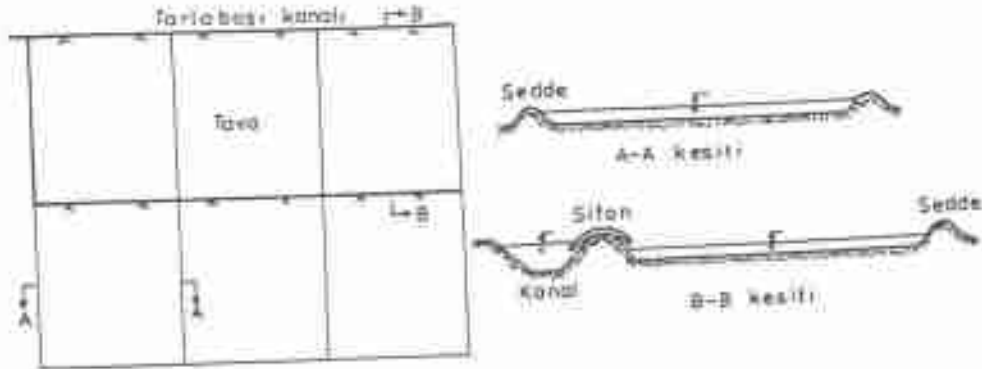
Sulama suyunun tavalarda göllendirilmesine tava sulama yöntemi adı verilmektedir. Bu bölümde tava sulama yöntemi üzerinde durulacak, karıklarda göllendirme ise karık sulama yöntemi içerisinde açıklanacaktır.

6.3.1. Tava Sulama Yöntemi

Tava sulama yönteminde, sulanacak tarla parselinde etrafı toprak seddelerle çevrilmiş eğimsiz tavalar oluşturulur. Tavalara yüksek debide sulama suyu uygulanır ve suyun kısa zamanda tavayı kaplaması sağlanır (Şekil 6.4).

Tava sulama yöntemi, genellikle, sık ekilen ya da dikilen ve kök boğazının ıslanmasızdan kaynaklanan hastalıklara duyarlı olmayan bitkilerle meyve ağaçlarının sulanmasında kullanılmaktadır. Genellikle, su alma hızı nispeten düşük, kullanılabilir su tutma kapasitesi yüksek topraklarda uygulanır. Su alma hızı yüksek hafif bünyeli topraklarla, su alma hızı çok düşük kıymak tabakası bağlama özelliklerindeki ağır bünyeli topraklarda tercih edilmez. Tavalarda sulama doğrultusunda dik yönde tamamen eğimsiz olması, sulama doğrultusunda ise ya eğimsiz olması ya da tava boyunca eğim nedeniyle oluşacak yükseklik farkının, uygulanacak net sulama suyu miktarının yarısını geçmemesi gerekmektedir. Bu nedenle tava sulama yöntemi, eğimsiz yada çok düşük eğimdeki arazide, her tavanın özel olarak tesviye edilmesi koşuluyla uygulanabilir.

Tava sulama yönteminde, düşük maliyetle yüksek su uygulama randımanı elde edilebilir. Kalifiye işçiyeye gerek yoktur. İyi tesviye yapılırsa tava

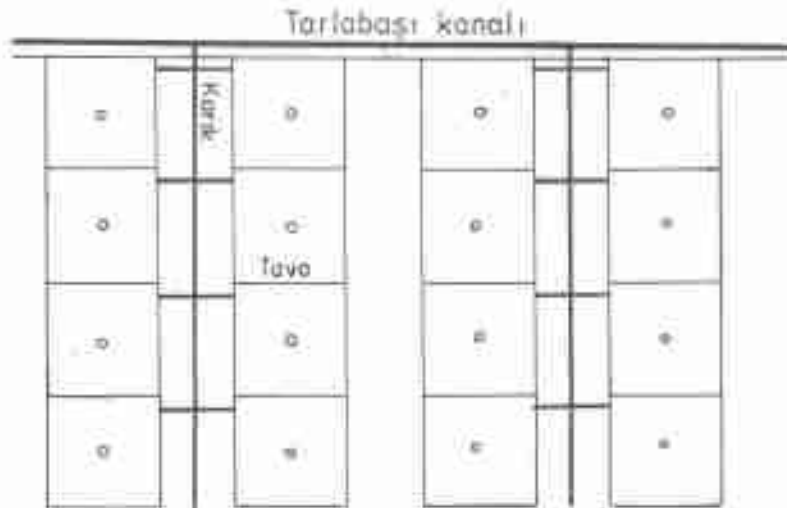


Şekil 6.4 Tava sulama yöntemi.

büyüklikleri 160 da kadar olabilmektedir. Yüzey akışı yoktur. Derine sızmayı azaltmak için kontrollü sulama yapmak şarttır. Aksi durumda, toprakaltı drenaj sisteminin kurulması gerekmektedir. Yağışlardan en üst düzeyde yararlanır ve tuzlu topraklar etkin bir biçimde yıkanır.

Büyük boyutlu tavalar genellikle sebzeilerin sulanmasında kullanılır. Meyve bahçelerinin sulanmasında bir ya da birkaç ağaca hizmet edecek biçimde küçük boyutlu tavalar oluşturulur (Şekil 6.5). Ancak, yabancı ot kontrolünün makina ile yapıldığı meyve bahçelerinde seddeler bozulacağından tava sulama yöntemini uygulamak çok zordur.

Tava sulama yönteminde sulama süresini saptayabilmek için, daha önce (6.1) nolu eşitlikle verilen net infiltrasyon süresini hesaplamak ve suyun tava sonuna ulaşma süresi olan T_1 değerini ölçmek gerekmektedir. Suyun tava sonuna ulaşma süresinin net infiltrasyon süresine oranına su ilerleme oranı, R adı verilmektedir. Tava sulama yönteminde, R değerlerine göre su uygulama maddelerini Çizelge 6.1'den yararlanarak bulunabilir. Su uygulama randımanının % 80 den az olması istenmez. Aksi durumda ya tava boyutları küçültülür yada tavaya verilen suyun debisi artırılır. Ancak, tavaya uygulanan su erozyona neden olmamalıdır.



Şekil 6.5 Meyve bahçelerinde uygulanan tava sulama yöntemi

Çizelge 6.1 Tava sulama yönteminde su uygulama randımanları

Su ilerleme oranı, $R = T/T_0$	Su uygulama randımanı, E_a (%)
0.16	95
0.28	90
0.40	85
0.58	80
0.80	75
1.08	70
1.45	65
1.90	60
2.45	55

Tava sulama yönteminde, sulama suyunun bir tavaya uygulanma süresini ifade eden sulama süresi;

$$T_d = \frac{A d_n}{60q E_a} \quad (6.2)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

- T_0 = Sulama süresi, dak.
- A = Tavanın alanı, m^2 .
- d_n = Uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm,
- q = Tava debisi, L/s ve
- E_a = Su uygulama randımanıdır.

Örnek :

Verilenler :

- Tava eni; $b = 30$ m
- Tava boyu; $L = 60$ m
- Tava debisi; $q = 30$ L/s
- Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı; $d_n = 70$ mm
- Çift silindirik ölçümleri sonucunda eklemeli su alma eşitliği
- $D = 1.50 T^{0.75}$ biçiminde elde edilmiştir ($a=1.50$ ve $b=0.75$).
- Suyun tava sonuna $T_0 = 60$ dakikada ulaştığı ölçülmüştür.

İstenen :

-Sulama süresi

Çözüm :

1) Tava alanı;

$$A = bL = 30 \times 60 = 1800 \text{ m}^2$$

2) Net infiltrasyon süresi;

$$T_n = \left(\frac{d_n}{a} \right)^{1.5} = \left(\frac{70}{1.50} \right)^{1.5} = 242 \text{ dak}$$

3) Su ilerleme oranı;

$$R = \frac{T_i}{T_n} = \frac{60}{242} = 0.25$$

4) Su uygulama randımanı;

$R = 0.25$ için Çizelge 6.1'den $E_a = 9\% 90$

5) Sulama süresi;

$$T_s = \frac{A d_n}{60q E_a} = \frac{1800 \times 70}{60 \times 30 \times 0.90} = 78 \text{ dak}$$

6.4. UZUN TAVA SULAMA YÖNTEMİ

Uzun tava sulama yönteminde, tarla parseli hakim eğim doğrultusunda paralel toprak seddeler yapılarak dar ve uzun şeritlere bölünür. Bu arazi şeritlerine uzun tava yada border adı verilmektedir (Şekil 6.6). Bu yöntemde, tava sulama yönteminin aksine, suyun göllenmesi söz konusu değildir. Tava sonu açıktır ve tavadan çıkan su bir yüzey drenaj kanalı ile uzaklaştırılır. Uzun tava boyunca su, toprak yüzeyinde ince bir katman oluşturacak biçimde ilerler. Gerekli sulama suyu miktarı, suyun hem ilerlemesi hem de tavaya su verme işlemi durdurulduktan sonra geri çekilmesi sırasında infiltrasyonla toprağa sızarak bitki kök bölgesinde depolanır.

Uzun tava sulama yöntemi, genellikle, kök boğazının ıslatılmasından kaynaklanan hastalıklara duyarlı olmayan sık ekilen yada dikilen bitkilerle meyve

Çizelge 6.2 Uzun tava sulama yönteminde su uygulamaya randımanının belirlenmesinde kullanılan F faktörleri

Net sulama suyu derinliği, d_n (mm)	Sulama süresi, T_s (dak)					
	100	150	200	300	400	600
25	0.60	0.40	0.30	0.20	0.15	0.10
50	1.50	1.00	0.80	0.55	0.45	0.30
75	2.00	1.80	1.30	0.90	0.70	0.50
100	2.00	2.00	2.00	1.30	1.00	0.70

Çizelge 6.3 Uzun tava sulama yönteminde su uygulamaya randımanları (%)

Tava eğimi, S (%)	F Faktörü											
	0.5 ten küçük				0.5 – 1.0				1.0 den büyük			
	Net sulama suyu derinliği, d_n (mm)											
	25	50	75	100	25	50	75	100	25	50	75	100
0.05	65	65	70	70	65	65	70	70	75	75	80	80
0.1	60	60	65	65	65	65	70	70	70	70	75	75
0.5	50				60	60	60	55	60	60	65	65
1.0					55	55			60	60	65	65
2.0					50				55	55	60	60

Uzun tava sulama yönteminde tava debisi:

$$q = \frac{0.0167bL \cdot d_n}{T_s E_s} \quad (6.4)$$

eyitliği ile bulunabilir. Eşitlikte;

- q = Tava debisi, L/s,
- b = Tava eni, m,
- L = Tava uzunluğu, m,

d_n = Uygulanacak net sulama suyu derinliği, mm,

T_s = Sulama süresi, dak ve

E_s = Su uygulama randımanıdır.

Örnek :

Verilenler :

-Tava eni, $b = 15$ m

-Tava boyu, $L = 200$ m

-Tava eğimi, $S = \% 0.1$

-Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, $d_n = 75$ mm

-Çift silindirik infiltrometre ölçmeleri sonucunda eklemeli su alma eğitliği

$D = 2.32 T^{0.65}$ biçiminde elde edilmiştir ($a = 2.32$ ve $b = 0.65$).

İstenenler :

-Sulama süresi

-Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı

-Tava debisi

Çözüm :

1) Sulama süresi;

$$T_s = \left(\frac{d_n}{a}\right)^{1/b} = \left(\frac{75}{2.32}\right)^{1/0.65} = 210 \text{ dak}$$

2) F faktörü;

$d_n = 75$ mm ve $T_s = 210$ dak için Çizelge 6.2'den $F = 1.30$

3) Su uygulama randımanı;

$S = \% 0.1$, $F > 1$ ve $d_n = 75$ mm için Çizelge 6.3'ten $E_s = \% 75$

4) Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı;

$$d_t = \frac{d_n}{E_s} = \frac{75}{0.75} = 100 \text{ mm}$$

5) Tava debisi;

$$q = \frac{0.0167bLd_n}{T_s E_s} = \frac{0.0167 \times 15 \times 200 \times 75}{210 \times 0.75} = 24 \text{ L/s}$$

Su kaynağının debisi ve sulanacak tarla parselinin boyutlarına göre, (6.4) no.lu eşitlikten yararlanarak, tava debisi, tava uzunluğu ve tava eni arasındaki ilişkiler saptanabilir. Başka bir deyişle, planlayıcı ya da uygulayıcı tarafından değmilen değerlerden ikisi belirlenirse, üçüncü değer hesaplanabilir. Örneğin, yukarıda verilen örnekte tava debisinin 20 L/s ve tava uzunluğunun 200 m olması koşulunda tava eni,

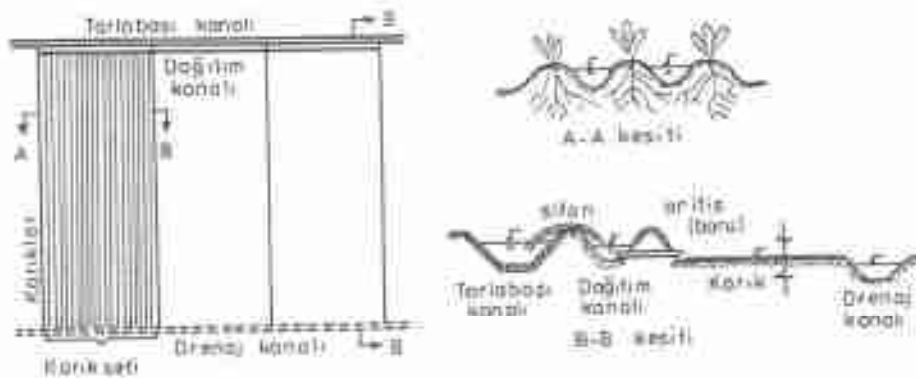
$$b = \frac{qT_e E_s}{0.0167L d_n} = \frac{20 \times 210 \times 0.75}{0.0167 \times 200 \times 75} = 12.6m$$

biçiminde hesaplanır.

6.5. KARIK SULAMA YÖNTEMİ

Karik sulama yönteminde, bitki sıraları arasında karık adı verilen küçük yüzlek kanallar açılır ve bu yüzlek kanallara su verilir. Su karık boyunca ilerlerken bir yandan da infiltrasyonla toprak içerisine sızar ve bitki kök bölgesinde depolanır. Açık karıklarda, karıktan çıkan su bir yüzey drenaj kanalı ile uzaklaştırılır ya da tekrar sulamada kullanılır (Şekil 6.8).

Karik sulama yöntemi, ıraya ekilen ya da dikilen bitkilerle meyve bahçeleri ve bağlar sulanmasında kullanılır. Yöntem, bitki kök boğazının ıslatılmasından zarar gören bitkilerin sulanmasına çok uygundur. Bunun nedeni,

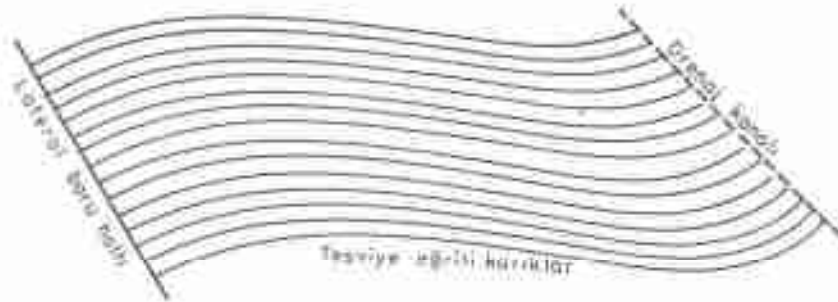


Şekil 6.8 Karık sulama yöntemi

bitkilerin karıklar arasındaki sırtlarda yetiştirilmesi ve bitki kök boğazının ıslatılmamasıdır.

Karik sulama yöntemi, kullanılabilir su tutma kapasitesi yüksek orta ve ağır bünyeli topraklarda kullanılır. Kaymak tabakası bağlama özelliğindeki ağır bünyeli topraklar için uygulanabilecek tek yüzey sulama yöntemidir. Yöntem, su alma hızı yüksek hafif bünyeli topraklarda karik boyları kısa olacağından pek tercih edilmez. Karik sulama yöntemini tuzlu topraklarda uygulamamak gerekir. Bunun nedeni, suyun yanal doğrultuda da toprak içerisine sızması ve nemin kapilarite ile karıklar arasındaki sırtlarda toprak yüzeyine doğru yükselmesidir. Suyun bu hareketi sırasında, su içerisinde erimiş tuzlar karik sırtlarına taşır ve burada birikir. Bitkiler karıklar arasındaki sırtlarda yetiştirildiğinden tuzdan zarar görürler.

Karik sulama yönteminde, sulama doğrultusundaki eğimin genellikle % 1'den az olması istenir. Ancak, yağış nedeniyle oluşan erozyon tehlikesinin bulunmadığı yerlerde eğim % 3'e kadar çıkarılabilir. Sulama doğrultusuna dik yönde eğim olabilir. Ancak, karıklara suyun kolaylıkla alınması açısından, tarla başı kanalının eğimi % 0.2'den fazla olmamalıdır. Bunun yanında, karik sulama yöntemi eğimi % 15'e varan yamaç arazilerin sulanmasında da kullanılabilir. Bu koşulda karıklar tesviye eğrilere paralel açılır. Bunlara tesviye eğrili karik adı verilir (Şekil 6.9).

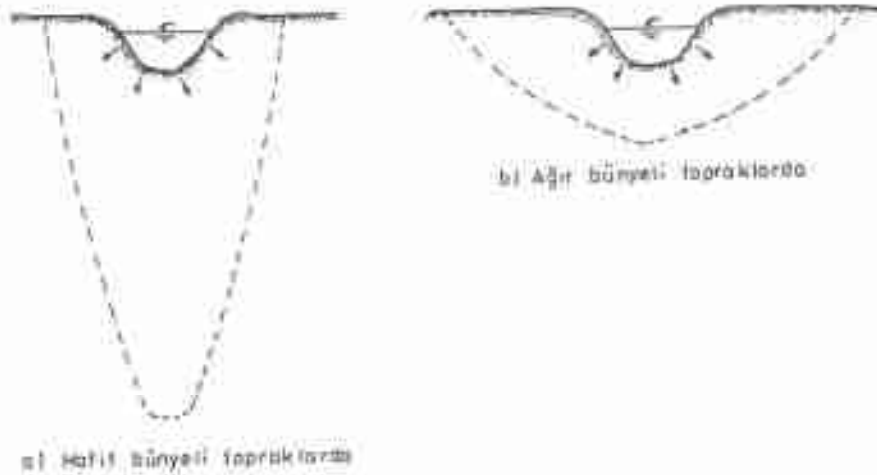


Şekil 6.9: Tesviye eğrili karıklar

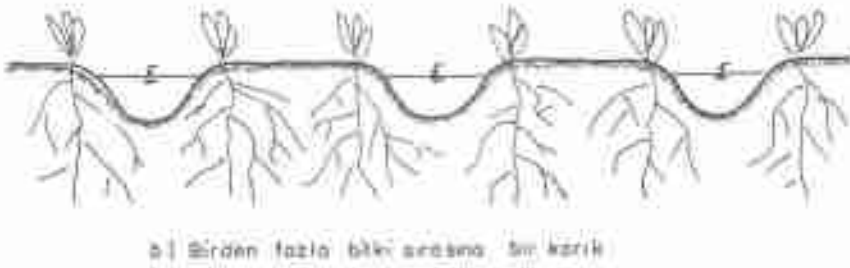
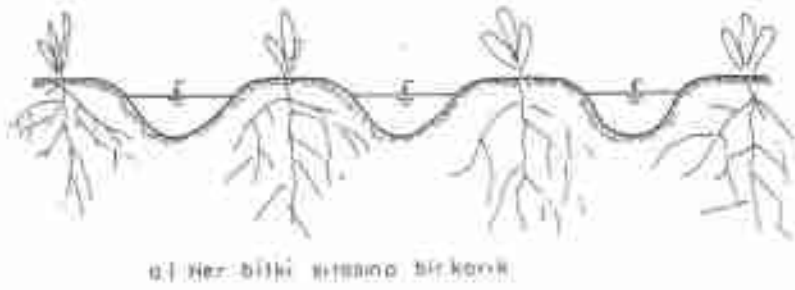
Karık sulama yönteminde, hafif bünyeli topraklarda, suyun derine hareketi fazla buna karşılık yanal hareketi daha azdır. Ağır bünyeli topraklarda ise bu işlem terstir. Başka bir deyişle, ağır bünyeli topraklarda suyun yanal hareketi fazla, derine hareketi azdır (Şekil 6.10). Bu nedenle, ağır bünyeli topraklarda karık aralığı daha fazla alınabilir. Suyun yanal hareketinin az olduğu topraklarda karık aralığı geniş almırsa, karıklar arasında ıslatılmayan alan kalabilir.

Uygulamada genellikle, bitki sıra aralığı 0.50 m ve daha fazla ise her bitki sırası için bir karık açılır (Şekil 6.11 a). Bitki sıra aralığının daha dar olması koşulunda, karıklar arasındaki yastıklarda iki yada daha çok bitki sırası olur (Şekil 6.11 b), ya da her bitki sırası için çizi adı verilen küçük karıklar açılır. Çizilerin karıklardan farkı, debilerinin az ve boylarının daha kısa olmasıdır. Projeleme ve işletme açısından başka herhangi bir fark yoktur.

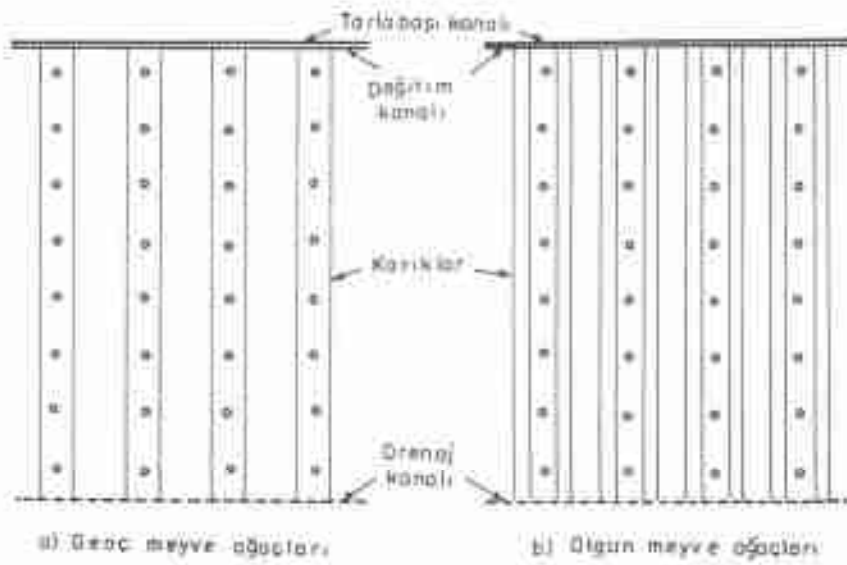
Meyve ağaçları ve bağların sulanmasında her ağaç sırası için birden fazla karık açılır. Genç meyve ağaçlarında yada dar ağaç aralığı koşulunda her sıraya iki karık (Şekil 6.12 a), olgun meyve ağaçlarında yada geniş ağaç aralığı koşulunda her sıraya ikiden fazla karık (Şekil 6.12 b) planlanabilir. Yabancı ot kontrollünün makina ile yapıldığı meyve bahçelerinde, tava ya da uzun tava sulama yöntemlerine oranla karık sulama yöntemi daha kolaylıkla uygulanabilir. Bunun nedeni, yabancı ot kontrollü sırasında arazi işlenirken bozulan karıkların



Şekil 6.10 Karık sulama yönteminde suyun toprak içerisinde hareketi



Şekil 6.11 Tarla bitkileri ve sebzelerin sulanmasında kanıkların tertibi



Şekil 6.12 Meyve bahçelerinin sulanmasında kanıkların tertibi

makina ile kolaylıkla açılabilir. Tava yada uzun tava sulama yöntemlerinde bozulan seddelerin yeniden yapımı daha güç olabilmektedir.

Aynı anda su verilen karıkların tamamına karık seti adı verilmektedir (Şekil 6.8) Uygulamada, su kaynağında mevcut sulama sayısının tamamı bir karık setine verilir ve bu sette sulama tamamlandıktan sonra bir diğer karık setine geçilir.

Karık sonunun açık ya da kapalı olmasına göre üç karık tipi söz konusudur. Bunlar;

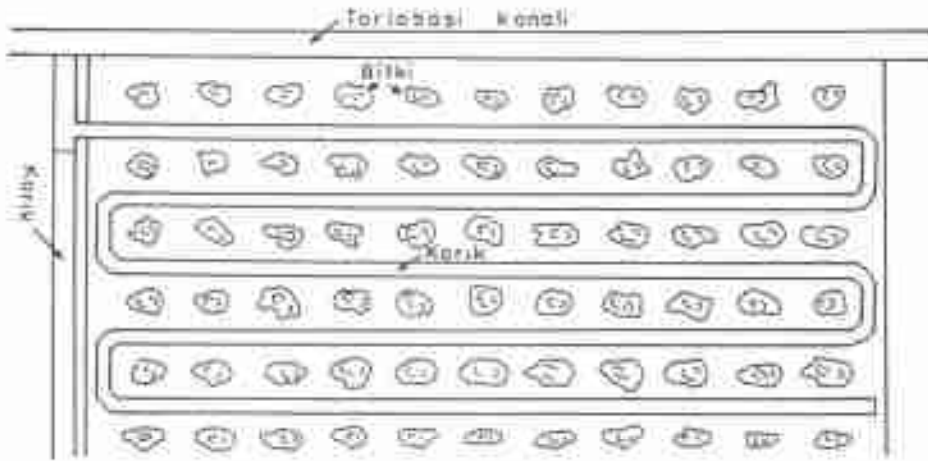
- 1) Sabit debili açık karıklar,
- 2) Değişken debili açık karıklar ve
- 3) Kapalı karıklardır.

Sabit debili açık karıklarda, sulama süresi boyunca her karığa sabit debide su verilir. Karık sonu açıktır. Sulama doğrultusunda eğimin olduğu ve karıklardan çıkan suyun yeniden sulamada kullanıldığı koşullarda uygulanır. Karıklardan çıkan su miktarı çok fazladır. Dolayısıyla, karıklardan çıkan su yeniden sulamada kullanılmazsa sulama randımanı çok düşük olur.

Sulama doğrultusunda eğim varsa ve karıklardan çıkan suyun tekrar sulamada kullanılması olanağı yoksa değişken debili açık karıklar seçilir. Bu tip karıklarda yine karık sonu açıktır. Karıklara verilen su karık sonuna ulaşınca karık debisi yarıya düşürülür. Sulama süresinin artakalan kısmında karıklara azaltılmış bu debi uygulanır. Böylece, sulama süresi boyunca karıklardan çıkan su miktarı azaltılmış ve su uygulama randımanı artırılmış olur. Değişken debili açık karıklarda işletme şöyle yapılır. Önce, su kaynağında mevcut sulama sayısının tamamı bir karık setine verilir. Su karıkların sonuna ulaşınca, suyun tamamı ikinci karık setine verilir. Su bu karık setinin de sonuna ulaşınca, suyun tamamı artakalan sulama süresi boyunca (net infiltrasyon süresinde) her iki karık setine verilir. Böylece, karık debisi yarıya düşürülmüş olur.

Kapalı karıklar ise sulama doğrultusunda eğimin olmadığı, yada karık uçları arasındaki yükseklik farkının net sulama suyu derinliğini aşmadığı koşullarda uygulanır. Karık sonları kapalıdır. Dolayısıyla, karıklardan su çıkışı söz konusu değildir. Bu tip karıklarla yapılan sulamaya karıklarda göllendirme yöntemi adı da verilmektedir. Açık karıklara nispeten su uygulama randımanı daha yüksek, ancak karık boyları nispeten daha kısadır. Karıklardan su çıkışı olmadığı için yüzey drenaj kanallarına ihtiyaç yoktur.

Özellikle sebzelerin sulanmasında uygulanan bir diğer kapalı karık biçimi Şekil 6.13'te görülmektedir. Bu tip karıklar zigzag biçiminde açılırlar ve su kışın zamanda karıklarda göllendirilir.



Şekil 6.13 Kısa kapılı karıklarda göllendirme

Açık karık sulama yönteminde, karık sonuna oranla karık başlangıcında daha fazla su toprağa girmektedir. Çünkü, karık sonunda net sulama suyu miktarının toprağa girmesi ve bitki kök bölgesinde depolanması için en az net infiltrasyon süresi kadar su akıtılmalıdır. Suyun karık sonuna ulaşması için belirli bir süre geçeceğinden (su ilerleme süresi), karık başlangıcında net infiltrasyon süresi ile su ilerleme süresinin toplamı kadar su bulundurulmalıdır. Dolayısıyla, karık başlangıcında net sulama suyu miktarından daha fazla su toprağa ızar. Açık karıklarda hem derine sızma, hem de karıklardan su çıkışı nedeniyle yüzey akışı söz konusudur (Şekil 6.14).

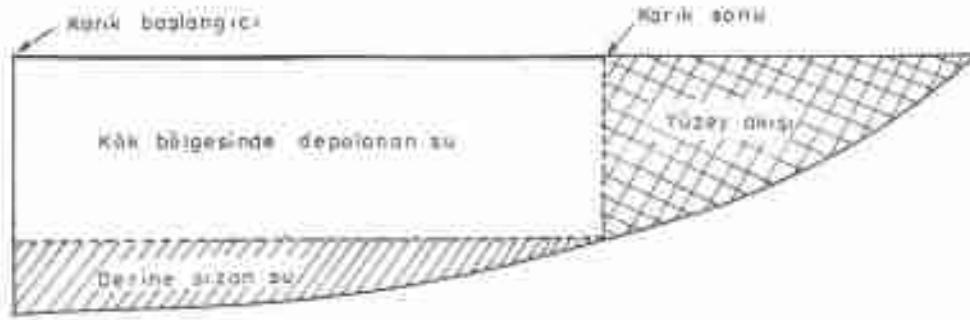
Açık karıklarda sulama süresi;

$$T_a = T_n + T_l \quad (6.5)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

- T_a = Sulama süresi, dak,
- T_n = Net infiltrasyon süresi, dak ve
- T_l = Su ilerleme süresi, dak dir.

Net infiltrasyon süresi, daha önce verilen (6.1) nolu eşitlikle hesaplanır.



Şekil 6.14 Açık karıklarda sulama deseni

Ancak, burada a ve b ampirik katsayıları, karıkları giren ve çıkan suyun ölçülmesi yoluyla elde edilen eideneli su alma eşitliğinden alınmalıdır. Çift silindirik infiltrometre ölçme sonuçları karık sulama yönteminde kullanılamaz. Bunun yanında, sulama süresini hesaplayabilmek için sulama sırasında suyun karık sonuna ulaşma süresinin ölçülmesi gerekmektedir. Açık karıklarda, karık boyunca yeterli düzeyde eş su dağılımının elde edilmesi açısından, su ilerleme süresinin net infiltrasyon süresinin % 25'inden fazla olması istenmez. Aksi durumda ya karık boyu azaltılmalı ya da karık debisi artırılmalıdır. Ancak, karık debisi seçilirken, karıklarda erozyona neden olmayacak ve karık içerisindeki su yüksekliği, karık yüksekliğinin % 75'ini aşmayacak debi seçilmelidir.

Açık karıklarda uygulanacak toplam sulama suyu miktarı aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır.

Sabit debili açık karıklarda;

$$d_i = \frac{60q(T_s + T_i)}{wL} \quad (6.6)$$

Değişken debili açık karıklarda;

$$d_i = \frac{60}{wL} \left(qT_i + \frac{q}{2}T_s \right) \quad (6.7)$$

Bu eşitliklerde;

d_t = Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm,

q = Karık debisi, L/s,

T_n = Net infiltrasyon süresi, dak,

T_i = Su ilerleme süresi, dak,

w = Karık aralığı, m ve

L = Karık uzunluğu, m'dir.

Su uygulama randımanı ise;

$$E_a = 100 \left(\frac{d_n}{d_t} \right) \quad (6.8)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

E_a = Su uygulama randımanı, %,

d_n = Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm ve

d_t = Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm'dir.

Örnek :

Verilenler :

-Karık uzunluğu, $L = 160$ m

-Karık aralığı, $w = 0.60$ m

-Karık debisi, $q = 1$ L/s

-Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, $d_n = 80$ mm

-Karıklara giren ve çıkan suyun ölçülmesi yoluyla $w = 0.60$ m karık aralığı için elde edilen eklemeli su alma eşitliği, $D = 4.5 T^{0.52}$ ($a = 4.5$ ve $b = 0.52$)

-Su ilerleme süresi, $T_i = 54$ dak

İstenenler :

-Sulama süresi

-Sabit ve değişken debili açık karıklar için her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı

Çözüm :

1) Net infiltrasyon süresi,

$$T_n = \left(\frac{d_n}{a} \right)^{1/b} = \left(\frac{80}{4.5} \right)^{1/0.52} = 253 \text{ dak}$$

4) Sulama süresi;

$$T_s = \frac{wL d_s}{60q E_s} = \frac{0.80 \times 120 \times 60}{60 \times 1.2 \times 0.82} = 98 \text{ dak}$$

5) Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı;

$$d_t = \frac{d_s}{E_s} = \frac{60}{0.82} = 73.2 \text{ mm}$$

6.6. YAĞMURLAMA SULAMA YÖNTEMİ

Yağmurlama sulama yönteminde, arazi üzerine belirli aralıklarla yağmurlama başlıkları yerleştirilir. Sulama suyu, bu başlıklardan basınç altında püskürtülerek doğal yağışa benzer biçimde atmosfere verilir. Su buradan toprak yüzeyine dğer ve infiltrasyonla toprak içerisine sızarak kök bölgesinde depolanır.

Yağmurlama sulama yöntemi, yapraklarının ıslanmasından kaynaklanan hastalıklara duyarlı bitkiler dışındaki tüm bitkilerin sulanmasında kullanılabilir. Ayrıca, her türlü toprak bünyesinde ve topografik koşullarda uygulanabilir. Yöntem özellikle, yüzey sulama yöntemlerinin uygulanamadığı su alma hızı yüksek hafif bünyeli topraklarla, eğimi yüksek ya da dalgalı topografyaya sahip alanların sulanmasına çok uygundur.

Yağmurlama sulama yönteminin yüzey sulama yöntemlerine olan üstünlükleri şöylece sıralanabilir;

1) Topografyası düzgün olmayan tarım alanlarının teviyesine gerek yoktur.

2) Su alma hızı yüksek hafif bünyeli topraklarda yüksek su uygulama verimliliği sağlanır.

3) Geçirimsiz tabaka ya da taban suyunun yakın olduğu yüzlek topraklarda taban suyu oluşturmada ya da taban suyunu yükseltmeden kontrollü bir sulama yapılabilir.

4) Su iletim ve su uygulama verimliliği daha yüksektir. Başka bir deyişle, birim alanda ihtiyaç duyulan sulama suyu ihtiyacı daha azdır ve kısıtlı su kaynağı koşullarında sudan daha çok yararlanır.

5) İyi bir projelendirme ve uygulama ile erozyon sorunu ortadan kalkar.

6) Boru hatları gömülü olduğundan ya da yüzeyde serili ipe açık kanallara

oranla daha az yer kapladığından tarım dışı alan daha azdır ve mekanalı tarımsal işlemler daha kolaylıkla yapılabilir.

7) Sulama kolaylıkla yapılır ve işçilik masrafları azalır.

8) Bitki besin maddeleri ve tarım ilaçları sulama suyu ile birlikte verilebilir.

9) Ekonomik değeri yüksek bazı sebzeler ve meyve ağaçları dünden korunabilir.

Bunların yanında, yağmurlama sulama yönteminin uygulanmasını kısıtlayan bazı etmenler de söz konusudur. Bunlar aşağıda açıklanmıştır.

1) Yağmurlama sulama sistemlerinin ilk yatırım masrafları yüksektir.

2) Gerekli işletme basıncını sağlamak için genellikle bir pompa birimine, dolayısıyla sürekli enerjiye ihtiyaç vardır. Bu da işletme masraflarını artırmaktadır.

3) Yüksek rüzgar hızı suyun dağılımını olumsuz yönde etkiler. Sulamanın, rüzgar hızının düşük olduğu saatlerde yapılması ya da lateral boru hatlarının etken rüzgar yönüne dik olacak biçimde yerleştirilmesi yoluyla bu sorun belirli oranda azaltılabilir.

4) Yüksek sıcaklığa sahip yörelerde buharlaşma kayıpları artar ve dolayısıyla su uygulama verimliliği düşer. Bu yörelerde sulamanın gece yapılmasıyla bu sorun belirli ölçüde ortadan kaldırılabilir.

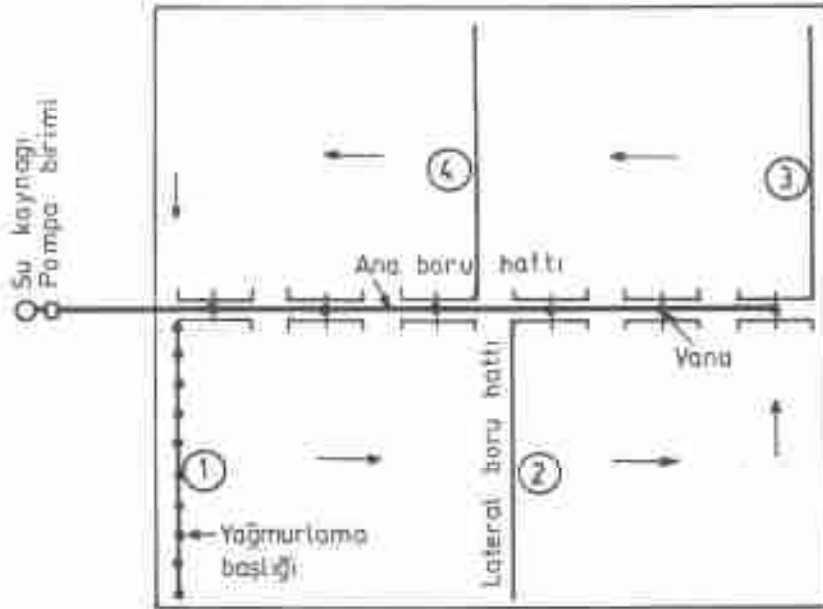
5) Bitkilerin tozlaşma döneminde yapılan sulama zararlı olabilir.

6) Bitki yaprakları ıslatıldığından bazı bitki hastalıkları yayılma eğilimi gösterebilir.

6.6.1. Yağmurlama Sulama Sisteminin Unsurları

Bir yağmurlama sulama sistemi genellikle pompa birimi, ana boru hattı, lateral boru hatları ve yağmurlama başlıklarından oluşmaktadır (Şekil 6.15).

Pompa birimi : Yağmurlama sulama sistemlerinde, su kaynağının yeteri kadar yüksekte olmadığı koşullarda, gerekli işletme basıncı pompa birimi ile sağlanmaktadır. Akarsu, göl, kanal, keson kuyu vb. gibi su kaynaklarında santrifluj tipi pompalar, derin kuyularda ise derin kuyu pompaları yada dalgaç tipi pompalar kullanılmaktadır. Pompaların çalıştırılmasında içten yanmalı motorlar yada elektrik motorlarından yararlanılır. İşletme ve bakım kolaylığı açısından elektrik motoru ile çalışan pompalar tercih edilmektedir.



Şekil 6.15: Yağmurlama sulama sisteminin unsurları

Ana boru hattı : Sulama suyunu kaynaktan lateral boru hatlarına iletir. Gömülü ya da yüzeyde olabilir. Gömülü ana boru hatları sert PVC ya da asbestli çimento borulardan oluşturulur. Toprak yüzeyine serili olanlarda ise alüminyum, sert PVC ya da PE borular kullanılır.

Lateral boru hatları : Üzerinde yağmurlama başlıkları bulunan boru hatlarıdır. Genellikle toprak yüzeyine döşenirler ve alüminyum, sert PVC ya da PE borulardan oluşturulurlar.

Boru hatları yüzeye serili olduğunda, bağlantı yerlerinde, basınç kullanca boru içerisindeki suyu hızla drene edebilen özel yağmurlama contaları kullanılır. Gömülü boru hatlarında ise contaların her koşulda sızdırmaz olması gerekir. Bunun yanında, boru hatlarında pompa bağlantısı, vana bağlantısı, dirsek, T parçası, kros (+ parçası), yükselticili bağlayıcı, kör tapa gibi bağlantı elemanları bulunur. Ayrıca, boru hatları üzerine, basıncın kontrol edildiği basınç regülatörleri, su hacminin ya da debinin ölçüldüğü su sayacı ya da debi ölçerler, basıncın ölçüldüğü manometreler ve suyun denetlendiği vanalar yerleştirilir.

Yağmurlama başlıkları : Lateral boru hatları üzerine yerleştirilirler. İşlevlerine göre tarla ve bahçe yağmurlama başlıkları biçiminde sınıflandırılır. Tarla tipi yağmurlama başlıklarında su püskürtme açısı 30° - 33° 'dir ve bitkiler üstten ıslatılır. Bahçe tipi yağmurlama başlıklarında ise su püskürtme açısı 10° - 12° kadardır. Su püskürtme açısının düşük tutulmasının nedeni, meyve ağaçlarını yapraklarını ıslatmadan alttan sulayabilmek içindir.

Yağmurlama başlıkları genellikle döner tiptedir ve başlık dönme hızı 0.8 - 1.2 devir/dakika arasında değişir. Bunun yanında, özellikle meyve ağaçları ve seraların sulanmasında kullanılan dönmeyen tipler de söz konusudur.

İşletme basıncı, yağmurlama başlıklarının memelerinde istenen basınç olarak tanımlanır. İşletme basıncı 2 atmosferden az ise düşük basınçlı, 2 - 4 atmosfer arasında ise orta basınçlı ve 4 atmosferden fazla ise yüksek basınçlı yağmurlama başlığı adı verilmektedir. İşletme basıncı 6 - 8 atmosfer olan büyük jet tipi yağmurlama başlıkları da uygulamada kullanılmaktadır. Başlık işletme basıncı arttıkça, meme çapı ve ıslatma çapı da artmaktadır.

Meyve ağaçlarının sulanmasında, her ağaç altına yerleştirilen düşük basınçlı küçük yağmurlama başlıkları (mini sprinkler) da yaygın olarak kullanılmaktadır. Küçük yağmurlama başlıklarının meme çapları 2 - 3 mm, işletme basınçları 1 - 2 atm ve ıslatma çapları 2 - 8 m kadar olmaktadır. 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 denmektedir. Bu yöntem ilerideki bölümlerde açıklanacaktır.

Orta basınçlı yağmurlama başlıklarının meme çapları 3 -8 mm ve ıslatma çapları 15 - 30 m arasında değişmektedir. Bu tip başlıklar, tarla bitkileri sebzeler ve meyve bahçelerinin sulanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Meyve bahçelerinde, ağaç üstünden ve ağaç altından sulama yapılabilmektedir. Ağaç üstü sulama sistemlerinde tarla tipi yağmurlama başlıkları kullanılmakta, ancak ağaç yaprakları ıslatıldığından hastalıkların yayılmasına ortam hazırlandığı için bu tip sulama pek tercih edilmemektedir. Ağaç altı sulama sistemlerinde ise bahçe tipi yağmurlama başlıkları kullanılmaktadır. Bu sistemlerin ağaç altı mikro yağmurlama sistemlerinden farkı, alanın belirli kısmı yerine tamamını ıslatılmasıdır. Genellikle lateraller her iki ağaç arasında bir ve yağmurlama başlıkları 4 ağacın ortasına gelecek biçimde döşenirler. Lateral boru hatları bir konumdan diğerine taşınır.

Yüksek basınçlı yağmurlama başlıklarında, meme çapları 12 - 32 mm ve ıslatma çapları 40 - 120 m arasında olabilmektedir. Bu tip başlıklar genellikle

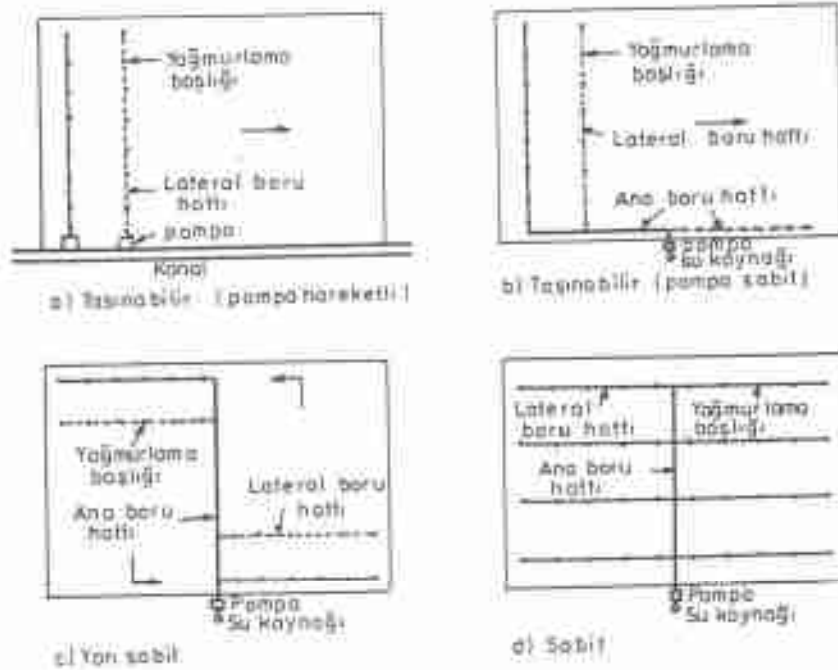
büyük işletmelerde tarla bitkilerinin sulanmasında kullanılırlar. Sebzelerin ve meyve ağaçlarının sulanmasında pek kullanılmazlar.

6.6.2. Tesis ve İşletme Durumuna Göre Yağmurlama Sulama Sistem Tipleri

Yağmurlama sulama sistemlerini tesis ve işletme durumuna göre; taşınabilir sistemler, yarı sabit sistemler ve sabit sistemler biçiminde üç sınıfa ayırmak mümkündür (Şekil 6.16).

Taşınabilir sistemlerde, bir konumda sulama tamamlandıktan sonra sistem unsurları bir başka konuma taşınmaktadır. Pompa taşınabildiği gibi (Şekil 6.16 a) sabit te olabilmektedir (Şekil 6.16 b). Bu sistemlerde ana ve lateral boru hatları toprak yüzeyine serilidir.

Yarı sabit sistemler, bir konumda sulama tamamlandıktan sonra yalnızca lateral boru hatlarının bir başka konuma taşındığı sistemlerdir (Şekil 6.16 c). Pompa ve ana boru hattı sabittir. Ana boru hattı genellikle toprak altına gömülür. Lateraller toprak yüzeyine serilidir. Uygulamada en çok kullanılan sistem tipidir.



Şekil 6.16 Taşınabilir, yarı sabit ve sabit yağmurlama sulama sistemleri

Sabit sistemlerde, sistemin tüm unsurları sabittir (Şekil 6.16 d). Ana ve lateral boru hatları genellikle gömülü olmaktadır. Yağmurlama başlıkları sulama mevsimi başlangıcında takılır, mevsim sonunda ise sökülerek depoya kaldırılır. Meyve bahçelerinin sulanmasında kullanılan ve küçük yağmurlama başlıklarını içeren ağaç altı mikro yağmurlama sulama sistemlerinde ise lateral boru hatları toprak yüzeyinde serilidir. Sulama mevsimi sonunda, yağmurlama başlıkları ile birlikte lateral boru hatları da sökülerek depoya kaldırılmaktadır.

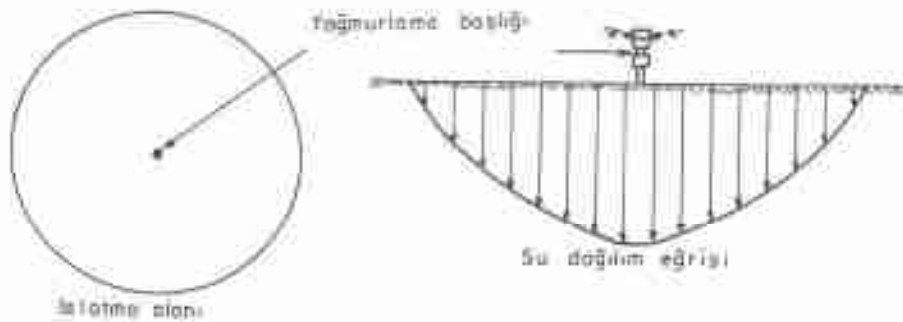
Sistem maliyeti açısından taşınabilir sistemler en ucuz, sabit sistemler en pahalı sistemlerdir. Ancak, işçilik masrafları açısından durum tersidir.

6.6.3. Yağmurlama Başlıklarında Su Dağılımı

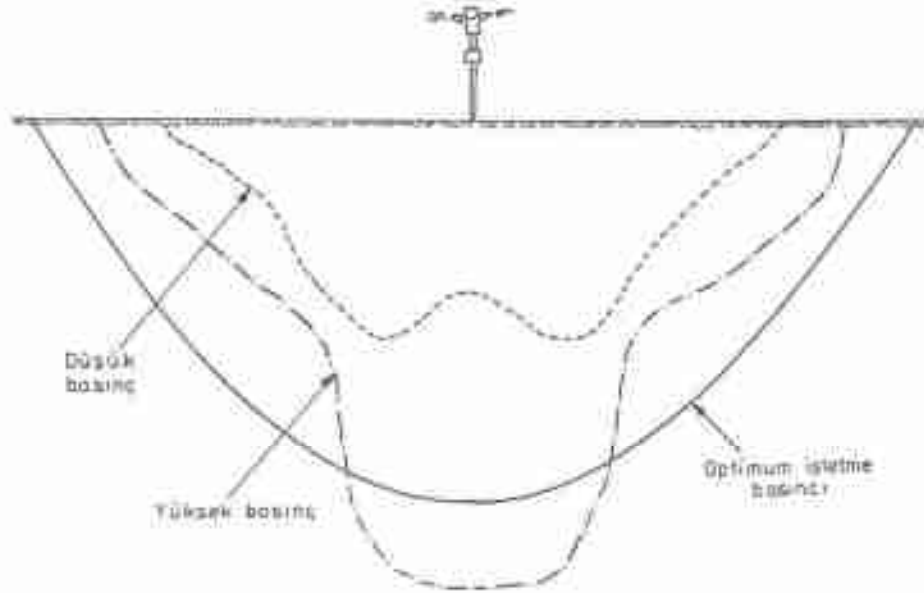
Yağmurlama sulama sistemlerinin ilk yatırım masrafları yüksek olduğu için, yüzey sulama yöntemlerine oranla daha iyi bir sulama randımanının elde edilmesi bir hakıma zorunludur. Bu da sulama suyunun alan üzerinde eş olacak biçimde dağıtımı ile sağlanır.

Yağmurlama başlıkları daire biçiminde bir alanı ıslatırlar. Buna ıslatma alanı denir (Şekil 6.17 a). ıslatma alanının kesitine ise su dağılım eğrisi adı verilmektedir (Şekil 6.17 b). Su dağılım eğrisinden de izleneceği gibi, yağmurlama başlığının yakınına suela su düşmekte ve ıslatma alanının çevresine yaklaştıkça düşen su miktarı da azalmaktadır.

Bir yağmurlama başlığının belirli meme çapı için optimum olan işletme basıncı sınırları vardır. Bu optimum işletme basıncı sınırları içerisinde, başlıktan çıkan su hızının ilk hızı ile suyun parçalanması ve su damlacıklarının ıslatma alanındaki dağılışı iyi bir su dağılım eğrisi sağlar. Bu sınırların üstünde ve altındaki işletme basınclarında ise randımanlı bir su dağılımı elde edilemez (Şekil 6.18).



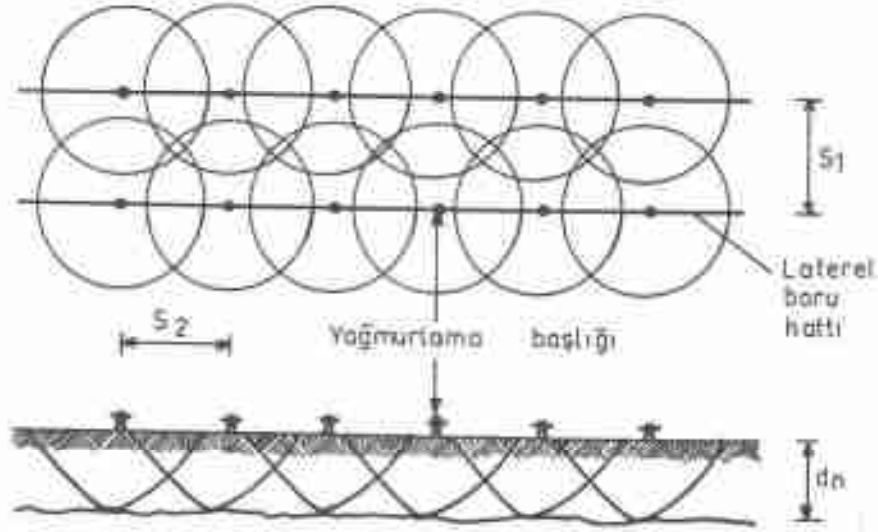
Şekil 6.17 Yağmurlama başlıklarında ıslatma alan ve su dağılım eğrisi



Şekil 6.18 Yağmurlama başlıklarında farklı işletme basınçlarındaki su dağılım eğrileri

Optimum basınç yükünde işletilen yağmurlama başlıkları, ıslatma alanları birbirini belirli oranda örtecek biçimde yerleştirilerek su dağılım desenleri elde edilir. Böylece alanın her tarafında eş bir su dağılımı sağlanmaya çalışılır (Şekil 6.19). Bir yağmurlama başlığının belirli meme çapı ve işletme basıncı için yeterli düzeyde eş su dağılımı veren ancak belirli tertip aralıkları vardır. Yağmurlama başlığını üreten kuruluş, başlığın çalışacağı optimum işletme basıncı sınırlarını ve yeterli düzeyde eş su dağılımı veren başlık tertip aralıklarını belirten bir teknik çizelgeyi hazırlayarak kullanıcıya vermekle yükümlüdür. Böyle bir teknik çizelge örnek olmak üzere Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4'te teknik özellikleri verilen yağmurlama başlığının optimum işletme basıncı sınırları 2.0 - 3.0 atm'dir. Bu başlık örneğin 1.5 atm basınçta çalıştırılmaz. Başlığın yine örneğin 18 x 12 m tertip aralıklarında çalıştırılabilmesi için işletme basıncının en az 3.5 mm meme çapı için 3.0 atm ve 3.9 mm meme çapı için 2.5 atm olması gerekir.



Şekil 6.19. Optimizasyon işletme basıncında uygun örtme ile sağlanan su dağılım deseni

Çizelge 6.4 Örnek bir yağmurlama başlığına ilişkin teknik özellikler

Meme çapı (mm)	İşletme basıncı (atm)	Başlık debisi (m ³ /h)	İşletme çapı (m)	Uygun tertip aralığı (mm)	Yağmurlama hızı (mm/h)
3.5	2.0	0.67	23.0	12 x 12	4.7
	2.5	0.74	23.0	12 x 12	5.2
	3.0	0.82	24.0	12 x 12	5.7
3.9	2.0	0.83	25.0	18 x 12	3.8
			25.0	12 x 12	5.8
	2.5	0.94	25.0	12 x 12	6.6
			26.0	18 x 12	4.4
	3.0	1.01	26.0	12 x 12	7.1
			26.0	18 x 12	4.7

Çizelge 6.4'te verilen yağmurlama hızı daima toprağın su alma hızından küçük olmalıdır. Aksi durumda, sulama sırasında toprak yüzeyinde göllenme olur, su yüzey akışa geçerek erozyona nederi olabilir. Örneğin, çift silindır infiltrometre ile toprağın su alma hızı 6.8 mm/h ölçülmüşse, Çizelge 6.4'te verilen yağmurlama başlığı 3.9 mm memo çapında 3.0 atm işletme basıncında 12 x 12 m tertip aralıklarında kullanılmamalıdır. Çünkü, bu koşullarda yağmurlama hızı 7.1 mm/h tir ve toprağın su alma hızından yüksektir.

Teknik çizelgelerde yağmurlama hızı verilmemişse bu değer,

$$I_y = \frac{1000 q_e}{S_1 \times S_2} \quad (6.11)$$

esitliği ile hesaplanır. Esitlikte;

- I_y = Yağmurlama hızı, mm/h,
- q_e = Başlık debisi, m³/h,
- S_1 = Lateral aralığı, m ve
- S_2 = Başlık aralığı, m'dir.

Örneğin, başlık debisi $q_e = 0.67$ m³/h ve başlık tertip aralıkları $S_1 \times S_2 = 12 \times 12$ m ise yağmurlama hızı;

$$I_y = \frac{1000 q_e}{S_1 \times S_2} = \frac{1000 \times 0.67}{12 \times 12} = 4.7 \text{ mm/h}$$

biçiminde hesaplanır.

Başlık tertip aralıkları ($S_1 \times S_2$) şeklinde ifade edilir. Burada, S_1 lateral aralığı ve S_2 başlık aralığıdır. Başlık aralığı hiçbir zaman lateral aralığından büyük olamaz.

6.6.4. Sistem Tertibi ve Sulama Süresi

Yağmurlama sulama sistemlerinde, lateral boru hatları tesviye eğrilerine paralel ya da bayır aşağı eğimde döşenmelidir. Olanaklar ölçüsünde bayır yukarı eğimde döşemekten kaçınılmalıdır. Lateral uzunluğu zorunlu kalmadıkça 250 m'den fazla tutulmamalıdır. Ana boru hattı, laterallere dik olacak ve olanaklar ölçüsünde laterallere iki yönlü su verecek biçimde yerleştirilmelidir.

Yağmurlama sulama yönteminde sulama süresi, uygulanacak toplam sulama suyu miktarının yağmurlama hızına bölünmesi ile elde edilir. Bu değer aynı zamanda, lateral boru hattının bir konumda çalıştırılacağı süreyi verir.

$$\bar{T}_s = \frac{d_i}{I_r} \quad (6.12)$$

Eşitlikte,

T_s = Sulama süresi, h.

d_i = Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm ve

I_r = Yağmurlama hızı, mm/h'tir.

Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, bilindiği gibi, her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarının su uygulama randımanına bölünmesi ile elde edilir. Yağmurlama sulama yöntemi için su uygulama randımanları Çizelge 6.5'te verilmiştir.

Örnek :

Verilenler :

-Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, $d_n = 80$ mm

-Bitki su tüketimi, $ET = 6.8$ mm/gün

-Ortalama rüzgar hızı, $u = 7.2$ km/h

-Yağmurlama hızı, $I_r = 9.2$ mm/h

İstenen :

-Sulama süresi

Çözüm :

1) Su uygulama randımanı bulunur.

$d_n = 80$ mm, $ET = 6.8$ mm/gün ve $u = 7.2$ km/h için Çizelge 6.5'ten $E_s = \% 67$

2) Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı hesaplanır.

$$d_i = \frac{d_n}{E_s} = \frac{80}{0.67} = 119.4 \text{ mm}$$

3) Sulama süresi hesaplanır.

$$\bar{T}_s = \frac{d_i}{I_r} = \frac{119.4}{9.2} = 13 \text{ h}$$

Çizelge 6.5 Yağmurlama Sulama Yönteminde Su Uygulama Randimimleri, E_a (%)

Net sulama suyu miktarı, d_s (mm)	Bitki su tüketimi, ET (mm/gün)		
	5.0'ten az	5.0 - 7.5	7.5'ten fazla
Ortalama rüzgar hızı 6.5 km/h'ten az			
25	66	65	62
50	70	68	65
100	75	70	68
150	80	75	70
Ortalama rüzgar hızı 6.5 - 16.5 km/h			
25	65	62	60
50	68	65	62
100	70	68	65
150	75	70	68
Ortalama rüzgar hızı 16.5 - 25 km/h			
25	62	60	58
50	65	62	60
100	68	65	62
150	70	68	65

6.7. DAMLA SULAMA YÖNTEMİ

Damla sulama yönteminde temel ilke, bitkide nem eksikliğinden kaynaklanan bir gerilim yaratmadan, 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 içine 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 çerit elde edilir ve bitki sıradan arasında ıslatılmayan kuru bir alan kalır. Böylece, mevcut sulama suyundan en üst düzeyde yararlanılır.

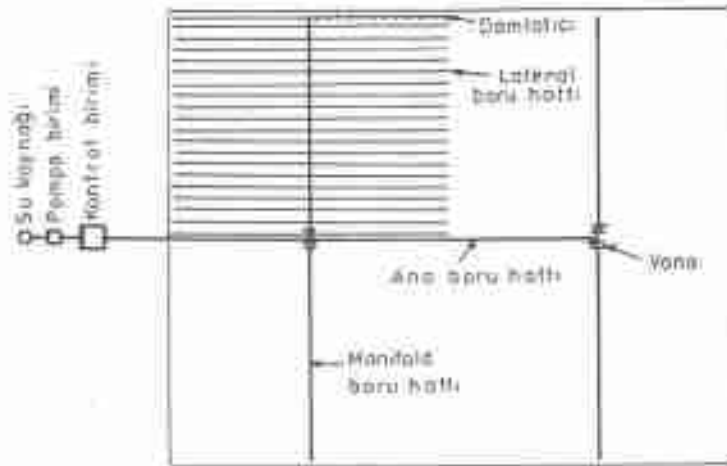
Damla sulama sistemi sabit sistem biçimindedir. Sistem unsurları, sulama mevsimi boyunca aynı konumda kalırlar. Ancak, sulama mevsimi sonunda bazı unsurlar araziden kaldırılır.

6.7.1. Damla Sulama Sisteminin Unsurları

Bir damla sulama sistemi sırasıyla pompa birimi, kontrol birimi, ana boru hattı, manifold boru hatları, lateral boru hatları ve damlatıcılarıdan oluşur (Şekil 6.20).

Su kaynağı : Damla sulama yönteminde her türlü su kaynağından yararlanılabilir. Ancak suyun fazla miktarda kum, sediment ve yüzücü cisim içermemesi gerekir. 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 santriflaj, derin kuyu ya da dalgıç tipi pompalardan biri kullanılabilir. Pompanın elektrik motoru ile çalıştırılması tercih edilir.



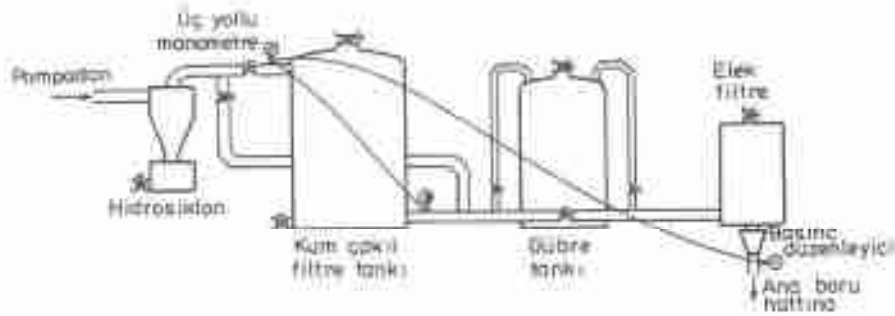
Şekil 6.20 Damla sulama sisteminin unsurları

Kontrol birimi : Damla sulamada, suyun çok iyi süzülükten sonra sisteme verilmesi gerekir. Aksi durumda damlatıcıların tıkanması sorunuyla karşılaşılır. Bu işlem kontrol biriminde yapılır. Kontrol biriminde ayrıca, sisteme verilecek sulama suyunun basınç ve miktarı denetlenir ve bitki besin maddeleri sulama suyuna karıştırılır. Kontrol birimi genellikle ana boru hattının başlangıcına kurulur.

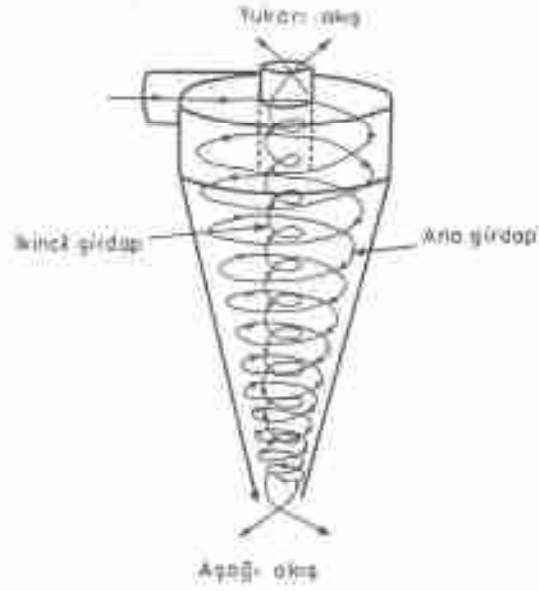
Kontrol biriminde; hidrosiklon, kum-çakıl filtre tankı, gübre tankı, elek filtre, basınç regülatörü, su ölçüm araçları, manometreler ve vanalar bulunur (Şekil 6.21).

Hidrosiklon, suda bulunabilecek kum parçacıklarının sisteme girmeden önce tutulduğu araçtır. Hidrosiklonun kesiti ve suyun hidrosiklon içerisindeki hareketi Şekil 6.22'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.

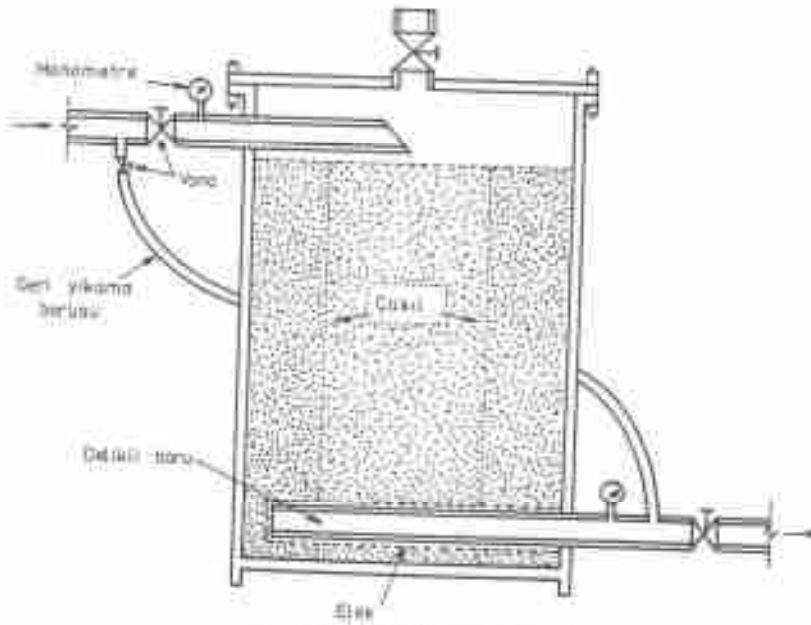
Kum-çakıl filtre tankında, sulama suyunda bulunabilecek sediment ve yüzcü cisimler tutulur. Tipik bir kum-çakıl filtre tankının kesiti Şekil 6.23'te verilmiştir. Su tankın üstten girer, çakıl, kum ve çakıl katmanlarından geçtikten sonra tankın altından çıkar. Bu arada sediment ve yüzcü cisimler genellikle 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 biriken sediment ve yüzcü cisimler yıkatarak tank temizlenir.



Şekil 6.21: Kontrol birimi elemanları



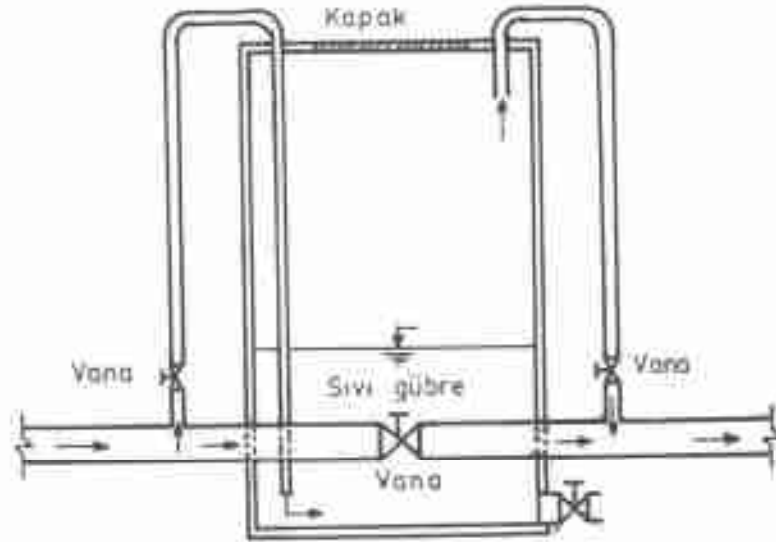
Şekil 6.22 Hidrosiklonunda suyun hareketi



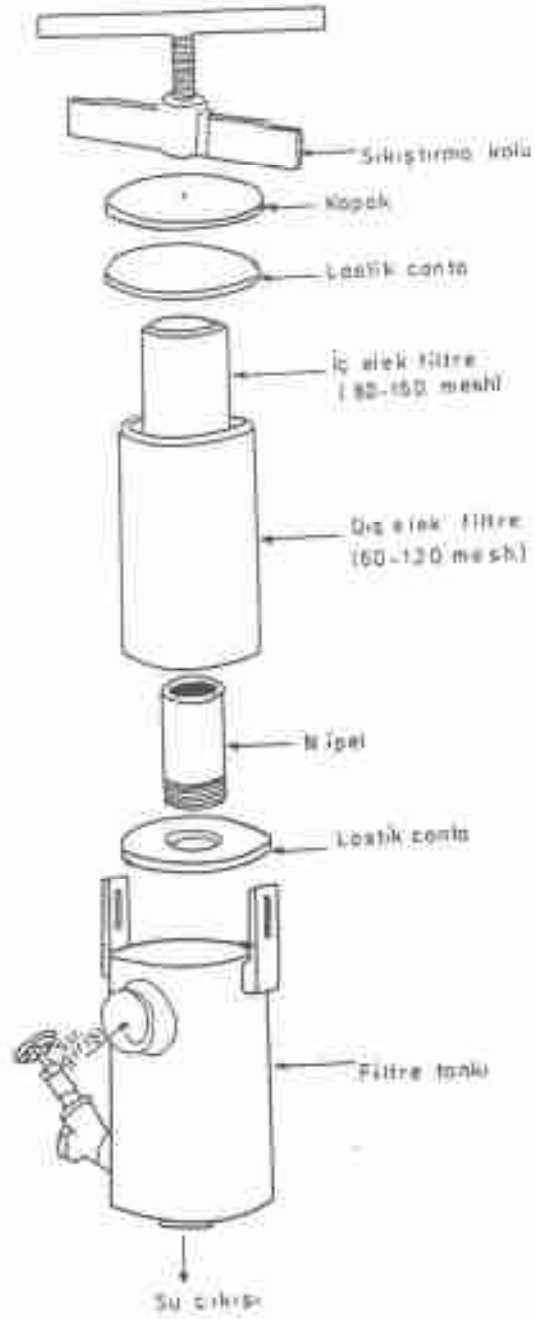
6.23 Kum-çakıl filtre tankı kesiti

Damla sulama sistemlerinde bitki besin maddeleri sulama suyuyla 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 üzerinde ayrıca, değinilen bu nokta arasında basınç farklığı 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 karıştır ve tekrar ana boruya döner (Şekil 6.24).

Kontrol birimine, gübre tankından sonra elek filtre yerleştirilir. Filtre genellikle silindirik biçimindedir (Şekil 6.25). Tek ya da iç içe geçmiş iki filtreden oluşabilir. Elek filtrelerin 80 - 200 mosh aramında olması önerilmektedir. Dış filtrenin elek numarası genellikle daha düşüktür. Elek filtre ile, kum-çakıl filtre tankında süzilemeyen sediment ve gübre tankından gelebilecek gübre parçacıkları tutulur. Her sulamadan sonra elek filtreler sökülür ve yıkanarak temizlenir.



Şekil 6.24: Gübre tankı kesiti



Şekil 6.25 Elek filtresinin kesiti ve unsurları

Elek filtreden sonra, suyun boru hattına sabit basınç altında verilmesini sağlamak için bir basınç reglâtörü yerleştirilir. Basınç reglâtörleri 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 zamanlarla filtreler temizlenir.

Ana boru hattı : Suyu kaynaktan manifold boru hatlarına iletir. Genellikle gömülüdür ve sert PVC borulardan oluşturulur. Küçük sistemlerde ana boru hattı toprak yüzeyine döşenebilir. Bu konuda sert PE borular kullanılır.

Manifold boru hattı : Suyu ana boru hattından laterallere iletir. Laterallerin doğrudan ana boru hattına bağlanması durumunda, su girişini denetlemek için her lateralın başına bir vanaın yerleştirilmesi zorunluluğu vardır. Bu ise hem sistem maliyetini çok önemli boyutlarda artırır hem de sistemin işletilmesini güçleştirir. Bunun yerine, belirli sayıda 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 kaçınılmalıdır. Bu hatlar, ana boru hattına dik olabileceği gibi paralel de olabilir.

Lateral boru hatları : Üzerine damlatıcıların yerleştirildiği borulardan oluşturulur. Toprak yüzeyine serilidir 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 kaçınılmalıdır.

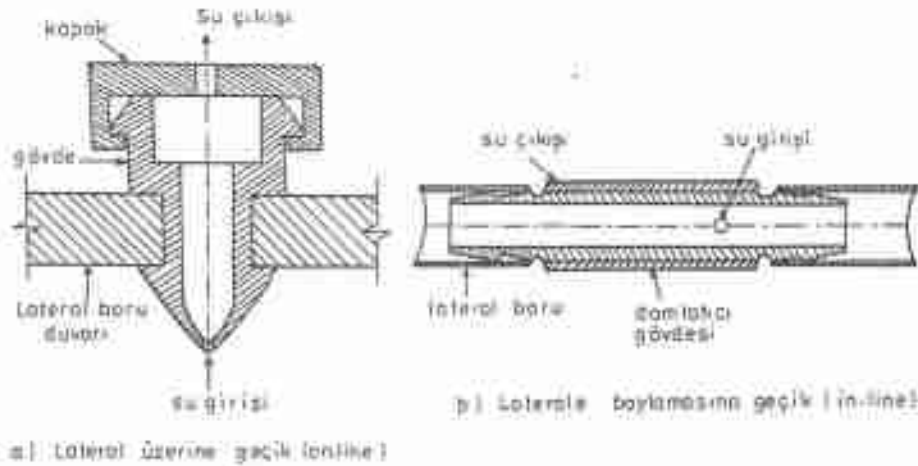
Damlatıcılar : Sistemin en önemli ve çok dikkatle seçilmesi gereken elemanlardır. Lateral borulardaki basınçlı su damlatıcıya geçtikten sonra, damlatıcı içerisindeki akış yolu boyunca ilerlerken, suyun enerjisi sürtünme ile önemli ölçüde kırılır. Bunun sonucunda, su damlatıcıdan damlalar biçiminde çok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

Damlaticılar genellikle, lateral üzerine geçik (on-line) ve laterale boylanmasına geçik (in-line) olmak üzere iki tipte yapılmaktadır (Şekil 6.26). Lateral üzerine geçik damlaticılarda, damlatıcı girişi lateral boru içinde ve gövde borunun dışındadır. Bu tip damlaticılar orifis girişli ve genellikle kısa akış yolludur. Suyun enerjisi, girişteki orifis ve akış yolu boyunca kırılır. Laterale boyuna geçik damlaticılarda ya lateral boru damlaticının iki ucuna bağlanmakta ya da damlaticılar lateral boru içerisine sabit aralıklarla ve boylanmasına yerleştirilmektedir. Akış yolu genellikle uzundur. Su lateral boru çeperinden damlaticıya girmekte, uzun akış yolu boyunca enerjisi kırılmakta ve lateral boru dışından çıkmaktadır.

Uygulamada damlaticılar PVC, PE ve ABC (akrilo-nitril-butanin-stiril) den yapılmaktadır.

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

$$q = K_d h^3 \quad (6.13)$$



Şekil 6.26 Lateral üzerine ve boylanmasına geçik damlaticı kesitleri

Eşitlikte;

q = Damlatıcı debisi, L/h,

K_d = Damlatıcı yapım biçimine bağlı katsayı,

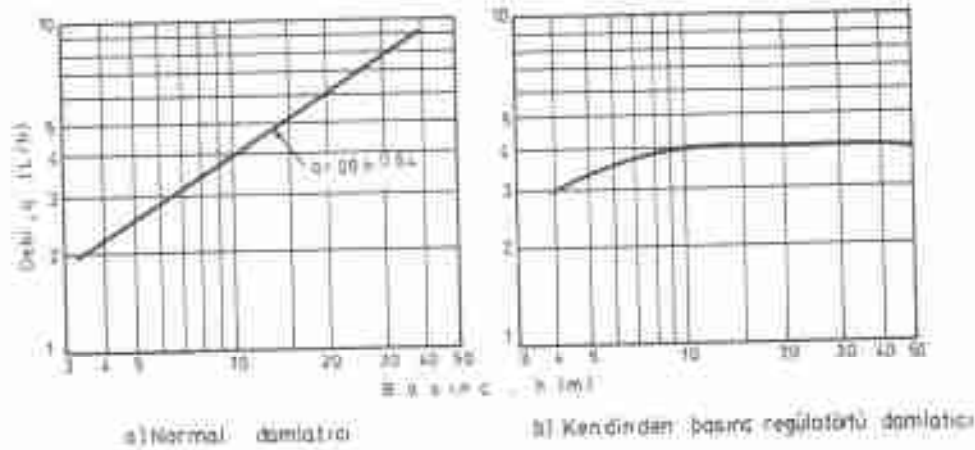
h = İşletme basıncı (damlatıcı girişinde istenen basınç), m ve

x = Damlatıcıda akış rejimine bağlı katsayıdır.

Burada (6.13) nolu eşitlikle verilen damlatıcı basınç-debi ilişkisi, laboratuvar denemeleri ile farklı basınçlarda damlatıcı debileri ölçülerek saptanmaktadır. Bunun yanında, kendinden basınç regülatörlü damlatıcılar da üretilmektedir. Bu tip damlatıcılarda işletme basıncı değişse bile debi sabit kalmaktadır. Üretici kuruluş, farklı işletme basınçlarındaki damlatıcı debilerini gösteren çizelge ya da grafikleri planlayıcı ve uygulayıcılara vermekle yükümlüdür (Şekil 6.27).

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 artırır. Başka bir deyişle, basıncın pompa birimi ile sağlandığı sistemlerde işletme 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 debisininin ağır bünyeli topraklarda 2 - 4 L/h, orta bünyeli topraklarda 4 - 6 L/h ve hafif bünyeli topraklarda 6 - 16 L/h arasında seçilmesi önerilmektedir.



Şekil 6.27 Damlatıcılarda işletme basıncı - debi ilişkisi grafikleri

6.7.2. Damla Sulama Yönteminde Islatma Desenleri ve Lateral Tertip Biçimleri

Damla sulama yönteminde bir damlatıcı genellikle daire biçiminde bir alanı ıslatır (Şekil 6.28 a). Islatma alanının kesiti ise bir soğan başını andırır (Şekil 6.28 b).

Lateral boyunca damlatıcılar, ıslatma çapının % 80 i kadar aralıkla yerleştirilir. Böylelikle lateral boyunca ıslak bir perit oluşturulur. Ancak, özellikle geniş sıra aralığına sahip bitkilerin sulanmasında lateraller arasında ıslatılmayan kuru bir alan kalır (Şekil 6.29).

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

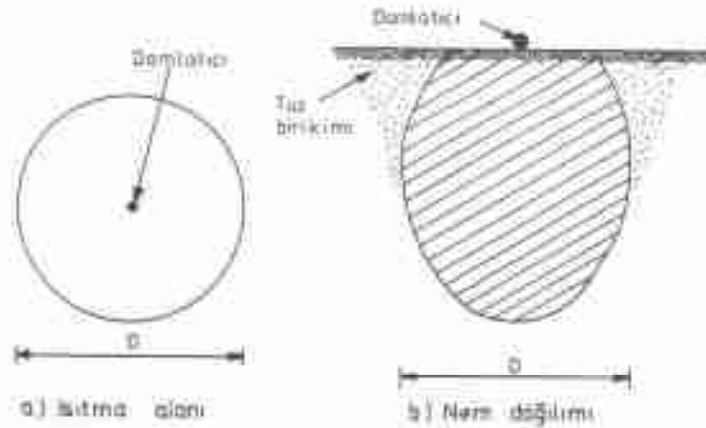
$$S_d = 0.9 \sqrt{\frac{q}{I}} \quad (6.14)$$

çizilği ile hesaplanır. Eşitlikte;

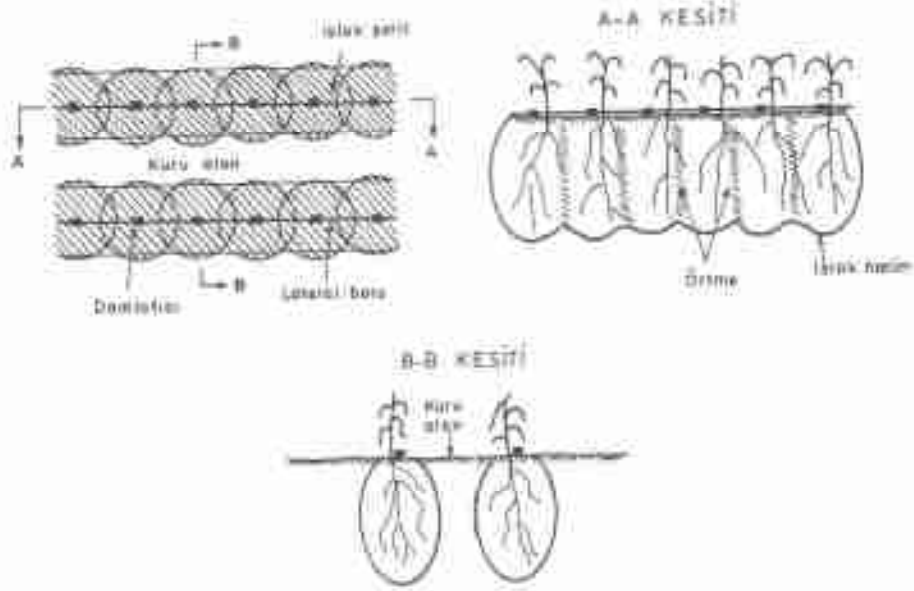
S_d = Damlatıcı aralığı, m,

q = Damlatıcı debisi, L/h ve

I = Toprağın su alma hızı, mm/h'dir.



Şekil 6.28 Bir damlatıcının ıslatığı alan ve toprak içerisindeki nem dağılımı



Şekil 6.29 Lateral boyunca ıslatılan alan

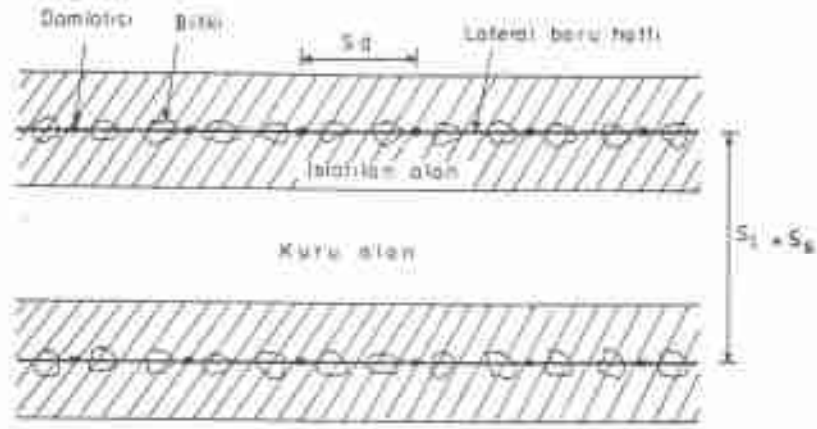
Tarla bitkileri ve sebzelerde, eğer bitki sıra aralığı damlatıcı aralığından büyükse her bitki sırasına bir lateral boru hattı döşenir. Başka bir deyişle, lateral aralığı bitki sıra aralığına eşit olur (Şekil 6.30 a). Bu durumda ıslatılan alan yüzdesi,

$$P = 100 \frac{S_d}{S_l} \quad (6.15)$$

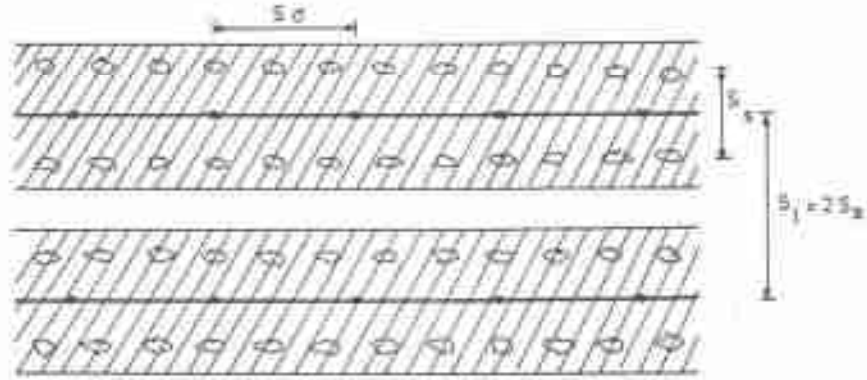
eşitliği ile bulunur. Eşitlikte;

- P = ıslatılan alan yüzdesi, %
- S_d = Damlaticı aralığı, m ve
- S_l = Lateral aralığı, m dir.

Damlaticı 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 sulunur. Bu durumda, lateral aralığı bitki sıra aralığına iki katına eşit olur (Şekil 6.30 b). ıslatılan alan yüzdesi yine (6.15) nolu eşitlikle hesaplanır.



a) Bitki sıra aralığı damlacığı aralığından büyüktür



b) Bitki sıra aralığı damlacığı aralığından küçüktür



c) Sık ekilen yada dikilen sebze türü için

Şekil 6.30 Tarla bitkileri ve sebzelerde lateral tertip biçimleri

Sık ekilen yada dikilen bitkiler söz konusu ise lateraller, lateral aralığı damlatıcı aralığına eşit olacak biçimde döşenir ve alanın tamamı ıslatılır (Şekil 6.30 c).

Damla sulama yönteminin uygulandığı meyve ağaçları için lateral tertip biçimleri Şekil 6.31'de verilmiştir.

Bağ, genç meyve ağaçları ya da sok dikilen bodur meyve ağaçları söz konusu olduğunda genellikle her ağaç sırasına bir lateral boru hattı döşenir (Şekil 6.31 a). Lateral boyunca damlatıcılar (6.14) nolu eşitlikle saptanan aralıkta yerleştirilir. Böylelikle, ağaç sıra üzeri tamamen ıslatılır ve kuru alan bırakılmaz. Kuru alan, ağaç sıra aralarında kalır. ıslatılan alan yüzdesi, daha önce verilen (6.15) nolu eşitlikle hesaplanır.

Olgun meyve ağaçlarında genellikle her ağaç sırasına iki lateral boru hattı döşenir (Şekil 6.31 b). 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;

$$P = 100 \frac{2S_d}{S_s} \quad (6.16)$$

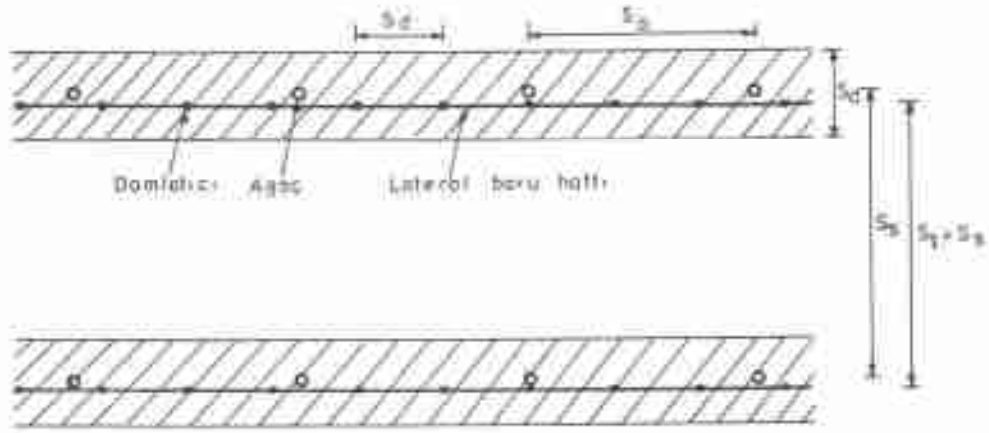
eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

- P = ıslatılan alan yüzdesi, %,
- S_d = Damlatıcı aralığı, m ve
- S_s = Ağaç sıra aralığı, m'dir.

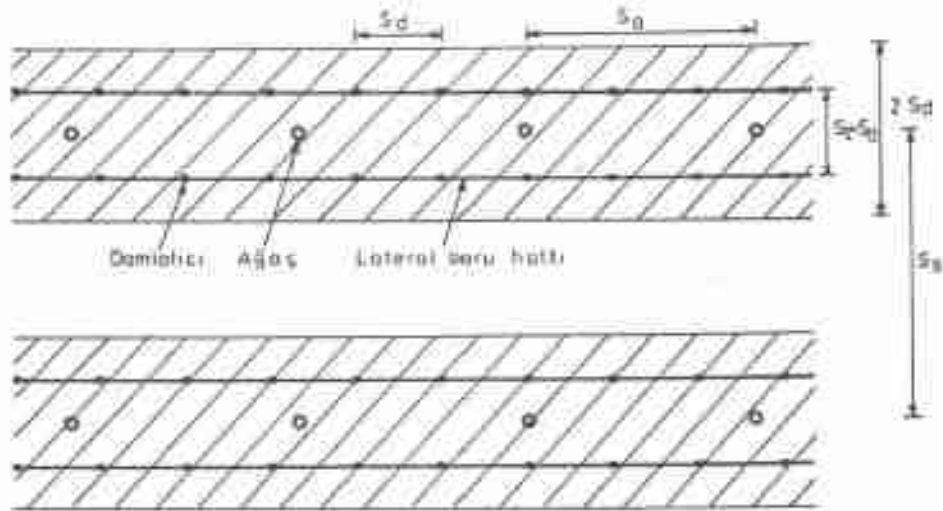
Geniş aralıklarla dikilen olgun meyve ağaçlarında her ağaç sırasına bir lateral döşenerek, her ağaca bir adet çok çıkışlı damlatıcı yerleştirilebilir (Şekil 6.31 c). Damlatıcıda çıkış sayısı 4, 6 ve 8 adet olabilir. Her bir çıkışa çok küçük çaplı kılcal borular monte edilerek su çıkış noktaları, ağaç 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;

$$P = 100 \frac{nS_c^2}{S_s S_d} \quad (6.17)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

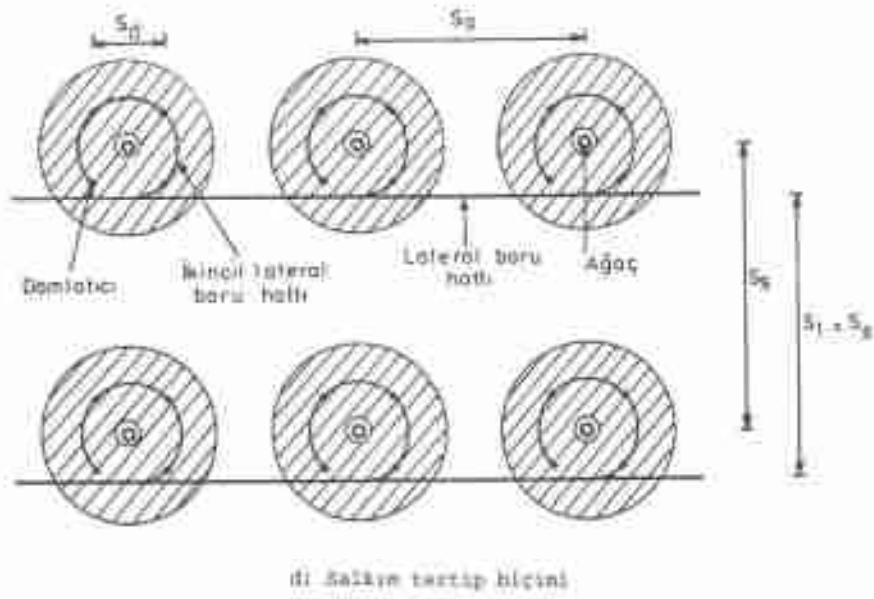
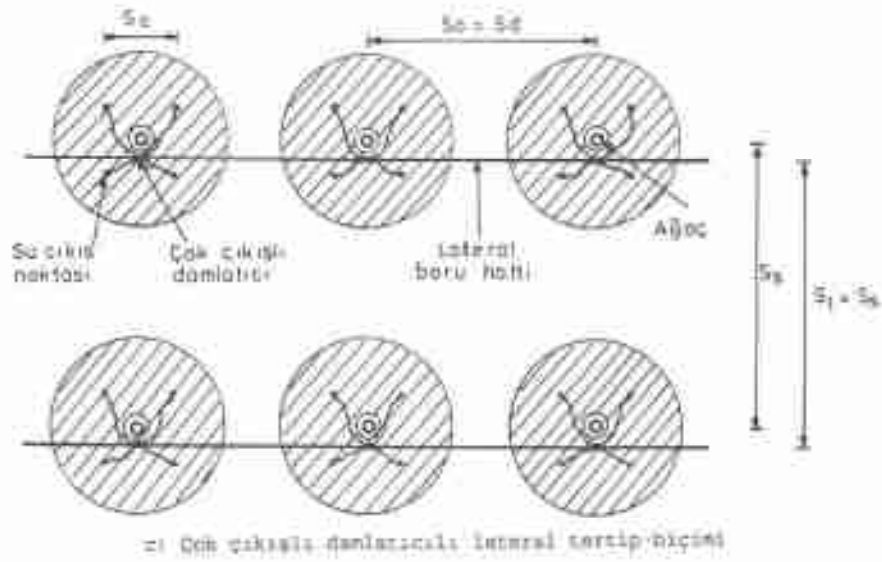


a) Her ağaç arasında tek lateral tertip biçimi



b) Her ağaç arasında iki lateral tertip biçimi

Şekil 6.31 Meyve ağaçlarında lateral tertip biçimleri



Şekil 6.31 Meyve ağaçlarında lateral tertip biçimleri (devamı)

P = Islatılan alan yüzdesi, %
 n = Bir ağaca düşen damlatıcı çıkış sayısı, adet,
 S_d = Su çıkış noktası aralığı, m,
 S_s = Sıra üzerinde ağaç aralığı, m ve
 S_r = 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 6.31 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;

$$P = 100 \frac{n S_d^2}{S_r S_s} \quad (6.18)$$

eşitliği ile bulunur. Eşitlikte;

P = Islatılan alan yüzdesi, %
 n = Bir ağaca düşen damlatıcı sayısı, adet,
 S_d = Damlatıcı aralığı, m,
 S_s = Sıra üzerinde ağaç aralığı, m ve
 S_r = Ağaç sıra aralığı, m'dir.

Damla sulama yönteminin uygulandığı alanlarda, ıslatılan alan yüzdesi en az % 30 olmalıdır ($P > \%30$). Bu değerın altına düşülmesine izin verilmez. Aksi durumda bitki kök bölgesinin tamamının ıslatılamaması sorunu ile karşılaşılabılır. Bu konu özellikle meyve ağaçları için çok önemlidir. Örneğin, toprak özelliklerine göre damlatıcı aralığının $S_d = 1$ m olduğu bir meyve bahçesinde ağaç sıra aralığı $S_s = 5$ m ise, her ağaç sırasına bir lateral boru hattı döşenemez. Çünkü bu koşulda ıslatılan alan yüzdesi, $P = 100 S_d / S_s = 100 \times 1 / 5 = \% 20$ olur ki bu değer % 30'dan küçüktür. Her ağaç sırasına iki lateral boru hattı döşenirse ıslatılan alan yüzdesi, $P = 100 2S_d / S_s = 100 \times 2 \times 1 / 5 = \% 40$ olur ve % 30 değerinden büyük olduğundan uygundur.

6.7.3. Damla Sulama Yönteminin Üstünlükleri ve Uygulanmasını Kısıtlayan Etmenler

Damla sulama yönteminin diğer sulama yöntemlerine olan üstünlükleri şöylece sıralanabilir;

- 1) Arazinin yalnızca belirli bir bölümü ıslatıldığından sulama suyu

ihtiyacı azdır ve kısıtlı su kaynağı koşullarında geniş alan sulanabilir.

2) Toprağın ıslatılan yüzeyi bitki tarafından değerlendirildiğinden toprak yüzeyinden olan buharlaşma, dolayısıyla bitki su tüketimi daha az olur.

3) Bitki kök bölgesinde devamlı ve düşük gerilimle tutulan bir nem ortamı sağlandığından bitki topraktan suyu fazla enerji harcamaksızın alır, bu ise ürün artışı sağlayan önemli faktörlerden biridir.

4) Bitki besin maddeleri bitkinin ihtiyaç duyduğu zamanda sulama suyu ile birlikte yalnızca bitki köklerinin geliştiği ortama verilir ve gübrelerden en üst düzeyde yararlanır.

5) Toprakta bulunan tuzlar ıslak zeminin çeperine doğru ilerler, dolayısıyla tuzlu topraklarda emniyetle tarım yapılabilir.

6) Sulama suyu istenilen miktarda ve en iyi zamanda uygulanabilir, su uygulama randımanı çok yüksektir.

7) İşletilmesi kolaydır ve sulama işçiliği minimum düzeydedir.

8) Bitkilerin toprak üstü organları ıslatılmadığından bitki hastalıklarının gelişmesi önlenmektedir, yabancı ot kontrolü daha kolaydır.

9) Bitki sıraları arasında ıslatılmayan kuru alan kaldığından sulama sırasında bile bazı tarımsal işlemler kolaylıkla yapılabilmektedir.

10) Yağmurlama sulama yönteminde olduğu gibi yüksek eğimli, dalgalı, hafif bünyeli ya da yüzlek topraklarda emniyetle uygulanabilir.

11) İşletme basıncı yağmurlama sulama yöntemine oranla daha düşük olduğundan enerji masrafları azdır.

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

1) Damla sulama yönteminde en önemli sorun damlatıcıların tıkanmasıdır. Tıkanmaya en çok kum ve silt parçacıkları, organik madde birikimi ve kimyasal madde birikimi neden olmaktadır. Dolayısıyla, sulama suyunun kontrol biriminde çok iyi süzülmesi ve sistemin belirli aralarla seyreltik asit ile yıkanması gerekmektedir.

2) 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 yıkanır. Ancak, yıllık yağışı 300 mm nin altında olan

yörelerde bu yılanma yetersiz kalabilir ve biriken tuzların kök bölgesinin altına yılanması için destekleyici yağmurlara yada yüzey sulama yöntemlerini uygulamak gerekebilir.

3) 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 daha fazla ürün alınabildiğinden genellikle ekonomik olur.

6.7.4. 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 cisinden ifade edilmesi koşulunda;

$$d_{\max} = \frac{(TK - SN) R_s}{100} \gamma_s D \frac{P}{100} \quad (6.19)$$

ve kullanılabilir su tutma kapasitesinin derinlik cisinden ifade edilmesi koşulunda;

$$d_{\max} = d_s D R_s \frac{P}{100} \quad (6.20)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Bu eşitliklerde;

- d_{\max} = Her sulamada uygulanacak en fazla net sulama suyu miktarı, mm,
- TK = Taria kapasitesi, %,
- SN = Solma noktası, %,
- R_s = Kullanılabilir su tutma kapasitesinin tüketilmesine izin verilen kısmı,
- γ_s = Toprağın hacim ağırlığı, g/cm³,
- D = Islanılacak toprak derinliği, mm,
- P = Islanılan alan yüzdesi, % ve
- d_s = Kullanılabilir su tutma kapasitesi, mm/m

değerlerini göstermektedir.

Damla sulama yönteminde genellikle, kullanılabilir su tutma kapasitesinin % 30'u tüketildiğinde sulamaya başlanır ($R_s = 0.30$). Topraktaki nem eksikliğine nispeten dayanıklı bitkilerde bu değer % 40'a kadar çıkarılabilir. Ayrıca, (6.19) ya da (6.20) nolu eşitliklerle hesaplanan değer uygulanabilecek maksimum net sulama suyu miktarını verir. Bu değer planlayıcı ya da uygulayıcı

tarafından azaltılabilir. Başka bir deyişle, $d_n < d_{n, \max}$ 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;

$$T = ET \frac{P_s}{85} \quad (6.21)$$

eşitliği ile tahmin edilebilir. Eşitlikte;

- T = Damla sulama yönteminde bitki su tüketimi, mm/gün,
- ET = Geleneksel yöntemlerle hesaplanan bitki su tüketimi, mm/gün ve
- P_s = Bitki tarafından gölgelenen alan yüzdesi, %

değerlerini göstermektedir.

Damla sulama yönteminde gözönüne alınabilecek en fazla sulama aralığı;

$$SA_{\max} = \frac{d_{n, \max}}{T} \quad (6.22)$$

eşitliği ile bulunur. Eşitlikte;

- SA_{\max} = Maksimum sulama aralığı, gün,
- $d_{n, \max}$ = Maksimum net sulama suyu miktarı, mm ve
- T = Bitki su tüketimi, mm/gün dir.

Uygulayıcı ya da planlayıcı, bu değeri $SA < SA_{\max}$ olacak biçimde daha düşük alabilir.

Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı;

$$d_t = \frac{d_n}{E_s} \quad (6.23)$$

eşitliği ile bulunur. Eşitlikte;

- d_t = Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm,
- d_n = Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm ve
- E_s = Su uygulama randımanıdır.

Damla sulama yönteminde su uygulama randımanı, işletme biriminin küçük ve laterallerin kısa olduğu sistemlerde % 90, işletme biriminin nisbeten büyük ve laterallerin uzun olduğu sistemlerde % 85 alınabilir. Kendinden basınç düzenleyicili damlatıcıların kullanıldığı sistemlerde bu değerler % 5 artırılabilir.

Damla sulama yönteminde sulama süresi;

$$T_s = \frac{1000 \cdot d_t}{qN} \quad (6.24)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

- T_s = Sulama süresi, h
- d_t = Uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm
- q = Damlatıcı debisi, L/h ve
- N = Bir dekar alandaki damlatıcı sayısı, adet/da'dır.

Örnek :

Toprağın kullanılabilir su tutma kapasitesi 120 mm/m ve su alma hızı 9 mm/h olan bir tarla parselinde, sıra aralığı 80 cm, etkili kök derinliği 90 cm, bitki su tüketimi 7.6 mm/gün olan ve vejetatif gelişmenin maksimum olduğu periyotta toplam alanın % 70'ini gölgeleyen domates tarımı yapılacaktır. Kullanılabilir su tutma kapasitesinin % 30'u tüketildiğinde sulamaya başlanacaktır. Damlatıcı debisi 4 L/h'tir. Bu verilere göre, her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, sulama aralığı ve sulama süresi istenmektedir.

Verilenler :

- Kullanılabilir su tutma kapasitesi, $d_k = 120$ mm/m
- Su alma hızı, $I = 9$ mm/h
- Bitki sıra aralığı = 80 cm
- Etkili kök derinliği, $D = 90$ cm
- Bitki su tüketimi, $ET = 7.6$ mm/gün
- Gölgelenen alan yüzdesi, $P_s = \% 70$
- Kullanılabilir su tutma kapasitesinin tüketilmesine izin verilen kısmı, $R_p = 0.30$
- Damlatıcı debisi, $q = 4$ L/h

İstenenler :

- Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, d_t
- Sulama aralığı, SA
- Sulama süresi, T_s

Çözüm :

1) Damlatıcı aralığı;

$$S_d = 0.90 \sqrt{\frac{d}{t}} = 0.90 \times \sqrt{\frac{d}{9}} = 0.60 \text{ m}$$

2) Lateral aralığı;

Damlatıcı aralığı bitki sıra aralığından küçük olduğu için her bitki sırasına bir lateral boru hattı döşenir. Dolayısıyla, lateral aralığı bitki sıra aralığına eşit olur ve $S_l = 0.80$ m olur.

3) Islatılan alan yüzdesi;

$$P = 100 \frac{S_d}{S_l} = 100 \times \frac{0.60}{0.80} = \%75$$

$P = \%75 > \%30$ uygun

4) Her sulamada uygulanabilecek maksimum net sulama suyu miktarı;

$$d_{\max} = d_s D R_v \frac{P}{100} = 120 \times 0.90 \times 0.30 \times \frac{75}{100} = 24.3 \text{ mm}$$

5) Bitki su tüketimi;

$$T = ET \frac{P_s}{85} = 7.6 \times \frac{70}{85} = 6.3 \text{ mm/gün}$$

6) Gözdenine alınabilecek maksimum sulama aralığı;

$$SA_{\max} = \frac{d_{\max}}{T} = \frac{24.3}{6.3} = 4 \text{ gün}$$

7) Sulama aralığı;

Bu örnekte $SA = SA_{\max} = 4$ gün alınmıştır. İstenirse, sulama aralığı $SA < SA_{\max}$ olacak biçimde 3 gün, 2 gün ya da 1 gün alınabilir.

8) Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı;

$SA = SA_{\max}$ alındığından $d_n = d_{\max} = 24.3$ mm olur. Ancak, örneğin $SA = 3$ gün alınsaydı, $d_n = T(SA) = 6.3 \times 3 = 18.9$ mm biçiminde hesaplanırdı.

9) Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı;

$$d_s = \frac{d_n}{E_s} = \frac{24,3}{0,85} = 28,6 \text{ mm}$$

(Su uygulama randımanı % 85 alınmıştır)

10) Bir dekar alandaki damlatıcı sayısı;

$$N = \frac{1000}{S_s S_d} = \frac{1000}{0,80 \times 0,60} = 2083 \text{ adet}$$

11) Sulama süresi;

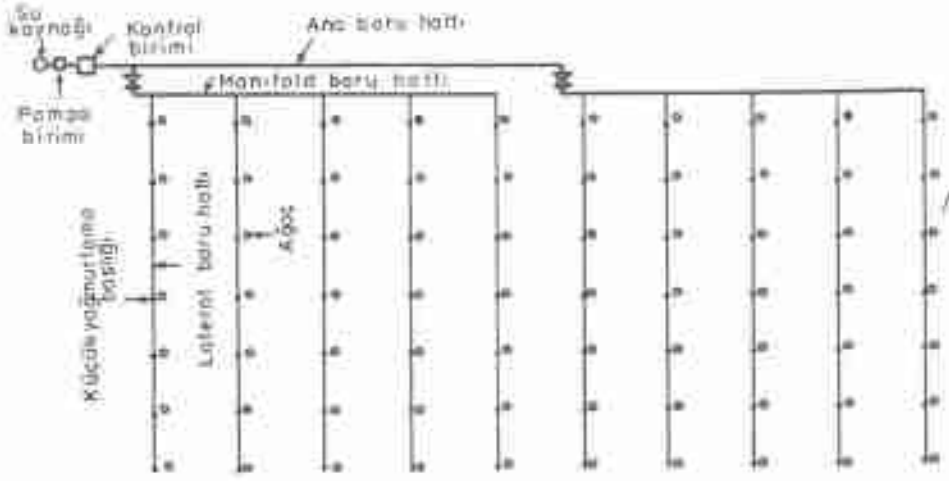
$$T_s = \frac{1000 d_s}{qN} = \frac{1000 \times 28,6}{4 \times 2083} = 3,5 \text{ h}$$

6.8. AĞAÇ ALTI MİKRO YAĞMURLAMA SULAMA YÖNTEMİ

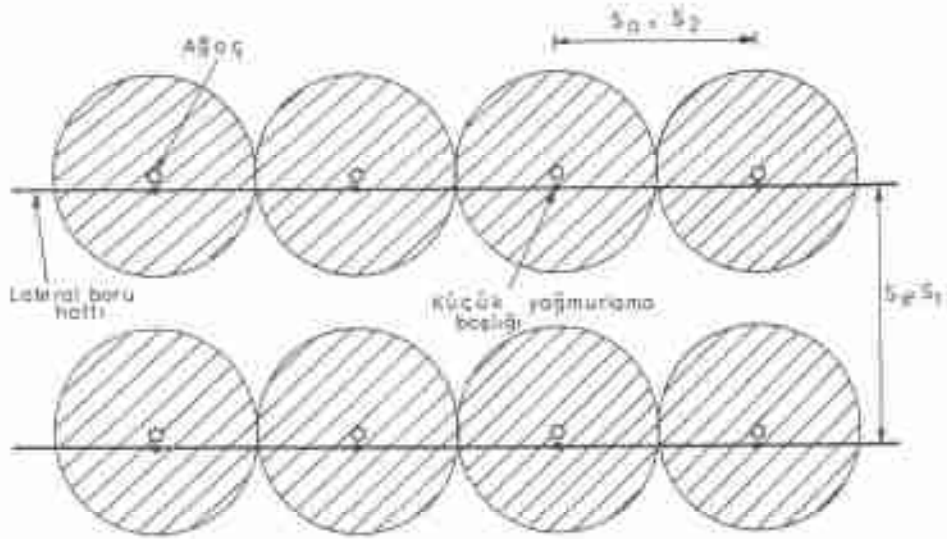
Yağmurlama sulama yönteminde de değinildiği gibi, meyve bahçelerinin sulanmasında küçük yağmurlama başlıklarından yaygın olarak yararlanılmaktadır. Küçük yağmurlama başlıklarının kullanıldığı yağmurlama sulama yöntemine ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemi adı da verilmektedir. Sistem unsurları, 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 ve küçük yağmurlama başlıklarından oluşur. Bu yöntemde, her ağaç sırasına bir lateral boru hattı döşenir ve lateral boyunca her ağacın altına bir yağmurlama başlığı konur. Mikro yağmurlama sistemi unsurları Şekil 6.32'de görülmektedir.

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 facının izdüşümü kadar bir alanı ıslatır. Bu nedenle, gerek sıra üzerindeki ağaçlar arasında, gerekse ağaç sıraları arasında ıslatılmayan kuru bir alan kalabilir. Bu yöntemde, başlık aralığı sıra üzerindeki ağaç aralığına, lateral aralığı ise ağaç sıra aralığına eşittir (Şekil 6.33).

Küçük yağmurlama başlıklarını 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



Şekil 6.32 Mikro yağmurlama sulama sistemi unsurları



Şekil 6.33 Meyve bahçelerine uygulanan ağaçaltı mikro yağmurlama sulama yönteminde lateral tertip biçimi

işletilmesi bu değerlere göre yapılır. Küçük yağmurlama başlıklarına ilişkin örnek bir teknik çizelge, Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Küçük yağmurlama başlıklarında ortalama yağmurlama hızı;

$$I_y = \frac{4q}{\pi D^2} \quad (6.25)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Eşitlikte;

I_y = Yağmurlama hızı, mm/h,

q = Başlık debisi, L/h ve

D = Başlık ıslatma çapı, m'dir.

Örneğin, debisi $q = 140$ L/h ve ıslatma çapı $D = 5$ m olan bir küçük yağmurlama başlığının ortalama yağmurlama hızı;

$$I_y = \frac{4q}{\pi D^2} = \frac{4 \times 140}{3,14 \times 5^2} = 7,1 \text{ mm/h}$$

olarak hesaplanır. Bu değer toprağın su alma hızına eşit ya da küçük olmalıdır.

Meyve bahçelerinde her ağacın altına bir küçük yağmurlama başlığının yerleştirildiği sistemlerde ıslatılan alan yüzdesi;

$$P = 100 \frac{\pi D^2}{4 S_x S_y} \quad (6.26)$$

eşitliği ile bulunabilir. Eşitlikte;

P = ıslatılan alan yüzdesi, %,

D = ıslatma çapı, m,

S_x = Sıra üzerinde ağaç aralığı, m ve

S_y = Ağaç sıra aralığı, m.

Çizelge 6.6 Küçük yağmurlama başlığına ilişkin örnek teknik çizelge

İşletme basıncı (m)	Başlık debisi (L/h)	Islatma çapı (m)	Yağmurlama hızı (mm/h)
10	140	5,00	7,1
15	170	6,00	6,0
20	195	6,80	5,4

değerlerini göstermektedir. Islatılan alan yüzdesi % 30'dan az olmamalıdır.

Örneğin, başlık ıslatma çapı 5 m, sıra üzerinde ağaç aralığı 5 m ve ağaç sıra aralığı 6 m ise ıslatılan alan yüzdesi:

$$P = 100 \frac{\pi D^2}{4 S_s S_r} = 100 \times \frac{3,14 \times 5^2}{4 \times 5 \times 6} = \%65$$

olarak hesaplanır. Burada $P = \%65 > \%30$ olduğundan uygundur.

Mikro yağmurlama sulama yönteminde sulama süresi, daha önce $T_s = d_r / I_s$ biçiminde verilen (6.12) nolu eşitlikle hesaplanır. Her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı, sulama aralığı ve bitki su tüketiminin hesaplanması ise damla sulama yönteminde olduğu gibidir. Başka bir deyişle, bu amaçlarla, (6.19), (6.20), (6.21), (6.22) ve (6.23) nolu eşitliklerden yararlanılır. Bu yöntemde genellikle, kullanılabilir su tutma kapasitesinin % 40'ı tüketildiğinde sulamaya başlanır ($R_p = 0.40$) ve su uygulama randımanı ortalama % 70 civarındadır ($E_s = 0.70$).

Örnek :

Dikim aralıkları 8 x 6 m olan bir meyve bahçesinde, her ağacın altına bir küçük yağmurlama başlığı yerleştirilerek ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemi uygulanacaktır. Yapılan toprak analizleri sonucunda, tarla kapasitesi % 30.7, solma noktası % 17.4, hacim ağırlığı 1.23 g/cm^3 bulunmuş ve çift silindir infiltrometre testleri ile toprağın su alma hızı 6.8 mm/h biçiminde belirlenmiştir. Etkili kök derinliği 120 cm, Penman - Monteith yöntemiyle hesaplanan bitki su tüketimi 8.2 mm/gün ve gölgelenen alan yüzdesi % 60'tır. Kullanılabilir su tutma kapasitesinin % 40'ı tüketildiğinde sulamaya başlanacaktır. Yağmurlama başlığı debisi 170 L/h ve ıslatma çapı 6 m'dir. Bu verilere göre, her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı, sulama aralığı ve sulama süresi istenmektedir.

Verilenler :

- Ağaç sıra aralığı, $S_s = 8 \text{ m}$
- Sıra üzerinde ağaç aralığı, $S_r = 6 \text{ m}$
- Tarla kapasitesi, $TK = \%30.7$
- Solma noktası, $SN = \%17.4$
- Hacim ağırlığı, $\gamma_t = 1.23 \text{ g/cm}^3$
- Toprağın su alma hızı, $I = 6.8 \text{ mm/h}$
- Etkili kök derinliği, $D = 120 \text{ cm}$
- Bitki su tüketimi, $ET = 8.2 \text{ mm/gün}$
- Gölgelenen alan yüzdesi, $P_r = \%60$

- Kullanılabilir su tutma kapasitesinin tüketilmesine izin verilen kısmı, $R_p = 0,40$
- Boşluk debisi, $q = 170 \text{ L/h}$
- İslatma çapı, $D = 6 \text{ m}$

İstenenler :

- Her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı, d_s
- Sulama aralığı, SA
- Sulama süresi, T_s

Çözüm :

- 1) İslatılan alan yüzdesi;

$$P = 100 \frac{\pi D^2}{4 S_a S_s} = 100 \times \frac{3,14 \times 6^2}{4 \times 6 \times 8} = \%58,9$$

$$P = \%58,9 > \%30 \text{ uygun}$$

- 2) Her sulamada uygulanabilecek maksimum net sulama suyu miktarı;

$$d_{max} = \frac{(TK - sm) R_p \gamma_s D^2 P}{100 \gamma_w D} = \frac{P}{100}$$

$$d_{max} = \frac{(30,7 - 17,4) \times 0,40}{100} \times 1,23 \times 1200 \times \frac{58,9}{100} = 46,3 \text{ mm}$$

- 3) Bitki su tüketimi;

$$T = ET \frac{P_e}{85} = 8,2 \times \frac{60}{85} = 5,8 \text{ mm/g} \square n$$

- 4) Göz önüne alınabilecek maksimum sulama aralığı;

$$SA_{max} = \frac{d_{max}}{T} = \frac{46,3}{5,8} = 8 \text{ gün}$$

- 5) Sulama aralığı;

Burada sulama aralığı $SA = 6$ gün alınmıştır (Örneğin, su kaynağı çiftçiler arasında ortak olarak kullanılmaktadır ve 6 günde bir sıra gelmektedir).

- 6) Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı;

$$d_s = T(SA) = 5,8 \times 6 = 34,8 \text{ mm}$$

7) Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı;

$$d_s = \frac{d_n}{E_s} = \frac{34,8}{0,70} = 49,7 \text{ mm}$$

8) Yağmurlama hızı;

$$I_s = \frac{4q}{\pi D^2} = \frac{4 \times 170}{3,14 \times 6^2} = 6,0 \text{ mm/h}$$

$I_s = 6,0 \text{ mm/h} < I = 6,8 \text{ mm/h}$ uygun

9) Sulama süresi;

$$T_s = \frac{d_s}{I_s} = \frac{49,7}{6,8} = 8,3 \text{ h} = 8 \text{ h } 20 \text{ dak}$$

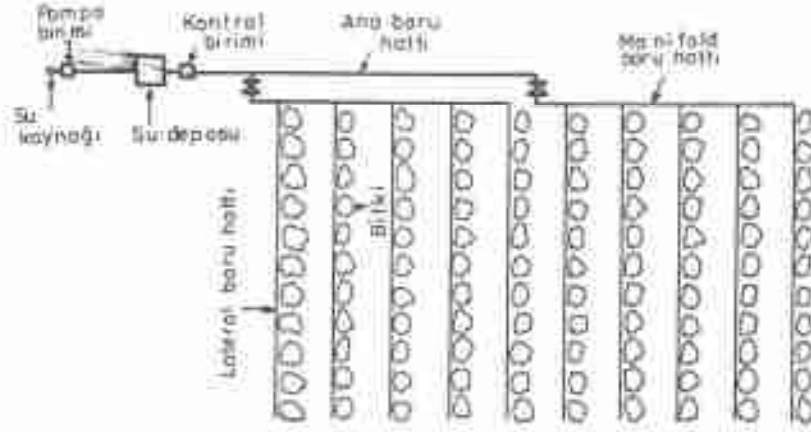
6.9. SIZDIRMA SULAMA YÖNTEMİ

Sızdırma sulama yönteminde su, bitki kök bölgesine toprak altından sızdırılarak verilir. Bu amaçla, ya taban suyunu kontrol etmek için belirli aralıklarla açılmış derin tarla hendeklerinden yararlanır, yada toprak altına düşük basınç altında çalışan delikli yada 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 hattı, manifold boru hatları ve lateral boru hatlarından oluşur (Şekil 6.34).

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.



Şekil 6.34 Basınçlı yüzey sulama sistemi unsurları

6.10. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ

1) Aşağıdaki verilere göre, tava sulama yöntemi için sulama süresini hesaplayınız.

- Tava eni; 50 m
- Tava boyu; 80 m
- Tava debisi; 75 L/s
- Suyun tava sonuna ulaşma süresi; 45 dak
- Eklemeli su alma eşitliği; $D = 1.40 T^{0.75}$
- Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı; 65 mm

2) Aşağıdaki verilere göre, uzun tava sulama yöntemi için sulama süresini, her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarını ve tava debisini hesaplayınız.

- Tava eni; 15 m
- Tava uzunluğu; 180 m
- Tava eğimi; % 0.2
- Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı; 90 mm
- Eklemeli su alma eşitliği; $D = 1.84 T^{0.65}$

3) Aşağıdaki verilere göre, uzun tava sulama yönteminde göz önüne alınabilecek maksimum tava uzunluğunu bulunuz.

- Tava eni; 18 m
- Tava debisi; 24 L/s
- Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı; 80 mm
- Eklemeli su alma eşitliği; $D = 1.23 T^{0.28}$
- Tava eğimi; % 0.05

4) Aşağıdaki verilere göre, değişken debili açık karıklarda sulama süresini, her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarını ve su uygulama randımanını bulunuz.

- Karık uzunluğu; 200 m
- Karık aralığı; 0.80 m
- Karık debisi; 1.5 L/s
- Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı; 72 mm
- 0.80 m karık aralığı için elde edilen eklemeli su alma eşitliği;
 $D = 2.70 T^{0.28}$
- Suyun karık sonuna ulaşma süresi; 46 dak

5) Aşağıdaki verilere göre, kapalı karıklarda sulama süresini ve her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarını bulunuz.

- Karık uzunluğu; 175 m
- Karık aralığı; 0.70 m
- Karık debisi; 1.4 L/s
- Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı; 86 mm
- 0.70 m karık aralığı için elde edilen eklemeli su alma eşitliği;
 $D = 1.86 T^{0.28}$
- Suyun karık sonuna ulaşma süresi; 134 dak

6) Yağmurlama yöntemiyle kullanılacak bir tarla parselinde, toprağın su alma hızı 8.4 mm/h ölçülmüştür. Bu parselde, debisi 1.76 m³/h olan yağmurlama başlığı 18 x 12 m tertip aralıklarında kullanılabilir mi, nedenini açıklayınız.

7) Aşağıdaki verilere göre, yağmurlama sulama yöntemi için sulama süresini bulunuz.

- Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı; 70 mm
- Bitki su tüketimi; 7.4 mm/gün
- Ortalama rüzgar hızı; 1.8 m/s
- Başlık debisi; 2.47 m³/h
- Başlık tertip aralıkları; 18 x 18 m

8) Aşağıdaki verilere göre, damla sulama yönteminin uygulanacağı meyve bahçesinde, lateral boyunca damlatıcı aralığını bulunuz.

- Damlatıcı debisi; 3.5 L/h
- Toprağın su alma hızı; 6.2 mm/h

9) Sebze tarımı yapılan bir bahçede damla sulama yöntemi uygulanacaktır. Aşağıdaki verilere göre;

a) Laterallerin nasıl tertipleneceğini açıklayınız.

b) Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, sulama aralığı ve sulama süresini bulunuz.

- Tarla kapasitesi; % 33.6
- Solma noktası; % 20.4
- Toprağın hacim ağırlığı; 1.18 g/cm³
- Toprağın su alma hızı; 5.2 mm/h
- Bitki sıra aralığı; 60 cm
- Etkili kök derinliği; 60 cm
- Bitki su tüketimi; 7.3 mm/gün
- Gölgelenen alan yüzdesi; % 75
- Damlatıcı debisi; 4 L/h

10) Dikim aralıkları 5 x 4 m olan bir meyve bahçesinde damla sulama yöntemi uygulanacaktır. Toprağın su alma hızı 4.2 mm/h ve damlatıcı debisi 4 L/h tir. Her ağaç srasına tek yada ikili lateral tertip biçiminden hangisini tercih ederseniz, nedenini açıklayınız.

11) Dikim aralıkları 6 x 5 m olan bir meyve bahçesinde ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemi uygulanacaktır. Aşağıdaki verilere göre, her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, sulama aralığı ve sulama süresini hesaplayınız.

- Kullanılabilir su tutma kapasitesi; 154 mm/m
- Toprağın su alma hızı; 10.6 mm/h
- Etkili kök derinliği; 120 cm
- Bitki su tüketimi; 7.3 mm/gün
- Gölgelenen alan yüzdesi; % 80
- Kullanılabilir su tutma kapasitesinin % 40' ı tüketildiğinde sulamaya başlanacaktır.
- Başlık debisi; 240 L/h
- İslatma çapı; 5 m

SULAMA SUYU KALİTESİ VE SORUNLU TOPRAKLAR

7.1. SULAMADA SU KALİTESİNİN ÖNEMİ

Kültürteknik çalışmaları içerisinde en önemli teknik hizmetlerden birisi de "su kaynaklarının geliştirilmesi" dir. Su kaynaklarının geliştirilmesi, tarımsal üretimi artırmak amacıyla suyun kullanılması, kalite ve kantite yönünden zaman ve mekân boyutlarında kontrol edilmesi biçiminde tanımlanabilir. Bu tanımdan da görüldüğü gibi sulama sularının kalite yönünden kontrol edilmesi sulama geliştirme (developman) çalışmaları içinde önemli bir bölümü oluşturmaktadır.

Sulama projelerinde, toprak kaynaklarının sulamaya uygunluğu kadar su kaynağının da sulama için uygun olması oldukça önemli bir etmendir. Bu nedenle, sulamadan sağlanacak yarar ve sulamanın etkinliği "Sulama Suyu Kalitesine" bağlı bulunmaktadır.

Toprak yüzeyinden toprak içerisine sızan sular yerçekimi kuvvetinin etkisiyle hareket eder. Sızan suların bir kısmı bitkiler tarafından alınır. Taba kapasitesi üzerindeki nem koşullarında ise daha derinlere sızarak geçirimsiz tabaka üzerinde birikir ve tabanı suyunu oluşturur. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, toprak yüzeyinde oluşan buharlaşma ve transpirasyonun yüksek oluşu, toprak içerisindeki suyun kapilarite kuvvetlerinin etkisiyle yukarıya doğru hızlı hareket ederek hileşimindeki erimsiz tuzları toprak yüzeyine doğru taşımaya neden olmaktadır. Genellikle bitkiler topraktan suyu, saf su olarak alırlar ve geride tuzları bırakırlar. Eğer biriken tuzlar topraktan uzaklaştırılmazsa zamanla bitki kök derinliğindeki topraklar tuzlanmaktadır.

Toprak boşluklarında tutulan su, toprakta fiziko-kimyasal reaksiyonlara girer. Böylece toprak minerallerinin özelliklerine ve suyun içerdiği tuzların cinslerine bağlı olarak bir takım denge reaksiyonları oluşur ve hem suyun hem de toprağın özellikleri değişir.

Toprakta suyun hareketini ve iyi bir su-hava dengesinin oluşmasını sağlayan kümeli yapının (flokülasyon) meydana gelebilmesi toprakların organik madde miktarı, işlenmesi, donma ve çözülme olayları yanında özellikle kalsiyum gibi iki ve üç değerli katyonların adsorbe edilmesiyle mümkündür. Buna karşılık toprakta sodyum gibi bir değerli katyonların fazla miktarlarda adsorbe edilmesi

toprak kümelerinin dağılarak dispersiyon olayı sonunda teksele bir yapının oluşmasına neden olur. Böylece toprağın fiziksel özellikleri bozularak toprak geçirimsiz ve su-hava dengesi bozulmuş bir nitelik kazanır. Bu topraklarda toprak işlenmesi ve bitki gelişmesi zorlaşır.

Sulama suyunun bitkilere etkisi genellikle iki şekilde ortaya çıkmaktadır.

1. Sulama suyundaki yüksek tuz konsantrasyonunun veya taşıdığı toksik maddelerin etkisi

2. Toprak özelliklerinin bozulmasıyla oluşacak etkiler.

Sulama suyunun yüksek tuz konsantrasyonu, toprak eriyiği yoğunluğunu yani ozmotik basıncı artırarak bitki köklerinin su alımını önler. Çünkü, bitki köklerindeki öz suyun yoğunluğu genellikle toprak çözeltisi yoğunluğundan fazla olduğu için su akışı bitki köklerine doğrudur. Toprak içerisinde oluşan yüksek ozmotik basınç nedeniyle bitkilerin topraktaki suyu alamaması olayı **fizyolojik kuraklık** olarak tanımlanır. Fizyolojik kuraklıkta, toprakta su bulunmasına rağmen bitkiler bu sudan yararlanamazlar.

Sulama suları içerisinde bulunan bor, sodyum, klor, bikarbonat gibi iyonların ozmotik basıncı artırarak fizyolojik kuraklık yaratmalarının yanında bitkiye toksik etki de (zehir etkisi) yapmaktadır. Toksiklik sorunları toprak ve yaprak analizleri yapılarak belirlenmeye çalışılır. En önemli toksiklik sorunlarının ağır düzeyde sodyum, klor ve bor alımıyla ilişkili olduğu bulunmuştur. Bu iyonların ağır alımı bitkilerin transpirasyonu sonucunda oluşan yoğunlaşma nedeniyle özellikle yapraklarda iyonların birikimine neden olur. En önemli belirtileri yaprak yanması, kuruması ve dış yaprak kenarlarının zararlanmasıdır. Özellikle yaşlı yapraklarda bu durum birikim başlangıcında bile kritik düzeylere ulaşabilir. Belirtiler zamanla yaprak merkezine doğru damarlar arasında ilerler. Toksiklik sorunlarına karşı çoğu çok yıllık bitkilerin oldukça toleranslı olmasına karşın meyve ağaçları ve diğer odunlu çok yıllık bitkilerin büyük ölçüde duyarlılık gösterdiği belirlenmiştir.

Su kaynaklarından alınarak, laboratuvarlarda analizi yapılan örneklerde sulamada kullanılacak olan suların içerdiği önemli tuzlar ve bunların miktarları saptanır. Bu analizlerden elde edilen değerlerin yardımıyla su, göz önüne alınan koşullara göre sulamaya uygunluk bakımından sınıflandırılır. Böylece suyun yetiştirilecek bitki ve toprak üzerinde yapabileceği etki önceden belirlenerek gerekli önlemler alınabilir.

7.2. SULAMA SUYU KALİTESİNİN TAYİNİ İÇİN YAPILAN İŞLEMLER

Sulama suyu kalitesini tayin etmek için yapılacak işlemler beş aşamada toplanabilir.

1. Su örneklerinin alınması
2. Sulama suyu elektriksel iletkenliğinin ve pH'ının ölçülmesi
3. Kimyasal analizler
4. Sulama suyu kalite kriterlerinin belirlenmesi
5. Sulama suyu kalitesinin sınıflandırılması.

7.2.1. Su Örneklerinin Alınması

Sulama sularının hatasız sınıflandırılması için öncelikle su örneklerinin doğru bir şekilde alınması gerekmektedir. Laboratuvarla yapılacak analizler için yaklaşık 2 litre su yeterlidir. Örneklerin alınmasında ağız mantar veya lastik tıpa temiz şişeler kullanılır. Su örneklerinin söz konusu kaynağın sularını temsil edebilecek nitelikte olmasına özen gösterilmelidir. Akarsularda su örnekleri, farklı zamanlarda durgun olmayan kesimlerden baraj ve göllerde ise, sığın baraj ve gölü terk ettiği akış halindeki kısımlardan alınmalıdır. Kuyulardan su örneklerinin alınmasında ise, kuyudan bir süre su aktıldıktan sonra örnek alınmalıdır. Alınan örnekler etiketlenerek kimyasal ve biyolojik değişimi önlemek amacıyla kısa sürede laboratuvara getirilmelidir.

7.2.2. Elektriksel İletkenlik ve pH'nın Ölçülmesi

Elektriksel iletkenlik (kondüktivite), su içerisinde erimiş halde bulunan tuzların miktarını belirleyen bir değerdir. Suyun içinde erimiş durumda bulunan tuz miktarı arttıkça suyun elektrik akımını iletmesi de artar. Suyun bu özelliğinden yararlanılarak elektriksel iletkenlik ölçer (kondüktivitemetre) aleti ile suların elektriksel iletkenlik değerleri bulunur. Elektriksel iletkenlik değeri sulama suyunun 25 °C'ta standart birimi olan micromhos/cm ya da $(EC \times 10^6)$ olarak ifade edilmektedir. Bilindiği gibi iletkenlik (C), direncin (R) tersidir. Eşitlik halinde yazılırsa;

$$C = \frac{I}{R} \quad (7.1)$$

Direnc ölçü birimi ohm/cm ile ifade edilmektedir. İletkenlik direncin tersine eşit olduğundan iletkenliğin birimi de mhos/cm olarak gösterilmektedir. Standart birim olan mhos/cm büyük bir değer olması nedeniyle sulama suyu ve toprak suyu bu birimin daha küçük katları kullanılmaktadır. Örneğin, sulama suyu $EC \times 10^6 = \text{micromhos/cm}$, toprak suyu da $EC \times 10^3 = \text{milimhos/cm}$ birimleri tercih edilmektedir. Son yıllarda elektriksel iletkenlik birimi olarak milimhos/cm'nin eşdeğeri olan dS/m birimi de kullanılmaktadır.

Sulama sularının asit, nötr veya bazik durumlarını saptamak amacıyla pH değerleri tayin edilir. Su içindeki erimiş tuzların hidrojen (H⁺) iyonları konsantrasyonu, hidroksil (OH⁻) iyonlarından daha fazla ise çözelti asit, eğer tersi durum mevcut ise bazik, birbirine eşit ise nötr'dür. Hidrojen ve hidroksil iyonları arasındaki ilişki hidrojen iyon konsantrasyonunun negatif logaritmasını belirten pH terimi ile gösterilir. pH 7'den küçükse çözelti asit, 7'den büyük ise bazik, 7 ise nötr'dür. Sulama sularında pH değerinin 6.5-8.0 arasında olması istenir. Laboratuvarda veya arazide pH değeri pH-metre aletleri ile doğrudan ölçülebilmektedir.

7.2.3. Sulama Suyunda Yapılan Kimyasal Analizler

Sulama suyu içerisinde bulunan **Anyon** ve **Katyonların** bir kısmı farklı kimyasal maddeler ve indikatörler kullanılarak titrasyon yöntemleri ile bir kısmı da geliştirilen bazı cihazlarla analiz edilmektedir. Anyon ve katyonların analiz sonuçlarının belirtilmesinde genellikle me/l, ppm veya mg/l birimleri kullanılmaktadır.

Miliekivalan/litre (me/l); litresinde 1 miliekivalangram çözünmüş madde bulunan çözeltinin konsantrasyonunu ifade etmektedir.

ppm ya da **mg/l** ise, bir milyon kısım çözelti içerisinde çözünmüş bir kısım madde miktarını göstermektedir.

Pek çok su örneklerinin analiz sonuçlarına göre yukarıda belirtilen birimlerin birbirlerine çevrilmesinde kullanılacak eşitlikler elde edilmiştir. Bu eşitlikler;

$$ppm = me/l \times 64 \quad (7.2)$$

$$me/l = (EC \times 10^6) / 100 \quad (7.3)$$

$$ppm = mg/l = (EC \times 10^6) \times 0.64 \quad (7.4)$$

Sulama suyu içerisinde sulama suyu tuzluluğunu oluşturan başlıca iyonlar Kalsiyum (Ca⁺⁺), Magnezyum (Mg⁺⁺), Sodyum (Na⁺) ve Potasyum (K⁺) katyonları ile Klor (Cl⁻), Sülfat (SO₄⁻), Karbonat (CO₃⁻), Bikarbonat (HCO₃⁻) ve Nitrat (NO₃⁻) anyonlarıdır. Bu iyonlar dışında bor, silis, flor, kükürt, fosfor, demir, krom, kobalt, bakır, kurşun, cıva, molibden, nikel, selenyum, çinko gibi elementlerde çok düşük konsantrasyonlarda bulunurlar ve genellikle özel istekler dışında sulama suyu analiz raporlarında gösterilmezler.

Sulama suyu içinde bulunan başlıca iyonların sulama, toprak ve bitki ilişkileri yönünden özellikleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Kalsiyum : Kalsiyum tuzları sulara en fazla bulunan bileşikler arasındadır. Toprak veya diğer doğal kaynaklarının yıklanmasından ve sızıyıcı

artıklarından sulama suyuna karıştır. Normal konsantrasyonları toprak işlenmesini kolaylaştırıldığı gibi bitki gelişmesinde de yararlı olmaktadır. Yüksek miktardaki kalsiyum konsantrasyonunun olumsuz etkisi kalsiyum bileşiklerine ve bitki çeşitlerine göre değişmektedir. Örneğin; kalsiyum klorür tuzlarının bazı koşullarda sodyum klorür tuzundan daha zararlı etki yaptığı özellikle meyve ağaçlarının yapraklarında klor birikimi sonucunda zararlanmaların ortaya çıktığı araştırmalarla saptanmıştır.

Mağnezyum : Bitki gelişmesi için gerekli bir element olan mağnezyumda kalsiyum gibi toprağın geçirgenliğini ve işlenebilirliğini olumlu yönde etkilemektedir. Yapılan araştırmalarda 24 ppm lik konsantrasyonlara kadar bitki gelişmesini etkilemediği ancak yüksek konsantrasyonlarda toksik (zehirli) etki yaptığı belirlenmiştir.

Sodyum : Doğada kolayca eriyen sodyum tuzları sulama suyuna dolayısıyla toprağa hemen geçmektedir. Genellikle çok düşük konsantrasyonlarda bitki gelişmesine olumlu etki yapan sodyum iyonu yüksek konsantrasyonlarda toprağın fiziksel yapısını bozarak toprak kömüllerinin dağılmasına (dispersiyon) ve toprağın teksel yapı kazanmasına neden olur. Bu durumda toprak kolloidleri şişerek, toprak gözeneklerini tıkar. Bu durum ise toprağın hava ve su geçirgenliğinin azalmasına neden olur. Ayrıca sodyum bileşiklerince zengin sulama sularının kullanılmasında bitkiler üzerinde doğrudan zararlanmalar meydana geldiği belirlenmiştir. Örneğin; pamuk, patates, şeker pancarı, susam, yonca, arpa, ayçiçeği, domates, narenciye gibi bitkilerin tuzlu sulama suları ile yapılan yağmurlama sulamalarında sulama miktarı ve tuzluluk düzeylerine göre sodyumun bitki yapraklarında birikerek zararlara sebep olduğu saptanmıştır.

Potasyum : Özellikleri sodyuma çok benzer, ancak tuzlarının sodyum tuzlarına nazaran daha az zararlı etki yaptığı belirlenmiştir. Çok ender olarak yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Yüksek konsantrasyonlardaki zararlı etki kalsiyum konsantrasyonunu artırması ile dengelenmektedir.

Klor : Doğal sulara bol miktarda bulunan bir elementtir. Yapılan araştırmalarda 100 ppm'in üzerindeki konsantrasyonlarının çoğu bitkilerde toksik etki yaptığı özellikle meyvelerde, yonca, patates, pamuk, soya, şeker pancarı ve ayçiçeği gibi bitkilerde yağmurlama sulama yöntemi uygulanması durumunda yaprak yanmasına neden olduğu ortaya konmuştur.

Sülfat : Doğal olarak jips ve diğer minerallerin yıkanması sonucunda ve sanayi artıklarından sulama suyuna karışmaktadır. Sülfat zararı birçok bitkide gözlemlenmiştir. Sülfat zararının başlıca nedeni, yüksek sülfat konsantrasyonunda bitkilerin topraktaki kalsiyumu alınamalarından kaynaklanmaktadır. Kalsiyum iyonu yerine sodyum ve potasyum alımının artması sonucunda topraktaki katyon dengesi bozulmaktadır.

Karbonat ve Bikarbonat : Sulama sularında karbonat ve bikarbonat konsantrasyonu arasındaki ilişki ortamın pH değerine bağlıdır. Genellikle sulama sularında karbonat miktarı bikarbonata nazaran oldukça düşüktür. Bikarbonat iyonunun yüksek konsantrasyonda bulunması sodyum iyonunun nispi olarak artmasına neden olur. Bunun için sulama sularında bulunan bikarbonat miktarı sınıflandırma sistemlerinde bir kriter olarak göz önüne alınmaktadır. Bitkilere çok düşük konsantrasyonlarda bile zararlı etki yapabilmektedir. Zararlı etkisi bitkinin besin maddesi alımında ve dolayısıyla, metabolizmasındaki düzensizlikten ortaya çıkmaktadır.

Nitrat : Tarım alanlarına fazla miktarda uygulanan gübrelere ve sanayi atıklarından sulama sularına katılır. Bütün bitkiler nitratı önemli bir besin maddesi olarak kullanır. Yüksek konsantrasyonları su kirliliğine ve toprak geçirgenliğinin azalmasına neden olmaktadır.

Bor : Doğada sodyum borat (boraks) veya kalsiyum borat (kolemanit) şeklinde bulunur. Bitkilerin normal gelişmelerinde gerekli elementlerden birisidir. Ancak sulama sularında 0.5 mg/l üzerindeki konsantrasyonlarda bitkilere zararlı etki yapmaya başlamaktadır. Bor konsantrasyonuna karşı bitkiler farklı düzeylerde dayanım göstermektedir. Örneğin, şeker pancarı, soğan, yonca, 2.0-4.0 mg/l'lik bor konsantrasyonuna dayanım gösterirken, patates, buğday, mısır ancak 1.0 - 2.0 mg/l'lik bor konsantrasyonuna dayanıklıdır.

7.2.4. Sulama Suyu Kalite Kriterlerinin Belirlenmesi

Sulama suyu kalitesinin bulunmasında kullanılan en önemli kriterler şunlardır:

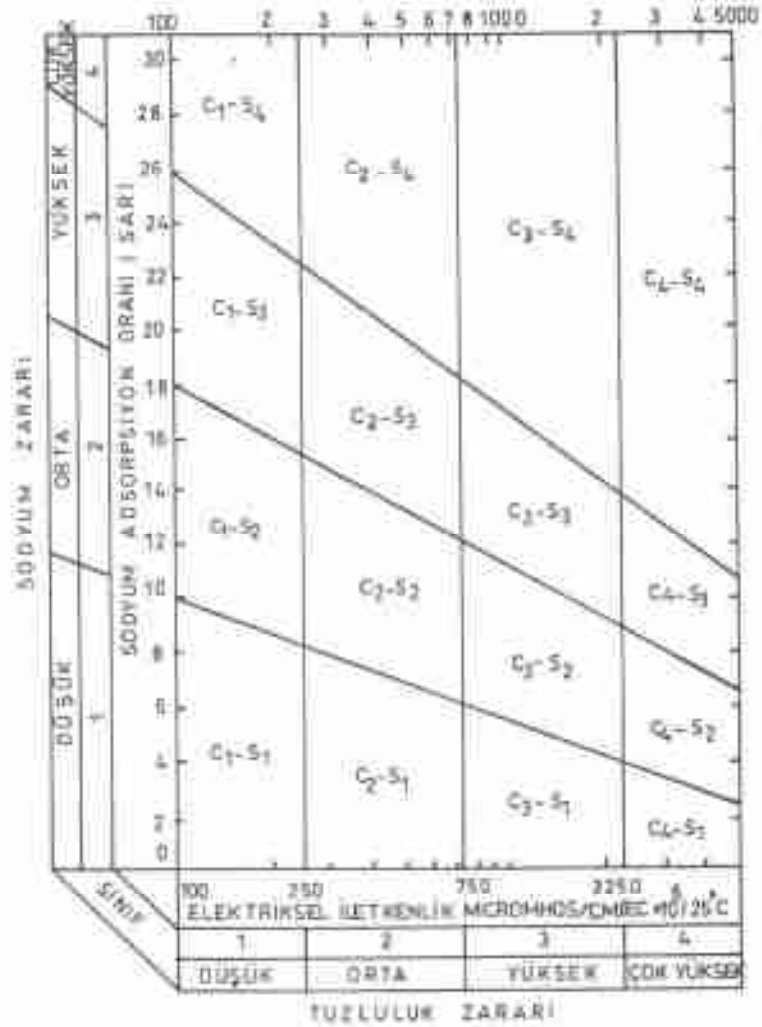
1. Suda eriyebilir tuzların toplam konsantrasyonu:

Sulama sularında toplam tuz miktarı elektriksel iletkenlik (EC x 10⁶) micromhos/cm ya da dS/m olarak belirtilmektedir. Genellikle elektriksel iletkenliğe göre yapılan sınıflamada elektriksel iletkenlik değeri 0-250 micromhos/cm olan sular en kaliteli sulardır. Elektriksel iletkenliği 2250 micromhos/cm'ye kadar olan sular, drenaj sorunu olmayan alanlarda geniş çapta kullanılmaktadır. Ancak bu değerden fazla olursa, tuzluluk sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu topraklarda yalnız tuzla dayanımları fazla olan bitkiler yetiştirilebilir.

2. Sodyum katyonunun eriyikte bulunan diğer katyonlara oranı:

Sodyum iyonunun önceden açıklanan zararlı ve istenmeyen etkisinin oluşmaması için, sodyum zararının bir ölçüsü olarak başlangıçta "sodyum yüzdesi" değeri kullanılmıştır. Bu değer,

$$\%Na = \left(\frac{Na^+}{\sum \text{katyon}} \right) \times 100 \quad (7.5)$$



Şekil 7.1. ABD tuzluluk laboratuvarı grafik sistemine göre sulama sularının sınıfları

2. Orta tuzlu sular (C₂): Tuza orta derecede dayanım gösteren bitkilerin sulanmasında kullanılabilir. Çoğu bitkiler, orta derecede yıkamamın olduğu ve tuzluluk için özel işlemlere ihtiyaç göstermeden yetiştirilebilir.

3. Yüksek tuzlu sular (C₃): Drenaj sorunu olmayan alanlarda kullanılabilir. Uygun drenaj koşullarında bile özel işlemlere gerek duyulabilir. Tuza dayanıklı bitkiler seçilmelidir.

4. Çok yüksek tuzlu sular (C_4): Sulamada kullanılması önerilmez. Eğer kullanılması zorunlu ise, toprak geçirgenliğinin yüksek olması, yeterli drenajın sağlanması, yıkamayı da sağlamak için bol sulama suyu uygulanması ve tuzla çok dayanıklı bitkilerin yetiştirilmesi koşulları göz önüne alınmalıdır.

Grafikte sodyumluluk zararı yönünden oluşturulan sınıfların özellikleri de aşağıda özetlenmiştir.

1. Düşük sodyumlu sular (S_1): Genellikle tüm topraklarda ve çoğu bitkilerde güvenle kullanılabilir. Ancak sodyuma duyarlı olan taş çekirdekli meyve ağaçlarında sodyum birikmesi söz konusu olabilir.

2. Orta sodyumlu sular (S_2): Kaba bünyeli topraklarda veya geçirgenliği iyi olan organik topraklarda kullanılabilir. Toprakta jipsin bulunmadığı durumlarda özellikle düşük yıkama koşullarında yüksek kation değiştirme kapasitesine sahip ince bünyeli topraklarda sodyum zararı oluşturabilir.

3. Yüksek sodyumlu sular (S_3): İyi drenaj ve fazla yıkama koşullarında organik madde ilavesi ile kullanılabilir. Jipsli topraklarda veya kimyasal ıslah maddeleri uygulanması durumunda da kullanılması mümkündür.

4. Çok yüksek sodyumlu sular (S_4): Düşük ve orta tuzluluk durumları dışında genellikle sulamaya uygun değildir. Ancak toprağa kalsiyum eriyiği, jips ve diğer ıslah maddeleri uygulanması koşulunda kullanılabilir.

Örnek :

Verilenler : Bir sulama suyu örneğinin laboratuvarda yapılan analiz sonuçlarına göre elde edilen kation ve anyon konsantrasyonları aşağıda gösterilmiştir.

	İyonlar	Konsantrasyon (me/l)
Kationlar	Kalsiyum	1.50
	Magnezyum	3.40
	Sodyum	2.80
	Potasyum	1.00
	Toplam	8.70
Anyonlar	Karbonat	0.50
	Bikarbonat	2.00
	Sülfat	2.50
	Klor	3.70
	Toplam	8.70

İstenenler :

- 1) Sulama suyu örneğinin elektriksel iletkenlik değerini,
- 2) Sodyum adsorpsiyon oranını (SAR),
- 3) Kalıcı sodyum karbonat miktarını (RSC),
- 4) Sınıfını belirleyiniz.

Cözüm :

1) Sulama suyunun elektriksel iletkenlik değeri (7.2) nolu eşitlikle hesaplanabilir. Eşitliğe göre elektriksel iletkenlik değeri;

$$(EC \times 10^5) = (me/l) \times 100$$

$$(EC \times 10^5) = 8.70 \times 100 = 870 \text{ micromhos/cm dir.}$$

2) Sodyum adsorpsiyon oranı (7.6) nolu eşitlikle hesaplanabilir. Eşitliğe göre SAR değeri,

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} = \frac{2.80}{\sqrt{\frac{1.50 + 3.40}{2}}} = 1.8$$

3) Kalıcı sodyum karbonat miktarı (RSC) değeri (7.7) nolu eşitlikten hesaplanabilir.

$$RSC = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg)$$

$$RSC = (0.50 + 2.00) - (1.50 + 3.40) = - 2.40 \text{ me/l}$$

Bu sonuca göre, sulama suyu güvenle kullanılabilir.

4) Sulama suyu sınıfı ABD tuzluluk laboratuvarı grafik sistemine göre $(EC \times 10^5) = 870 \text{ micromhos/cm}$ ve $SAR = 1.8$ değerleri göz önüne alınarak Şekil 7.1'den bulunabilir.

Sulama suyu sınıfı: C_3S_1 (Tuzluluk yüksek, sodyumluluk düşük)

7.3. YIKAMA İHTİYACI

Uygulanan sulama yöntemine bağlı olarak kış yağışlarının toprak katmanında biriken tuzları bitki kök bölgesinden uzaklaştırmaya yeterli olmadığı koşullarda belirli zamanlarda topraktaki tuz dengesini kontrol etmek için yıkama amacıyla su uygulaması gerekmektedir. Yıkama ihtiyacı, toprak tuzluluğunu bitki kök bölgesi derinliğinde belirli ve uygun bir düzeyde tutmak için verilmesi gereken sulama suyunun bir kısmı olarak tanımlanır. Yıkama amacıyla verilecek suların etkili olabilmesi için uygun drenaj koşullarının mutlaka sağlanması gerekmektedir. Aksi takdirde yıkama suyu toplan suyunu daha da yükselterek

toprak tuzluluğunu artırmaktadır. Tarımsal alanlarda üniform bir su dağılımı sağlanabildiği takdirde derine sızma kayıpları yıkama yönünden etkili olabilir. Bu durum tava yöntemi ile sulamada tavaya verilen su miktarının toprağın infiltrasyon hızına göre ayarlanabilmesi durumunda mümkündür. Fakat uzun tava, kırık ve diğer yüzey sulama yöntemlerinde genellikle üniform bir su dağılımı sağlanamamaktadır. Ancak derine sızma kayıpları, yıkama ihtiyacına yakın miktarlarda ise yıkama için ayrıca ek bir sulama uygulamasının yapılması genellikle düşünülmez.

Yıkama ihtiyacı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir:

$$LR = (ET - r) \frac{EC_e}{e \left(\frac{SP}{TK} \cdot EC_e + EC_e \right)} \quad (7.8)$$

Eşitlikte;

- LR = Yıkama ihtiyacı (mm/ay)
- ET = Bitki su tüketimi (mm/ay)
- r = Etkili yağış (mm/ay)
- EC_e = Sulama suyunun elektriksel iletkenliği (micromhos/cm)
- EC_e = Toprağın elektriksel iletkenliği (micromhos/cm)
- SP = Toprağın saturasyon yüzdesi (%)
- TK = Toprağın tuz kapasitesi (%)
- e = Yıkama randımanı (0.20-0.60 arasında değişmektedir).

7.4. SULAMA SUYU KALİTESİ İLE SULAMA YÖNTEMLERİ İLİŞKİSİ

Tarımsal alanlarda sulama yönteminin seçiminde göz önüne alınan sulama suyu kalitesi topraktaki tuz dağılımı ve bitki gelişmesi yönünden oldukça önemlidir. Toprakların fiziksel özellikleri uygulanan sulama ve drenaj yöntemini etkileyeceğinden uygulanacak sulama yöntemi de sulama suyunun kullanımını belirler.

Kalitesi iyi olmayan tuzluluğu yüksek sulama sularının kullanılma zorunluluğu olduğunda daha çok yüzey sulama yöntemleri seçilmelidir. Toprağın fiziksel özelliklerinin uygun olması koşulunda tava ya da salma sulama yöntemleri tercih edilir. Ancak kırık sulama yönteminde suyun toprağı ıslatma özelliğinden dolayı tuzlar kırık sırtlarında birikeceğinden sakıncalıdır.

Yağmurlama yönteminde sulama suyu içerisindeki tuzlar, hem toprağı hem de doğrudan bitkiye etki yapar. Bu yöntemde su dağılımı üniform olduğundan tuzluluk kontrolü de kolaylaşmaktadır. Ancak yağmurlama sulama yöntemiyle genellikle yüzey sulamalara oranla daha az su verildiğinden topraktaki tuz

dengeğini sağlayan yıkama suyu miktarı azlığından dolayı tuz birikimi fazla olabilir. Bu durumlarda toprağa periyodik olarak yeterli yıkama suyu vermek gerekmektedir. **Damla** yönteminde, bitki kök bölgesindeki tuzlar sürekli olarak kök bölgesi dışına yıkanmakta ve orada biriktirilmektedir.

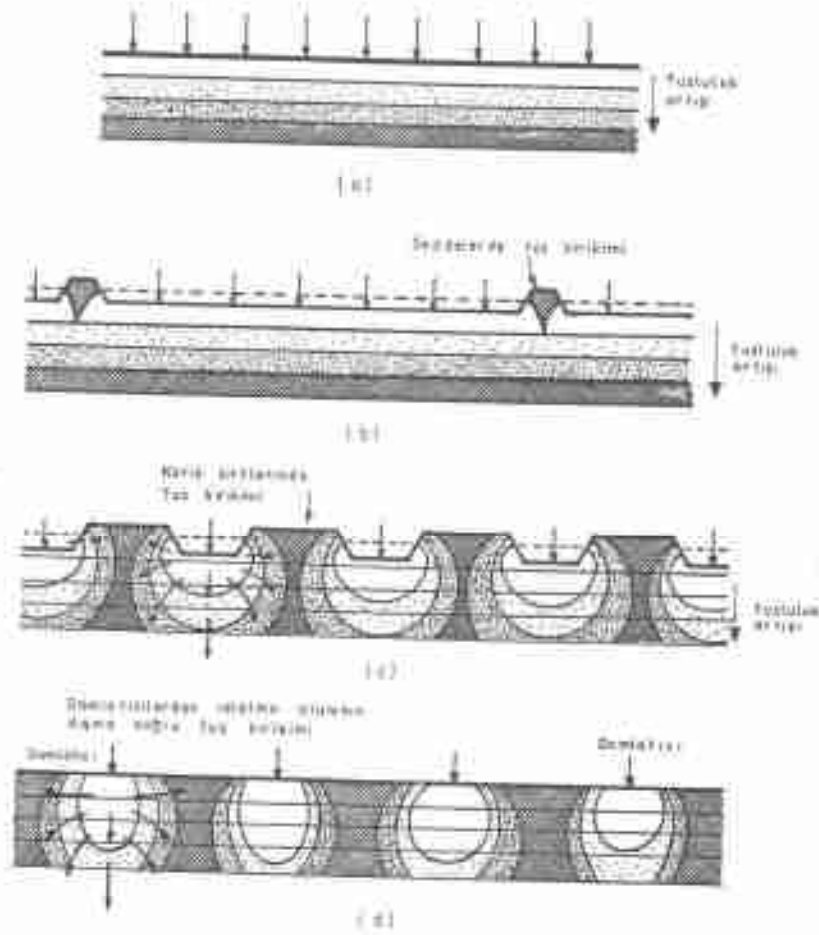
Tuz içeriği yüksek olan sulama sularının kullanıldığı koşullarda özellikle kök bölgesi dışında biriken tuzların kış yağışları ile yıkanması göz önüne alındığında sulama suyu kalitesi açısından en uygun sulama yönteminin damla sulama yöntemini olduğu sonucu çıkarılabilir. **Toprakaltı** sulama yöntemlerinde ise, eğer yeterli yağış ve etkili bir drenaj sağlanamıyorsa suyun toprak içerisindeki hareketi aşağıdan yukarıya doğru olduğundan sulama suyundaki tuzlar üst toprak katmanlarında toplanacaktır. Bu nedenle bu yöntem sulama suyu kalitesi yönünden uygun olmamaktadır. Şekil 7.2'de çeşitli sulama yöntemlerinde toprakta ortaya çıkan tuz birikim desenleri gösterilmiştir.

7.5. SULAMA SUYU KALİTESİ VE SORUNLU TOPRAKLAR

Sulama alanlarında kullanılan yeraltı veya yeraltı suları az veya çok miktarlarda erimiş katı maddeler yani tuz bulundururlar. Çok az tuz içeren iyi kaliteli sulama sularının yetersiz drenaj koşullarında kontrolsüz olarak kullanılmasında bile tarım alanlarına her sulama döneminde toularca tuz verilmektedir. Bu tuzların bitki kök bölgesi derinliğindeki topraktan uzaklaştırılmaması halinde topraklar kısa sürede tuzlu yada tuzlu-sodyumlu diye adlandırdığımız **çorak topraklar** durumuna dönüşmektedir. Bu nedenle sulama projelerinden sağlanacak yarar ve projenin ömrü büyük ölçüde sulama suyu kalitesine bağlı bulunmaktadır.

Ülkemizin de yer aldığı kuru ve yarı kuru iklim bölgelerinde toprak tuzluluğunun başlıca nedeni salımlardır. Bu nedenle bu bölgelerde tesis edilen drenaj sistemlerinin amacı, bitki kök bölgesi derinliğindeki toprak katmanında bitki gelişmesi için uygun tuz dengesinin sağlanması yani tuzluluğun kontrol altında tutulmasıdır. Ülkemizin 13.5 milyonu ha'lık sulanabilir nitelikteki topraklarının il toprak kaynakları envanterlerine göre % 12.1'i (1 518 722 ha) tuzlu-sodyumlu topraklarla kaplanmıştır. Bu toprakların büyük bir çoğunluğu drenaj olanakları yetersiz olan eski sulama şebekelerinin yer aldığı bölgelerdedir. Örneğin ülkemizdeki tüm tuzlu-sodyumlu toprakların % 21.4'ü Konya ilinde % 10.5'i Niğde ilinde ve % 7.3'ü ise Adana ili topraklarında bulunmaktadır.

Genellikle sulama suyu kalitesinden kaynaklanan sorunlu topraklar tuzlu, sodyumlu, tuzlu-sodyumlu ve borlu topraklar olarak dört grupta incelenmektedir.



Şekil 7.2 Çeşitli sulama yöntemlerinde topraktaki tuz birikim desenleri (a. Yağmurlama b. Uzun tava c. Karık d. Damla)

7.5.1. Tuzlu Topraklar

Kurak ve yarı-kurak iklim koşullarına sahip bölgelerde topraktaki tuzluluğun kontrolü drenaj sistemleri ile sağlanmaktadır. Böyle yörelerde yağış miktarı toprakta bulunan tuzların yıkanmasına yeterli değildir. Yeterli olmayan drenaj koşullarında yüze yakın olan yeraltı suyu ve toprak geçirgenliğinin düşük olması toprakların tuzlaşmasını artırır. Ayrıca buralarda bitkilerdeki yüksek transpirasyon ve toprak yüzeyinde oluşan yüksek buharlaşma toprak nemindeki tuz içeriğinin artmasına neden olmaktadır. Nemli iklim koşullarında ise eriyebilir

tuzlar yağışlarla toprak içerisinden sızarak yeraltı sularına karışır ve araziden uzaklaşır. Bu nedenle böyle yörelerde tuzluluk sorununa daha az rastlanmaktadır.

Tarımsal alanlarda bitkilerin gelişmesini önleyecek kadar eriyebilir tuz bulunduran topraklar "**Tuzlu Topraklar**" olarak tanımlanır. Bu topraklar toprak yüzeylerinde beyaz tuz lekelerinin bulunması, bitki örtüsünün seyrekleşmesi ve zayıflaması ile kolaylıkla tanımlanabilir. Tuzlu topraklarda elektriksel iletkenlik değeri 4 milimhos/cm'den fazla değişebilir sodyum yüzdesi 15'den az, pH değeri de genellikle 8.5'tan küçüktür. Bu topraklarda eriyebilir katı maddelerin fazlalığı osmotik basıncı artırır. Bu durum bitki kökleri tarafından suyun alınmasını engeller.

Toprak tuzluluğunun bitki gelişmesi üzerindeki zararlı etkileri şu şekilde özetlenebilir:

1. Yavaş ve yetersiz çimlenme
2. Fizyolojik kuraklık, solma ve kuruma
3. Bodurluk, küçük yapraklar, kısa gövde ve dallar
4. Mavimsi yeşil yapraklar
5. Çiçeklenmenin gecikmesi, daha az çiçek açma ve tohumların daha küçük olması
6. Tuza dayanıklı yabancı otların gelişmesi

Bitkilerin tuza dayanımları, iklim koşulları, toprağın nem durumu, tuz miktarı ve çeşitlerine göre oldukça farklılık göstermektedir. Bitkilerin tuz toleranslarının göstergesi kök bölgesindeki eriyebilir tuzların belli seviyesi için tahmin edilen verim azalmasıdır. Bu verim tuzsuz koşullar altında elde edilen verimle kıyaslanır. Böylece oransal verimler elde edilir.

Oransal verim azalmasına göre çeşitli bitkilerin tuza dayanımları Çizelge 7.2'de verilmiştir.

7.5.2. Sodyumlu Topraklar

Toprak eriyğinde bulunan sodyum iyonlarının toprak taneleri yüzeyinde fazla miktarda adsorbe edilmesi ile sodyumlu topraklar oluşmaktadır. Kurak iklim koşullarında, toprak eriyiklerinde bulunan kalsiyum ve magnezyum topraktaki suyun kaybolmasıyla daha konsantrite duruma dönüşerek çökeltir. Bu olay sonunda sodyum miktarı diğer katyonlara göre fazlalaşır ve sodyumlu topraklar oluşur.

Sodyumlu topraklarda toprak eriyindeki elektriksel iletkenlik değeri 4 milimhos/cm'den az ve değişebilir sodyum yüzdesi ise 15'ten fazladır. Toprakların pH değeri 8.5-10.0 arasında olup kireç içermeyen topraklarda 6.0'ya kadar düşebilir. Sodyumlu topraklarda bulunan sodyum, toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkili olmaktadır.

Çizelge 7.2 Bitkilerin Toprak Tuzluluğuna Dayanımları (milimhos/cm,25°C)

Tarla Bitkileri	Verim azalmaları (%)			
	0 ¹	10	25	50
Arpa ¹	8.0	10.0	13.0	18.0
Pamuk	7.7	9.6	13.0	17.0
Şeker pancarı ²	7.0	8.7	11.0	15.0
Buğday ²	6.0	7.4	9.5	13.0
Aspir	5.3	6.2	7.6	9.9
Soya fasulyesi	5.0	5.5	6.2	7.5
Sorgum	4.0	5.1	7.2	11.0
Yer fıstığı	3.2	3.5	4.1	4.9
Pirinç	3.0	3.8	5.1	7.2
Mısır	1.7	2.5	3.8	5.9
Keten	1.7	2.5	3.8	5.9
Bakla	1.6	2.6	4.2	6.8
Kuru fasulye	1.0	1.5	2.3	3.6
Sebzeler				
Pancar ³	4.0	5.1	6.8	9.6
Karnabahar	2.8	3.9	5.5	8.2
Domates	2.5	3.5	5.0	7.6
Hıyar	2.5	3.3	4.4	6.3
Kavun	2.2	3.0	4.2	6.2
Karpuz	1.3	2.2	3.6	6.0
Ispanak	2.0	3.3	5.3	8.6
Lahana	1.8	2.8	4.4	7.0
Patates	1.7	2.5	3.8	5.9
Tatlı mısır	1.7	2.5	3.8	5.9
Tatlı patates	1.5	2.4	3.8	6.0
Biber	1.5	2.2	3.3	5.1
Marul	1.3	2.1	3.2	5.2
Turp	1.2	2.0	3.1	5.0
Soğan	1.2	1.8	2.8	4.3
Havuç	1.0	1.7	2.8	4.6
Taze fasulye	1.0	1.5	2.3	3.6

Çizelge 7.2 Bitkilerin Toprak Tuzluluğuna Dayanımları (milimhos/cm, 25°C) (Devam)

Yem Bitkileri	Verim azalmaları (%)			
	0	10	25	50
Yüksek otlak ayrığı	7.5	9.9	13.3	19.4
Otlak ayrığı	7.5	9.0	11.0	15.0
Bermuda otu	6.9	8.5	10.8	14.7
İngiliz çirni	5.6	6.9	8.9	12.2
Gazal boynuzu	5.0	6.0	7.5	10.0
Yumru kanyaş	4.6	5.9	7.9	11.1
Çayır yumağı	3.9	5.8	8.6	13.3
Kır ayrığı	3.5	6.0	9.8	16.0
Burçak	3.0	3.9	5.3	7.6
Sudan otu	2.8	5.1	8.6	14.4
Yaban çavdarı	2.7	4.4	6.9	11.0
Batiklik lüfer otu	2.3	2.8	3.6	4.9
Yonca	2.0	3.4	5.4	8.8
Mıtır (yem)	1.8	3.2	5.2	8.6
İskenderiye ileğüllü	1.5	3.2	5.9	10.3
Domuz ayrığı	1.5	3.1	5.5	9.6
Tilki kuyruğu	1.5	2.5	4.1	6.7
Üçgül	1.5	2.3	3.6	5.7
Meyveler				
Badem	1.5	2.5		
Böğürtlen	1.5	2.5		
Çilek	1.0	1.5		
Elma	-	2.5		
Erik	1.5	2.5		
Greyfurt	1.8	3.5		
Hurma	4.0	8.0		
Kayısı	1.6	2.5		
Limon	-	2.5		
Portakal	1.7	3.0		
Şeftali	1.7	2.5		
Üzüm	1.5	4.0		
Zeytin	-	5.0		

- 1) Gips bulunan topraklarda bitkiler belirtilen limitten yaklaşık 2 mmhos/cm daha yüksek dayanım göstereceklerdir.
- 2) Çimlenmede dayanırlı olduğundan EC₀ 3 mmhos/cm'yi geçmemelidir.
- 3) Çimlenme ve fide dönemlerinde EC_e < 4-5 mmhos/cm olmalıdır.

Toprakta sodyum yüzdesinin artması toprak kolloidlerinin dağılmasına neden olduğu için toprak içindeki su ve hava hareketi yavaşlar böylece toprakların hidrolik iletkenlikleri ve infiltrasyon hızları azalır. Bunun sonucunda da bitki büyümesi ve kök gelişmesi yavaşlar. Çizelge 7.3'te tuzlu koşullarda yetiştirilen bitkilerin topraktaki değişebilir sodyuma dayanımları gösterilmiştir.

7.5.3. Tuzlu-Sodyumlu Topraklar

Bitkilerin büyüme ve gelişmelerini önleyecek miktarlarda hem tuz hem de sodyum bulunduran topraklarda fazla tuz toprak tanelerinin kümeli bir yapı almasına neden olur. Toprağın alt katmanlarına doğru fazla tuzun yıkanması sonucunda toprak eriyiğindeki tuz konsantrasyonu azalır ve değişebilir sodyum hidrolize olarak sodyum hidroksit meydana gelir. Sodyum hidroksit havadan adsorbe edilen yada mikroorganizmaların oluşturduğu karbondioksit ile reaksiyona girerek sodyum karbonata dönüşür ve bu şekilde sodyum karbonat birikerek, toprak yüksek bir alkali özellik kazanır.

Tuzlu-sodyumlu topraklarda elektriksel iletkenlik değeri 4 milimhos/cm'den büyük, değişebilir sodyum yüzdesi 15 den yüksektir. Bu topraklarda pH değeri ender olarak 8.5 i geçer.

7.5.4. Bor'lu Topraklar

Sulama sayında bor elementinin bulunması durumunda borlu topraklar oluşmaktadır. Bor elementinin bitkiler üzerindeki toksik etkisi çok küçük bor konsantrasyonlarında ortaya çıkmaktadır. Bor elementinin toksik etkileri tarımsal alanlarda fazla miktarda borlu gübre kullanımı, boraks yataklarından gelen sular ve denizsel sedimentlerin fazla miktarda oluşumundan kaynaklanmaktadır.

Bor'un bitkiler üzerindeki toksik etkisi önce yapraklarda sonra diğer organlarında görülür. Bitkilerin bor'a karşı dayanımları bitki çeşide göre değişmekle birlikte iklim özellikleri de dayanıklılığı etkileyen bir faktör olmaktadır.

7.6. SORUNLU TOPRAKLARIN ISLAHI

Sorunlu topraklar derin sürüm, toprakaltı işleme, kumlama ve profilin ters yüz edilmesi gibi **mekanik uygulamalarla**, toprağa çiftlik gübresinin veya diğer organik maddelerin verilmesi ve baklagiller gibi yararlı bitkilerin yetiştirilmesi gibi **biyolojik uygulamalarla** ya da **kimyasal islah maddesi ve yıkama suyu uygulamalarıyla** islah edilerek tekrar verimli topraklar durumuna dönüştürülebilir.

Mekanik uygulamalarda ince ve kaba bünyeli toprakların karıştırılması ile toprak geçirgenliği artırılarak toprağın homojen bir yapı kazanmasına çalışılır. Derin sürüm ile sodyumdan etkilenmiş olan topraklar jips kapsayan toprakların

Çizelge 7.3 Bitkilerin Topraktaki Değişebilir Sodyuma (DSY) Karşı Dayanımları

Bitki çeşidi	Etkili DSY Sınırları	Dayanım durumu	Tarla koşullarında bitki gelişmesi
Avekado Armut Badem Ceviz Elma Erik Fındık Fıstık Kayısı Kestane Kiraz İğde Şeftali Turunçgiller Üzüm Vişne Zeytin	2 - 10	Çok dayanlı	Düşük değişebilir sodyum yüzdesi seviyelerinde bile sodyumun zehirleyici etkileri. Yapraklarda sodyum birikimi neticesinde yanmalar
Fasulyeler	10 - 20	Dayanlı	İyi toprak yapısına rağmen büyümede durgunluk
Ayçiçeği Üçgül Mercimek Yulaf Üçgül Yumakotu Çeltik	20 - 40	Orta derecede dayanıklı	Kötü toprak yapısı ve beslenme zorluğundan durgun büyüme, verimde ani düşmeler
Buğday Pamuk Yonca Arpa Domates Pancar	40 - 60	Dayanıklı	Kötü toprak yapısı nedeniyle gelişmede yavaşlama verim azalması
Otlak ayrığı Yüksek otlak ayrığı Rodos çimi	> 60	Çok dayanıklı	Kötü toprak yapısı sebebiyle durgun büyüme

altına getirilir. Toprak işleme ile toprak içerisindeki sert tabakanın çizel, dip kazan, ripper aletleriyle kırılması sonucu oluşan çatlaklardan toprak geçirgenliği artırılmaya çalışılır. Ağır killi olmayan inese bünyeli bir yüzey toprağına kum karıştırılmak toprak daha geçirgen duruma dönüştürülebilir.

7.6.1. Tuzlu ve Bor'lu Toprakların Islahı

Tuzlu topraklar genellikle etkili bir drenaj sistemi tesis edildikten sonra yıkama suyu uygulanarak ıslah edilmektedir.

Tuzlu toprağın ıslahı amacıyla uygulanacak yıkama suyu miktarına, toprakta ve tabii suyunda bulunan tuzların miktarı ve çeşidi, yıkama suyunun kalitesi, toprağın geçirgenliği, yıkayacak toprak derinliği ve yıkama şekli etkili olmaktadır. Yıkama suyu toprağına genellikle 1. **Devamlı göllendirme**, 2. **Aralıklı göllendirme** ve 3. **Yağmurlama yöntemiyle** verilmektedir. Bu yöntemler içerisinde su ekonomisi açısından en uygun olanı yağmurlamadır. Ancak uygulamada daha çok etrafı seddelerle çevrilmiş toprak yüzeyinde, yıkama suyunun aralıklı olarak göllendirilmesi yöntemi kullanılmaktadır. Toprak yüzeyinde göllenmiş su zamanla toprak içerisine sızarak buradaki eriyebilir tuzları ve bor elementini bitkilerin kök bölgesi derinliğindeki toprak katmanından uzaklaştırır. Bor'lu toprakların ıslahında genellikle tuzlu topraklara uygulanan yıkama suyundan daha fazla yıkama suyu uygulanması gerekir. Tuzlu ve borlu toprakların ıslah edilip edilemedikleri diğer bir deyişle ıslahın etkinliği toprak analizleri ve bitki gelişme durumu ile anlaşılır.

7.6.2. Sodyumlu ve Tuzlu-Sodyumlu Toprakların Islahı

Sodyumlu ve tuzlu-sodyumlu toprakların ıslahı etkili bir drenaj sisteminin oluşturulmasından sonra kimyasal ıslah maddesi ve yıkama suyu uygulanması ile gerçekleştirilmektedir. Kimyasal ıslah maddelerinde gerekli olan temel element kalsiyumdur. Bu element toprakta bulunan kalsiyumun yerine geçerek sodyumu ortamdan uzaklaştırır. Kalsiyum bitkilere yararlı element olduğundan ıslah işlemi sağlanmış olur.

Başlıca kimyasal ıslah maddeleri, eriyebilir kalsiyum tuzları, asitler ve asit oluşturanlar ile eriyebilirlikleri düşük kalsiyum tuzlarıdır. Bu maddeler içinde en çok kullanılan, ülkemizde de doğal yataklarının bol olduğu **jips** ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) maddesidir. Jips maddesi öğütüldükten sonra tarla yüzeyine serilir ve bir pulluk vasıtasıyla toprak içerisine iyice karıştırılır. Daha sonra tarlaya sulama suyu veya yıkama suyu uygulanır.

Toprakların yıkama suyu ve kimyasal madde uygulamasından sonra bozulan fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi için, toprağın aralıklı olarak ıslanma ve kurumaya terk edilmesi, toprağın donma ve çözünmelere maruz bırakılması ve bitki yetiştirme süreleriyle bitki kök faaliyetlerinin artırılması işlemleri yapılmalıdır.

7.7. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ

1. Direnci 2500 ohm olan sulama suyu örneğinin tuz konsantrasyonunu me/l ve mg/l cinsinden hesaplayınız.

2. Bir sulama suyu örneğinin analiz sonuçlarına göre kalsiyum 3.25 me/l, magnezyum 2.58 me/l, sodyum 3.14 me/l, potasyum 1.48 me/l, bikarbonat 3.50 me/l, sülfat 4.22 me/l, klor 2.23 me/l olarak saptanmıştır.

- Sulama suyu örneğinin elektriksel iletkenlik değerini,
- Sodyum adsorpsiyon oranını (SAR),
- Kalıcı sodyum karbonat miktarını (RSC),
- Sulama suyu sınıfını belirleyiniz.

3. Bir sulama alanında toprakların tarla kapasitesi % 28, hacim ağırlığı 1.4 g/cm³ ve mevcut rutubet miktarı % 14 olarak saptanmıştır. Bu toprağın 120 cm derinliğinden 10 cm lik yıkama suyunu geçirmek için verilmesi gereken toplam su miktarını hesaplayınız.

DRENAJ

8.1. SULAMADA DRENAJIN ÖNEMİ

Sulama ve drenaj hangi iklim kuşağında olursa olsun üretimde sürekliliği sağlayan, diğer gelişim etmenlerinin değerlendirilmesine olanak yaratan temel önlemler olmaktadır. Bitki yetiştirilmede, bitki kök bölgesindeki nem kontrollü, iyi planlanmış sulama ve drenaj sistemleriyle mümkün olabilmektedir. Sulama sistemlerinin kurulması sonucu elde edilen yüksek verim artışı, ancak drenaj sistemlerinin iyi çalışması durumunda uzun süre devam edebilir. Sulama-drenaj ilişkileri çözümlenmeyen alanlarda karşılaşılan yüksek taban suyu, tuzluluk ve çoraklaşma, ilerleyen yıllar içinde verimi hızla düşürmektedir. Bu verim düşüklüğünde tarla içi drenaj çalışmalarında kullanılmakta olan geri teknolojiler de önemli bir etmen olarak görülmektedir. Drenaj ve Arazi Islahı çalışmalarının amacına ulaşması çağdaş teknolojinin koşullara uydurulması ve bu teknolojilerin yaygın olarak kullanılmasıyla mümkündür.

Genellikle sulanan tarım alanlarında drenajın uygunluğu bitki gelişmesine zarar verebilecek dönemlerde toprak üzerinde ve içindeki fazla suyun bulunup bulunmadığına bağlıdır. Bitkilerde uygun kök gelişme ortamının sağlanması ve toprakların kolayca işlenmesi için optimum nem miktarının bulundurulması drenaj olanakları ile doğrudan ilişkilidir.

8.2. DRENAJIN TANIMI VE YARARLARI

Tarım alanlarında drenajın amacı, havadar bir kök bölgesi ve tarımsal faaliyetler için yeter derecede kuru bir üst toprak sağlamak için kaynağı ne olursa olsun fazla suyun araziden uzaklaştırılmasıdır. Böylece fazla sudan zarar gören tarım alanlarında bitkisel üretimi optimum ve sürekli kılmak için toprak, bitki ve su arasında uygun bir denge sağlanmış olur.

Bitki gelişmesi için toprak içinde bitki kök bölgesi ortamındaki nem düzeyinin optimum olması istenir. Toprakta denge durumunda olan katı, sıvı ve gaz fazlarının oranı bozulduğunda bitki gelişmesinde aksamalar ortaya çıkar. Toprakta su ve hava fazlarının kapladığı boşluklar tamamen su ile dolarsa bitkiler canlılığını kısa bir süre sonra kaybeder. Drenaj ihtiyacı gösteren böyle alanlarda drenaj çalışmalarından sonra elde edilecek yararlar şöyle özetlenebilir:

1. Toprakların fiziksel özellikleri düzenlenerek, toprakta yeterli bir hava akımı sağlanır ve ortamda fazlaolan oksijen sayesinde bitki köklerinin solunumu kolaylaşır.

2. Suyun boşaldığı toprak gözenekleri hava ile dolduğundan ıslak topraklara nazaran toprağın daha çabuk ısınması ve mikroorganizmalar yardımıyla da organik maddelerin daha fazla ve daha çabuk parçalanmaları sağlanır.

3. Tarım arazilerinde toprak içerisinde hava ve nem dengesi düzenlendiği için bitki kök sistemi kolay gelişir. Böylece derinlere kadar inen kök sistemi ile bitkiler kurak periyotlarda bile yeterli suyu bulabilirler.

4. Toprağın yapısı düzeldiği için özellikle ağır bünyeli toprakların işlenmesi kolaylaşır ve toprak işleme araçlarına gerekli olan çeki gücü gereksinimi azalır.

5. Bitkisel üretim artırılarak bitki desenlerinde ve münavebe sistemlerinde çeşitlilik sağlanır.

6. Tarım arazilerinde birim alandan elde edilen üretimin artırılması nedeniyle arazi kıymeti yükselir.

7. Potansiyel tarım arazisi özelliğindeki ıslak ve bataklık arazi ıslah edilerek tarımsal üretime açılır.

8. Toprakta tuz birikmesi önlenir.

9. Arazide mevcut yapılar, yollar ve diğer tesisler korunur.

10. Çevrede yaşayan toplumun sağlık koşulları iyileştirilir.

8.3. TARIM ALANLARINDA DRENAJ SORUNLARI

Tarım alanlarında drenaj sorunu, topografya ve toprak koşullarının, yüzey ve yeraltı sularının doğal bir boşaltma ağzına ulaşmasını engellediği veya bu ulaşımın arzu edilen çabuklukta olmadığı durumlarda ortaya çıkar. Böyle durumlarda suyun yüzeyde birikmesiyle, göllenmeler toprağın yüzeyine kadar su ile doyması ile de bataklıklar ve ıslak araziler meydana gelir. Bazı durumlarda da taban suyu arzu edilmeyen sınırların üstüne yükselerek bitkisel üretimi sınırlar ve olanaklız kılar. Drenaj sorunu, toprak yüzeyinde veya bitki kök bölgesinde gereğinden fazla su bulunmasından ortaya çıkmaktadır. Eğer su arazi yüzeyinde gölleniyorsa sorun "Yüzey Drenaj" i, toprak altında birikiyorsa "Toprakaltı Drenajı" dır.

Tarla içi drenaj sorunları genellikle sulamalar sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle sulanan alanlarda taban suyu yükselmesi ve bunun

sonucunda da bitki kök bölgesi derinliğindeki toprak katmanlarında tuz birikimi meydana gelebilir.

Sulu tarım alanlarındaki drenaj sorununun ortaya çıkmasına neden olan başlıca faktörler şunlardır;

1. Sulama suyunun getirilmesi ve tarlaya uygulanması sırasında ortaya çıkan su kayıpları,
2. Artezyenik sular,
3. Kontrolsüz olarak gereğinden fazla sulama suyunun toprağa verilmesi,
4. Toprak altından tarım alanlarına gelen yabancı sular,
5. Fazla yağış ve taşkın suları

Yağışlı bölgelerde ve kurak bölgelerde ortaya çıkan drenaj sorunlarının nedenleri birbirinden farklılık göstermektedir. Yağışlı bölgelerde ortaya çıkan drenaj sorununun başlıca kaynağını fazla yağışların etkisiyle oluşan yüzey akışları ve taban suyu düzeylerinin yükselmesi oluşturmaktadır. Kurak ve yarı-kurak bölgelerde drenaj sorunu ise sulamalar ile meydana gelmektedir.

Gerek yağışlı bölgelerde gerekse kurak bölgelerde fazla suyun oluşturduğu drenaj sorunları aşağıda sıralanan arazi gözlemleri ile belirlenebilir.

1. Tarım alanlarının çukur yerlerinde uzun süre su göllenmesi,
2. Tarım alanlarının yüzeyinde tuz lekelerinin birikmesi,
3. Bitkilerde yaprak yanması ve kök çürüklüğü ile toprak nemiyile ilgili hastalıkların artması,
4. Tarım alanlarında fazla sivrisinek üremesi,
5. Suyu seven digitaria, Echinocloa, Typha Scripus gibi yabancı otların gelişmesi,
6. Ekim ve hasat zamanlarının gecikmesi ve tarım makinalarının toprak yüzeyinde derin iz bırakması,
7. Zaman zaman toprak yüzeyinde ıslaklık görülmesi,
8. Toprak içinde yeterli hava sağlanmadığından ürünlerde verim düşüklüğü görülmesi.

8.4. DRENAJ ETÜDLERİ

Drenaj sorunu görülen herhangi bir havza, veya alanda drenaj sorununun çözümü için ilk aşamada drenaj alanına ilişkin etütlerin yapılması gerekir. **drenaj etütlerinin amacı**, tarım alanlarında, uygun drenaj sistemlerinin planlanması ve

projelemlenmesi için gerekli verileri temin etmektir. Bu verilerin değerlendirilmesi ile drenaj sorununun kapsamı ve ihtiyaç duyulan drenaj sistemi üzerinde bir karara varılır.

Drenaj çalışmalarında öncelikle mevcut bilgilerin toplanmasını amaçlayan bir ön çalışma yapılır. Ön çalışma iki aşamalı olarak yürütülür. Birinci aşamada araziye gitmeden, arazi hakkında mevcut veriler toplanır, ikinci aşamada ise, yeterli olmayan ve bulunamayan veriler, arazide ve laboratuvarında yapılan çalışmalarla sağlanmaya çalışılır. Daha sonra toplanan verilerin ışığı altında soruna en uygun çözümü getirecek olan proje hazırlanarak sistemin ekonomik analizi yapılır.

8.4.1. Mevcut Verilerin Toplanması

Drenaj sorunu olan alanlarda ön etüt çalışmalarına başlamadan önce alana ilişkin mevcut veriler toplanarak sorunun genel bir değerlendirilmesi yapılır. Bu çalışmalarda aşağıdaki veriler toplanarak incelenir.

1. Topografik haritalar
2. Hava fotoğrafları
3. Jeolojik haritalar
4. Tapu Kadastro haritaları
5. Toprak haritaları ve su analiz raporları
6. Arazi kullanma haritaları
7. Meteorolojik bilgiler
8. Hidrolojik bilgiler
9. Özel çalışma ve raporlar
10. Yerde mevcut ve yapılmakta olan yapılar

8.4.2. Ön Etüt Çalışmaları

Tasarlanan drenaj sistemlerinin ekonomik yönden uygulama olanağının olup olmadığı ve çalışmaların şekli konusunda karar verebilmek amacıyla aşağıda belirtilen konularda etüt çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

1. Toprak Etütleri
2. Drenaj sistemlerinin çıkış yeri ve kapasitesi
3. Sulama kayıtları
4. Taban suyu düzeyi
5. Taşkınlar ve sedimentasyonu
6. Arteriyentik koşullar
7. Pompaj kuyuları
8. Drenajdan etkilenen tarım işletmeleri
9. Yaklaşık fayda-masraf oranı

8.4.3. Ayrıntılı Etüt Çalışmaları

Drenaj projeleri için yeterli veri bulunmuyorsa bu etüt çalışmalarına ek olarak daha ayrıntılı arazi ve laboratuvar çalışmalarına ihtiyaç vardır. Ayrıntılı etüt çalışmalarında genellikle topoğrafya, boşaltım yeri, toprak, geçirimsiz tabaka ve tabansuyu etütleri üzerinde durulmaktadır.

1. Topografik etütler: Drenaj alanına ilişkin topografik haritalar bulunmuyorsa, öncelikle amaca ve alan büyüklüğüne göre 1/1000 - 1/5000 ölçekli haritalar hazırlanır.

2. Çıkarış yeri etütleri: Topografik haritalar üzerinde çıkış yeri veya boşaltım ağızı belirlenir, daha sonra arazide yapılacak incelemelerle kontrol edilir. Genellikle drenaj alanının en fazla drenaj suyunu taşıyabilecek kapasiteye sahip düşük kotlu deniz, göl, nehir, dere gibi su birikintileri ile doğal çöküntü alanları veya yeraltı akiferleri boşaltım ağızı olarak seçilir.

3. Toprak etütleri: Drenajda toprak etütünün başlıca amacı, drenaj sorunu olan alanlardaki toprak çeşitlerini sistematik olarak sınıflandırmak, farklı sınıflardaki toprakların profil ve yüzey özelliklerini inceleyerek drenaj sorununun çözümü için gerekli önlemleri ortaya koymaktır.

Topraklar drenaj yönünden yapılan etütler sonucunda yüzey akış, geçirgenlik ve taban suyunun durumu göz önüne alınarak, 1. aşırı drenaj, 2. iyi drenaj, 3. orta drenaj, 4. yetersiz drenaj ve 5. fena drenaj şeklinde beş sınıfa ayrılır.

4. Geçirimsiz tabaka (bariyer) etütleri: Drenaj projelerinde dren derinlik ve aralığının saptanmasında kullanılan temel değerlerden birisi de bariyer derinliğidir. Bariyer, toprak suyunun düşey hareketini kısıtlayan çok az geçirgen veya geçirgen olmayan toprak tabakalarına denilmektedir.

5. Toprak geçirgenlik (permeabilite) etütleri: Drenaj çalışmalarında, fazla suyun topraktan uzaklaştırılması için gerekli olan drenaj sisteminin saptanmasında, bu sistemlerin boşaltım ağızı kapasitelerinin ve dren aralıklarının belirlenmesinde, kanal sızmalarının hesaplanmasında, tuzlu toprakların yıkama yoluyla yapılan ıslah çalışmalarında toprakların geçirgenlik değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Toprağın, geçirgen bir ortam olarak suyu ve havayı geçirme özelliğine, o toprağın permeabilitesi, hidrolik iletkenliği veya hidrolik kondaktivitesi denilmektedir. Diğer bir tanımla, belirli bir çaptaki veya kesit alanındaki ve belirli kalınlıktaki bir topraktan belirli bir zamanda geçen suyun miktarı o toprağın permeabilite değerini vermektedir.

Toprakların geçirgenlik katsayıları, doymuş ortamlarda bezelmemiş toprak örneklerinden laboratuvar veya arazi koşullarında tayin edilir. Taban suyu üzerindeki toprakların geçirgenlik değeri laboratuvar ve arazi koşulları için geliştirilen sabit ve değişken seviyeli permeametre aletleri ile taban suyu altındaki

toprakların geçirgenlik değerleri ise daha çok Burgu deliği (Auger-Höle), piyezometre, pompa) ve bırı yöntemleriyle belirlenmektedir.

6. Tabansuyu Etütleri: Mevcut veya oluşabilecek drenaj sorunlarının kapsamını, derecesini ve özelliklerini saptamak, taban suyu sorunu yaratan etkenleri ortaya çıkarmak için taban suyunun beslenmesine ve boşaltılmasına neden olan çeşitli etkenlerin incelenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla taban suyu etütleri yapılmaktadır. Araziye açılan piyezometre ve gözlem kuyuları ile taban suyu seviye değişimleri ölçülerek, elde edilen değerlerden taban suyu eş seviye ve derinlik haritaları, gözlem kuyu hidrografları, hidrolik yük farkı haritaları hazırlanmaktadır.

7. Sulama ve Yıkama Suyu Etütleri: Drenaj sorunun bulunduğu bölgedeki sulama uygulamaları, drenaj nedenini bulmak, plan ve projesini yapmak açısından son derece önemlidir. Sulama ile verilen suyun bir kısmı drenaj sorunu yaratacaktır. Aynı şekilde toprağın tuzdan arındırılması için verilecek olan yıkama suyunun da taban suyu düzeyini yükselterek drenaj sorunu yaratacağı beklenebilir. Bu nedenle bu suların devamlı olarak ölçülmesi ve analizlerinin yapılması gerekir.

8. Malzeme Etütleri: Önceden de belirtildiği gibi drenajda arazi kaybını azaltmak ve derindeki suları kök bölgesinden uzaklaştırmak için toprakaltı drenajı uygulanır. Bu uygulamada borular ve borular etrafına sarılan filtre malzemesi kullanılır. Kullanılan borular kil kökük, beton hüz ve plastik borulardır. Bunların kullanım olanakları ve dayanıklılıkları açısından test edilmeleri gerekir. Boruların üzerlerine gelen yüklerle dayanamaması ve kırılmaları halinde yapılan tüm sistem çalışmaz hale gelir.

8.5. DRENAJ YÖNTEMLERİ

Drenaj alanlarında oluşan fazla suların araziden uzaklaştırılması amacıyla iki yöntem uygulanmaktadır.

1. Yüzev drenaj yöntemleri
2. Toprakaltı drenaj yöntemleri

8.5.1. Yüzev Drenaj Yöntemleri

Yüzev drenajı, arazi yüzeyindeki eğimin düzeltilerek fazla suyun toprak yüzeyinden ve bir kısmının da üst toprak profili içerisinde uzaklaştırılmasıdır.

Yüzev drenaj yöntemleri toprak yüzeyindeki göllenmeleri ve toprağın uzun bir süre doymuş bir durumda kalmasını önlediği gibi, erozyona ve sediment birikimine neden olmadan fazla suları tahliye ağzına ulaştırır. Yüzev drenaj sistemlerinde bulunan hendeklerin bir kısmı fazla suları toplamak, bir kısmı da toplanmış olan bu fazla suları uzaklaştırmak için projelenirler. Suyun arazi

yüzeyinden boşaltılma hızı, toprak, iklim, arazi kullanma, toprak verimliliği ve topografik koşullarla birlikte sistemin teknik ve ekonomik uygunluğuna ve yetiştirilen bitkilerin çeşidine bağlıdır. Tarım alanlarında uygulanan yüzey drenaj yöntemlerinde açık yüzeyel ve açık derin drenaj kanalları kullanılır. Açık kanallardan oluşan yüzey drenaj yöntemlerine **yüzey drenaj sistemleri** denir.

Açık yüzeyel drenaj kanalları, toprak yüzeyinde sığ olarak açılan kanallardır. Daha çok sulama uygulamaları sırasında ortaya çıkan su kayıplarının sulama suyu artığının ve şiddetli yağışlar sonucunda oluşan fazla suların uzaklaştırılmasına hizmet ederler.

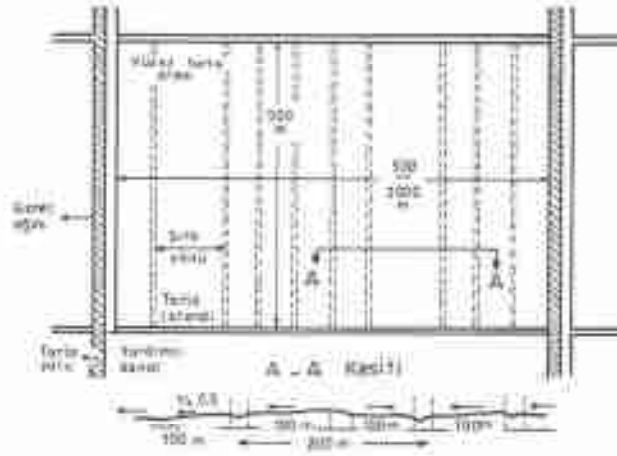
Açık derin drenaj kanalları, toprak suyu düzeyini kontrol etmek ve yağışlardan sonra oluşan yüzey sularını uzaklaştırmak amacıyla açılan ve toprakta drenajına da hizmet eden derin kanallardır. Tarım alanlarında tesis edilen yüzey drenaj sistemlerinde gerek yüzeyel gerekse derin drenaj kanalları **tersiyer**, **sekonder** ve **ana drenaj** kanalları şeklinde gruplandırılır. Tersiyer drenaj kanalları sulama kanallarına paralel açılır. Alandaki yüzey sularını ve taban suyunu toplayarak sekonder drenaj kanallarına iletir. Sekonder drenaj kanalı sekonder sulama kanalına paralel açılır ve tersiyer drenaj kanallarından gelen suları ana drenaj kanalına iletir. Ana drenaj kanalları, sekonder drenaj kanalları ile sulama alanından toplanan fazla suları bir akarıya, göle veya denize ileten büyük boyutlardaki kanallardır.

Yüzey drenaj sistemlerinin tipleri :

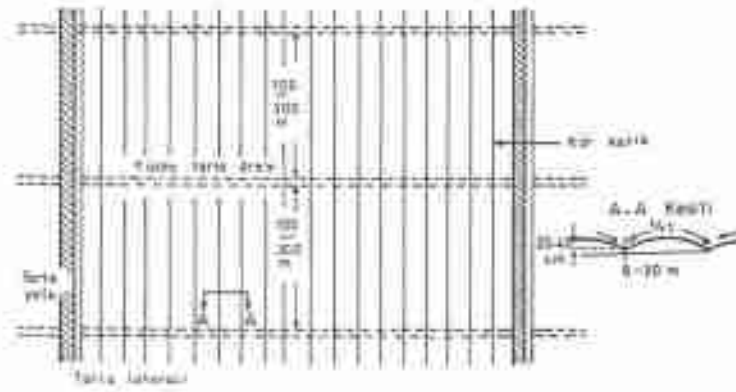
Yüzey drenaj sistemleri genellikle arazinin topografik yapısına toprak geçirgenliğine yetiştirilecek bitki çeşidine ve ekonomik olanaklara göre başlıca 6 tipte uygulanmaktadır.

1. Tesadüfi (Random) drenaj sistemi
2. Paralel tarla drenaj sistemi
3. Yastık sistemi
4. Paralel açık hendek sistemi
5. Eğime çapraz hendek sistemi
6. Önleyici sistem

1. Tesadüfi (random) drenaj sistemi : Tesadüfi drenaj sistemi, arazi düzeltilmesinin ekonomik olmayacağı büyük ve derin çöküntüler ile drenaj önlemlerinin alınmasına uygun olmayacak kadar küçük ve dağınık çöküntü alanlarının bulunduğu arazilerde, çiftçinin arazi tesviyesi için yatırım yapamayacağı koşullar için çukur alanlarda uygulanır. Bu tip drenaj arazide mevcut göllenmiş alanlar ve çöküntüleri dolandıktan sonra yüzey suyunu bir tarafa lateraline akıtır. Tesadüfi drenaj sistemi tarla eğiminin yeterli ve üniform olduğu koşullarda başarıyla kullanılabilir (Şekil 8.1).



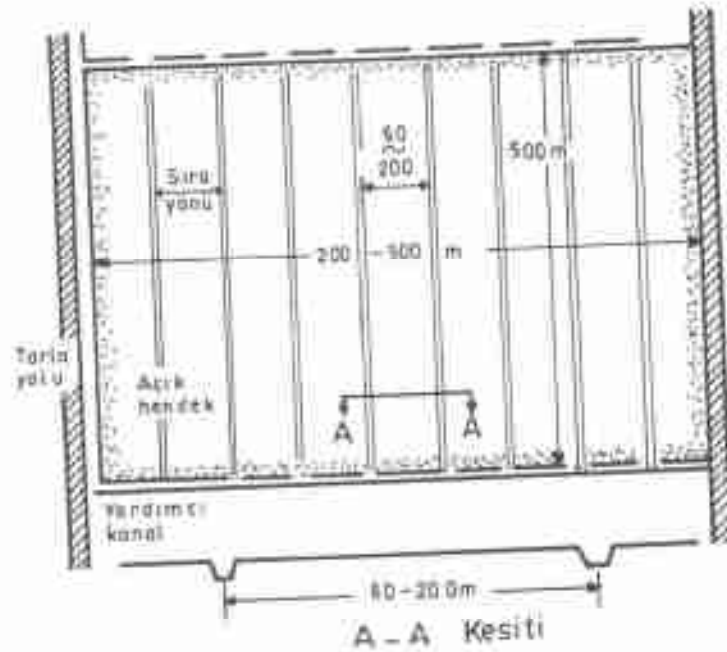
Şekil 8.2 Paralel tuzla drenajları sistemi



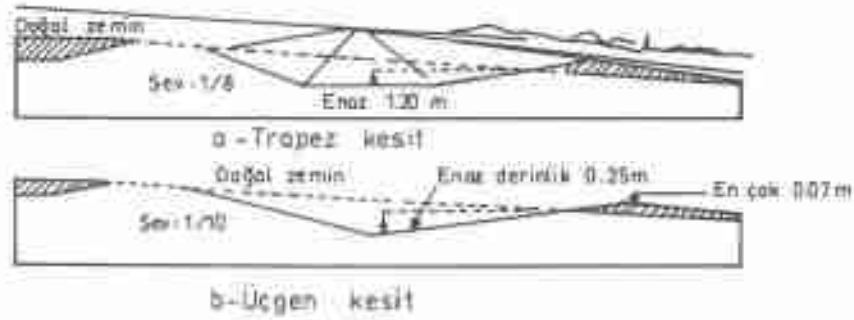
Şekil 8.3 Yastık sistemi

4. **Paralel açık hendek sistemi** : Paralel açık hendek sistemi hem yüzey drenajına hem de taban suyu düzeyini düşürmek amacıyla toprakaltı drenajına ihtiyaç gösteren alanlarda dren hendekler, biçiminde projelendirilir. Bu drenaj tipi daha çok taban suyunun yüksek olduğu fakat kapalı drenajın ekonomik olmadığı organik toprakların kurutulmasında, çok geçirgen topraklarda, orta geçirgen mineral topraklarda ve taban suyunun yüksek olduğu durumlarda uygulanır. Projelendirme olarak paralel tarla drenajına benzer (Şekil 8.4.)

5. **Eğime çapraz hendek sistemi** : Eğimi % 2-4 arasında olan arazilerin yüzey drenajında eğime çapraz hendek sistemi kullanılmaktadır. Bu sistem, daha çok eğimi uzun, fazla sayıda çöküntüleri olan ve alt toprağı geçirimsiz arazilere uygundur. Eğime çapraz hendek sistemi daha çok erozyonu kontrol altına almaya yöneliktir. Bu amaçla, yüzey akışını erozyon oluşturacak miktara ulaşmayacak düzeyde tutmak ve araziden uzaklaştırmak için terasa benzeyen hendekler tesis edilir (Şekil 8.5).



Şekil 8.4. Paralel açık hendek sistemi



Şekil 8.5 Eğime çapraz hendek sistemi

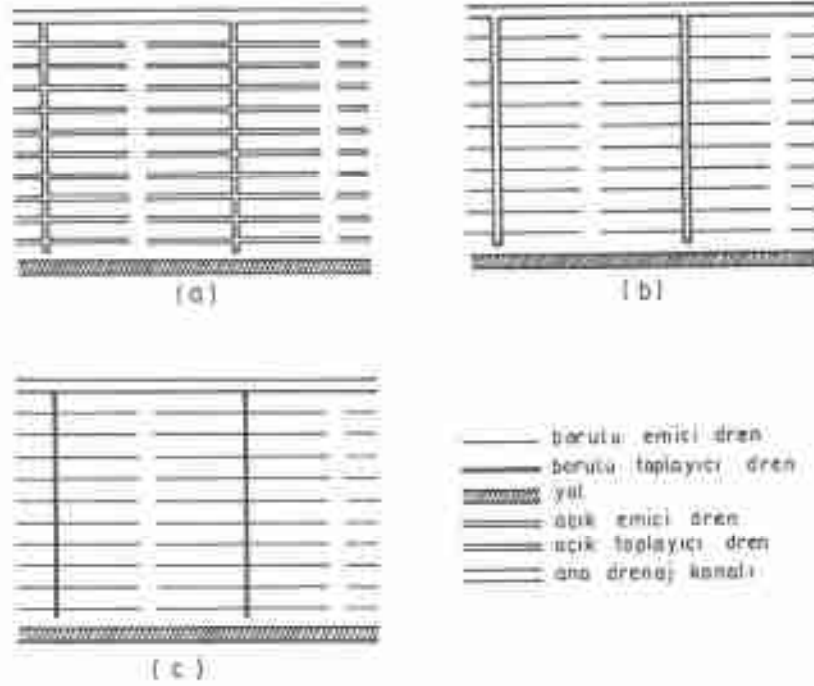
6. Önlüycü sistem : Yüzeysel akışları ve toprak içi sularını tarım arazilerine girmeden önleyen çevirme hendekleri biçimindeki drenaj sistemleridir. Çevirme hendekleri, ana eğime çapraz olarak bireysel projelenecek bir kanaldır. Çevirme hendekleri erzyonun azaltılması ile drenaj temini amacıyla veya her iki amaca birlikte hizmet etmek için tesis edilir. Çevirme hendekleri ayrıca alçak taban arazilere yamaçlardan gelen yüzeysel ve toprakaltı sularının kontrolünde de yararlıdır.

8.5.2. Toprakaltı Drenaj Yöntemleri

Toprakta bulunan fazla suların toprak profili içerisinde dren boruları veya dren kanalları aracılığıyla uzaklaştırılması **Toprakaltı Drenajı** olarak tanımlanmaktadır. Yüzeysel drenaj ile toprakaltı drenajı arasında kesin bir ayrım yapılması mümkün değildir. Sulama alanlarının çoğunda hem yüzeysel hem de toprakaltı drenajına birlikte ihtiyaç duyulmaktadır. Yağışlı bölgelerde toprakaltı drenajı amacıyla tesis edilen açık kanallar, yüzeysel akış sularını toplayacak şekilde, kurak bölgelerde ise sulamadan artı kalan fazla yüzeysel sularını toplayarak toprakaltı drenaj sistemini tamamlayacak şekilde planlanır.

Günümüzde sulama alanlarının drenajında hem borulu (kapalı) drenaj sistemleri hem de açık kanallardan oluşan sistemler birlikte kullanılmaktadır. Ancak tarla içi drenlerin borulu drenlerden, ana drenlerin de açık kanallardan oluşturulması eğilimi vardır. Toprakaltı drenaj sistemlerinde tarladaki suyu uzaklaştıran tarla içi drenleri "**emici**" tarla içi drenlerin suyunu toplayan drenler "**toplayıcı**" olarak adlandırılmaktadır. Sulama alanlarında emiciler, toplayıcılar ve ana drenler üç şekilde düzenlenmektedir. Bunlar;

1. Bileşik açık kanal sistemi: Emicilerin, toplayıcıların ve ana drenlerin açık kanallardan oluştuğu toprakaltı drenaj sistemidir (Şekil 8.6 a).



Şekil 8.6 Topraklı drenaj sistemlerinin düzenlenme şekilleri
 a) Bileşik açık kanalı sistemi b) Tekli borulu drenaj sistemi
 c) Bileşik borulu drenaj sistemi

2. Tekli borulu drenaj sistemi: Emici drenlerin borulu (kapalı) toplayıcı drenlerin ve ana drenlerin açık kanal biçiminde planlandığı drenaj sistemidir (Şekil 8.6 b).

3. Bileşik borulu drenaj sistemi: Emici ve toplayıcı drenlerin borulu (kapalı), ana drenlerin açık kanallardan oluştuğu drenaj sistemidir (Şekil 8.6 c).

Kapalı (borulu) drenaj sistemleri :

Toprakaltına döşenen borulu drenlerin oluşturduğu sistemlere kapalı veya borulu drenaj sistemleri denir. Bu sistemlerin projeleneğinde göz önüne alınan başlıca konular, drenaj katsayısı, dren derinliği, dren aralığı ve dren çaplarının belirlenmesidir. **Drenaj katsayısı**, birim zamanda birim alandan drenaj sistemi ile atılacak su miktarı olarak tanımlanır. Genellikle, m^3/da , $mm/gün$, $cm/gün$ veya $l/s/ha$ birimleriyle ifade edilmektedir. Drenaj katsayıları hem açık kanal kapasitelerinin ve boyutlarının hesaplanmasında hem de kapalı (borulu) drenajda dren aralıkları ile dren boru çaplarının hesaplanmasında gereklidir. Sulama alanlarında drenaj katsayısı arazide kurulu drenlerin çıkış ağzından doğrudan akım

ölçmeleri ile hesaplanabildiği gibi yıkama suyu ihtiyacından yada bitki su tüketiminden yararlanarak da hesaplanabilir.

Dren derinliği, toprak yüzeyinden dren borularının bulunduğu noktaya kadar olan düşey mesafeyi ifade etmektedir. Dren derinliğinin belirlenmesi bazı faktörler göz önüne alınarak yapılır. Bu faktörlerin başlıcaları, bitki çeşidi, toprak özellikleri, boşaltım durumu, taban suyu düzeyi, don derinliği, makinaların çalışma derinliği, tuzluluk ve drenler üzerine gelmesi beklenen yük miktarlarıdır.

Dren aralıklarının belirlenmesinde kullanılan yöntemler akış koşullarına göre geliştirilmiştir. Toprak içerisindeki suyun statik bir dengede bulunduğu kararlı akış koşulları için daha çok Donnan, Houghoudt, Ernst ve Kirkham tarafından geliştirilen eşitlik ve abaklar kullanılmaktadır. Bu eşitliklerde drenaj katsayısı, taban suyu düzeyleri, geçirimsiz tabaka derinliği, toprakların geçirgenlik (permeabilite) katsayıları ve boru çapları esas alınmaktadır. Taban suyu seviyesinin aniden yükseldiği boğalının daha yavaş olduğu kararlı akış koşulları için Glover-Dumm, Hammad, Luthin, Krajenhoff gibi birçok araştırmacı tarafından geliştirilen eşitlikler kullanılmaktadır. Eşitliklerde, beslenme öncesi ve sonrası taban suyu düzeyleri, toprakların etkili gözenekliliği, geçirimsiz tabaka derinliği ve boru çapları esas alınmaktadır.

Dren boru çaplarının belirlenmesinde hidrolik eğim, dren borusunun yüzey şekli (düz veya kıvrımlı çepoerli) boru iç yüzeylerinin sürtünme katsayıları, drene edilecek alan ve siltasyon gibi faktörler göz önüne alınmaktadır.

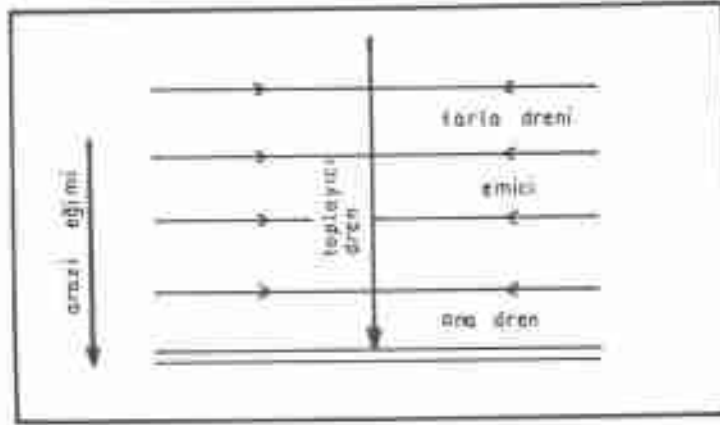
Kapak (borulu) drenaj sistemlerinin tipleri :

Borulu drenaj sistemleri karşılaşılan topografya, taban suyunun akış yönü ve yıl içerisindeki değişim koşullarına göre farklı tiplerde uygulanır. Bunlardan başlıcaları; 1. Paralel sistem, 2. Kaburgalı sistem, 3. Çift toplayıcı sistem, 4. Tesadüfi sistem ve 5. Grup sistemidir.

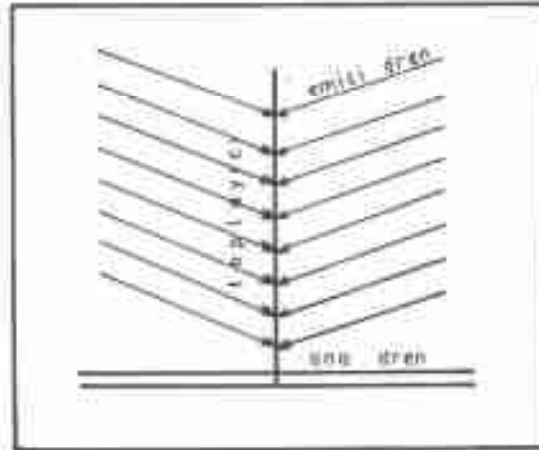
1. Paralel sistem : Bu sistem şekli düzgün topografyası düz ve düze yakın ve toprağı homojen yapıdaki arazilerde uygulanmaktadır. Sistemde birçok emici dren borusu toplayıcı borulara bir taraftan veya iki taraftan dik olarak bağlandığı için boşaltım noktalarının sayısı azaltılmaktadır (Şekil 8.7).

2. Kaburgalı sistem : Toplayıcı dren borusunun dar bir doğal çöküntü hattını izlediği alanlarda bu sistem uygulanmaktadır. Emici borular toplayıcı dren borularının bir veya iki yanında dar açı ile bağlanırlar (Şekil 8.8).

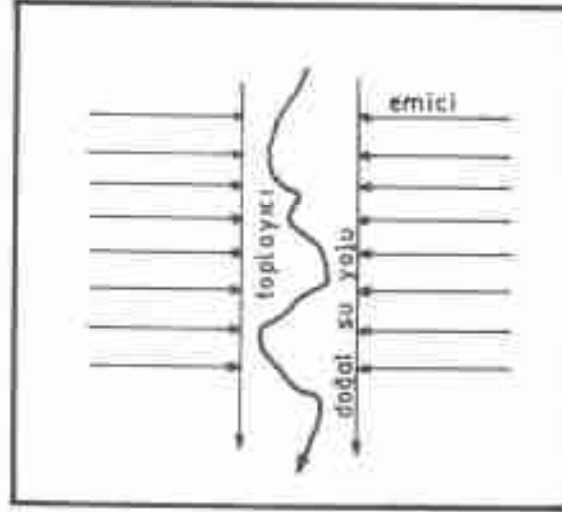
3. Çift toplayıcı sistem : Bu sistem toplayıcı boru hattı güzergahının geniş ve genellikle doğal bir su yolu çöküntüsü ile ikiye bölündüğü alanlarda uygulanır. Toplayıcılara aynı zamanda emici borularda bağlanmaktadır (Şekil 8.9).



Şekil 8.7 Paralel sistem



Şekil 8.8 Kaburgalı sistem



Şekil 8.9 Çifti toplayıcı sistem

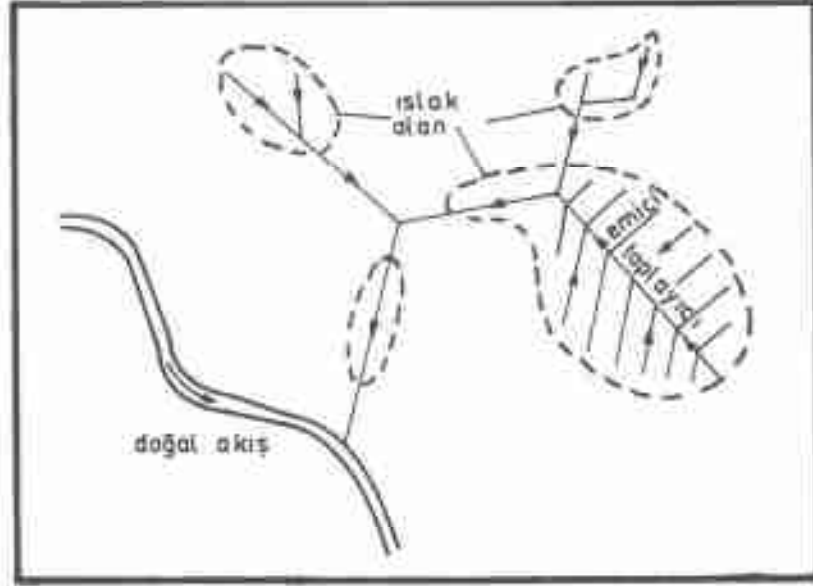
4. Tesadüfî sistem : Topografyanın dalgalı ve engebeli olduğu durumlarda ve ayrı ayrı dağılmış ıslak kesimlerin bulunduğu arazilerde uygulanır. Boru hatları bu ıslak alanları drene edecek biçimde doğal ve rast gele yerleştirilir (Şekil 8.10).

5. Grup sistemi : Bu sistem, bundan önce açıklanan sistemlerin bir grup halindeki uygulamasıdır. Drene edilecek alanda farklı nem koşullarının bulunmasını her kesim için ayrı bir sistemin yerleştirilmesini gerektirebilir (Şekil 8.11).

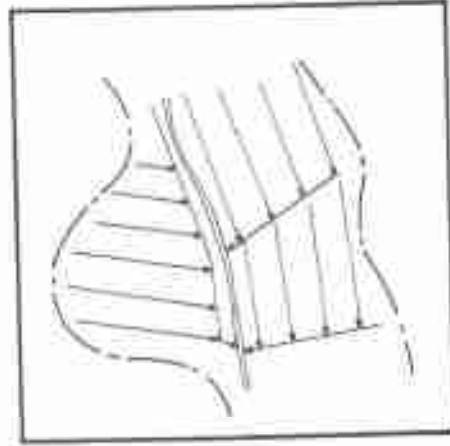
Mol drenajı :

Ağır bünyeli mineral ve organik topraklarda, özel olarak yapılmış bir bıçağın alt ucuna bağlanmış ucu sivri çelik bir silindirin (köstebek) toprak içerisinde çekilmesi ile oluşturulan daire veya oval kesitli tünelcilere "köstebek drenleri" bu şekildeki toprakaltı borusuz drenaj yöntemine de "**Mol Drenaj**" denilmektedir. Bu sistem ilk önce İngiltere'de uygulanmaya başlanmış daha sonra birçok Avrupa ülkesinde yaygın olarak kullanılmıştır.

Genellikle derinliği az olan drenler, mol pulluğu olarak adlandırılan ekipmanların traktörle çekilmesi suretiyle basit bir şekilde oluşturulduğu için maliyet düşüklüğü nedeniyle oldukça ekonomik bir drenaj sistemidir. Mol drenajı daha çok ön drenajı sağlamak için borulu drenaj sisteminin yapılacağı alanlarda veya mevcut borulu drenajın etkinliğini arttırmada kullanılır. Uygun koşullar altında 10-15 yıl kadar yararlı kullanım süresine sahip olmakla birlikte genellikle etkin olarak 3-5 yıl çalışabilir. Bu nedenle geçici bir dren sistemidir.



Şekil 8.10 Teseadüfî sistem



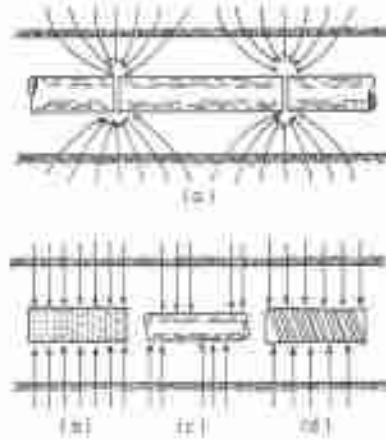
Şekil 8.11 Grup sistemi

Borulu drenajda kullanılan malzemeler ve drenaj makinaları :

Borulu drenajda kullanılan malzemeler; 1. Drenaj boruları, 2. Kaplama malzemeleri olmak üzere iki gruba ayrılır.

1. Drenaj boruları: Açılmış hendek tabanına yerleştirilen dren boruları teknolojik gelişim içerisinde stabilitesi, taşınma kolaylığı, drenaj makinaları ile hendeklere kolayca yerleştirilmeleri ve ekonomik olma koşullarına göre çeşitli malzemelerden farklı biçimlerde üretilmektedir. Kullanım amaçlarına göre farklı malzemelerden üretilen başlıca dren boruları 1. Kil künkler, 2. Beton büzler, 3. Madensel borular ve 4. Plastik borular'dır. Bu borular içerisinde son yıllarda en çok kullanılan PVC (Polivinilklorid) ve PE (Polietilen) plastik borulardır. Şekil 8.12'de toprak altına döşenen çeşitli dren borularına drenaj suyunun girişi gösterilmektedir.

2. Kaplama malzemeleri: Drenlerin döşeneceği sağlam bir zemin oluşturmak, dren çevresinde akışın hidrolik koşullarını düzenlemek ve boru içerisinde siltasyona engel olmak için dren çevresine yerleştirilen malzemelere **kaplama malzemeleri** denir. Dren boruları çevresinde sağlam bir zemin oluşturma işlevi dışında kullanılan malzemeler ise "**filtre**" veya "**zarf**" malzemesi olarak adlandırılmaktadır. Saman, kızar talaşı, mısır koçanı, torf gibi organik malzemeler, kum-çakıl karışım gibi organik olmayan malzemeler ve cam pumuğu, cam yaygın, stromul gibi yapay malzemeler kaplama veya filtre malzemesi olarak borulu drenajda kullanılmaktadır.



Şekil 8.12. Dren borularına drenaj suyunun girişi
(a. Kil künk b. Halkalı plastik boru
c. Düz plastik boru d. Sarmal plastik boru)

Borulu drenajda kullanılan **makinaların** hendek açma sistemlerine, yürüme düzenlerine ve çalışma şekillerine göre birçok çeşitleri üretilmektedir. Borulu drenaj çalışmalarında kesintili kazı yapan (**ekskavatör**) makineler kullanıldığı gibi sürekli kazı yapan yani dren hendeğini açan, dren borusunu döşeyen ve kaplama malzemesini boru üzerine seren ve **Trencher** olarak adlandırılan makinelerde kullanılmaktadır. Son yıllarda büyük bir biçimde çekilmesi ile toprakta oluşturulan oldukça dar açıklığa dren borusunu yerleştiren ve kaplama malzemesini seren hendeksiz drenaj makinesi veya **Trenchless** olarak adlandırılan oldukça gelişmiş makinelerde drenajda kullanılmaya başlamıştır.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- ACHNICH, W., 1980. Bewaesserungslandbau. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- AKALAN, L., 1983. Toprak Bilgisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 878, Ankara.
- ALJIBURY, F. K., 1981. Water and energy conservation in drip irrigation. *Drip/Trickle Irrigation*, 18;26-28.
- ALTINORAK, Y.; YILDIRIM, O., 1991. Uygun sulama yönteminin seçimine ekonomik faktörlerin etkisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yılığ: 1988, 39(1-2); 81-88.
- ANONYMOUS, 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. U.S. Department of Agriculture No 60, USA.
- ANONYMOUS, 1960. *Drainage*. USDA-SCS National Engineering Handbook 16, Chapter 1-12, USA.
- ANONYMOUS, 1973. *Drainage Machinery, Irrigation and Drainage Paper 15*, FAO, Rome.
- ANONYMOUS, 1976. *Water Quality and Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29*, FAO, Rome.
- AYYILDIZ, M., 1964. Sulama metodunun seçiminde kriterler. *TOPRAKSU Teknik Dergisi*, 19;38-45, Ankara.
- AYYILDIZ, M., 1975. Damla sulama yöntemi ile sulama suyu kalitesi arasındaki ilişkiler üzerinde bir inceleme. *TOPRAKSU Teknik Dergisi*, 40-41, Ankara.
- AYYILDIZ, M., 1990. Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk Problemleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 1196, Ankara.
- BALABAN, A., 1986. Su Kaynaklarının Planlanması. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 972, Ankara.
- BALABAN, A.; TEKİNEL, O.; KORUKÇU, A., 1970. Yağmurlama sulama metodunun teknik ve ekonomik elverişliliği üzerinde bir araştırma. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yılığ: 1970, 20(1); 113-131.

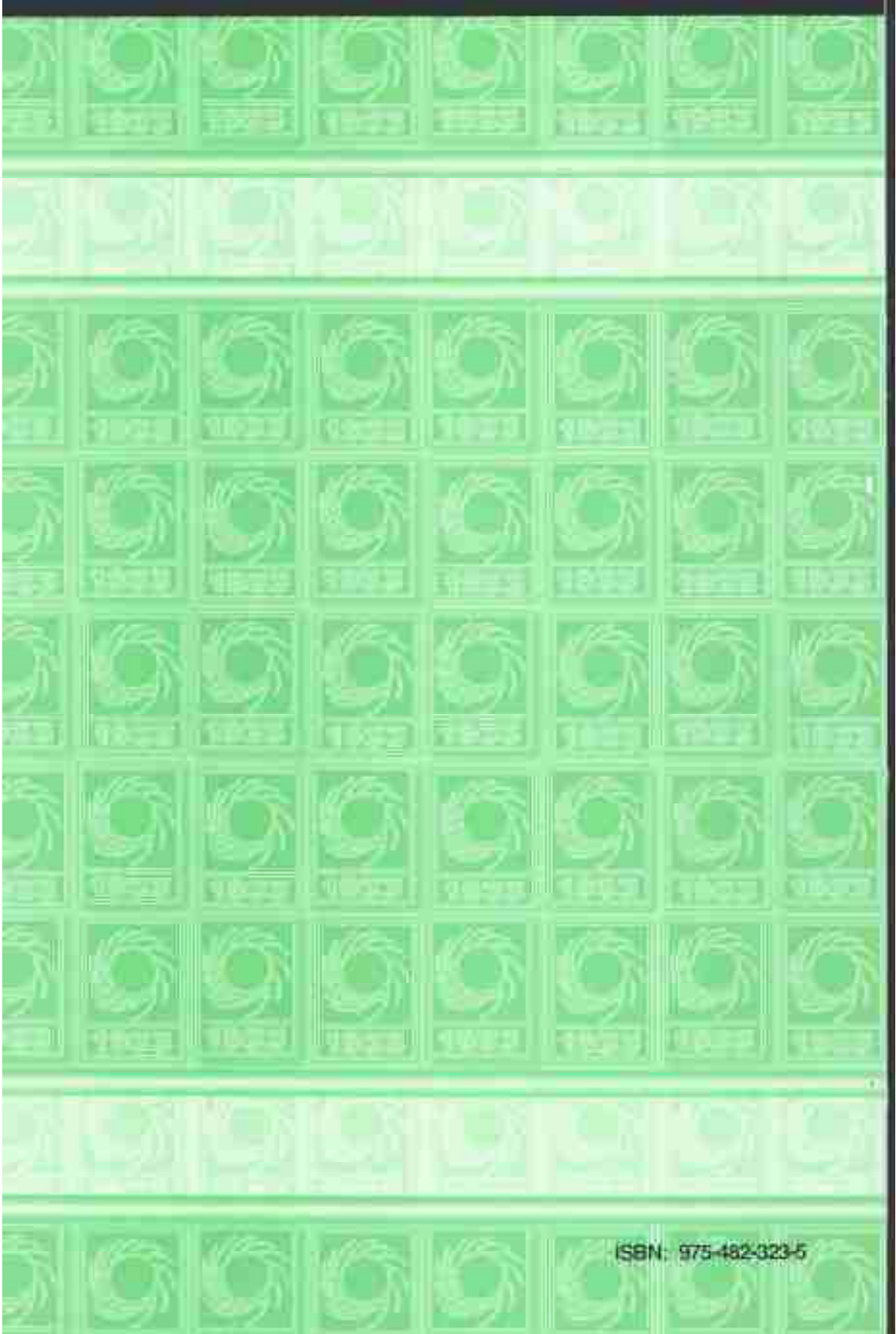
- BENAMI, A.; DISKIN, H.M., 1965. Design of Sprinkler Irrigation. Technion, Israel Institute of Technology, No 23, Haifa, Israel.
- BERNSTEIN, L., 1965. Salt Tolerance of Plants. USDA Agricultural Information Bulletin 283, USA.
- BERNSTEIN, L., FRANCOIS, L.E., 1973. Comparison of drip, furrow and sprinkler irrigation. Soil Science, 115:73-86.
- BOOHER, L.J., 1974. Surface Irrigation. FAO, Rome.
- BREDETI, G.S.; BARNARD, C. J., 1975. Micro irrigation of subtropical fruit crops. The Citrus and Subtropical Fruit Journal 1975, 5-10.
- BRADFORD, K. J.; YANG, S.F., 1981. Physiological responses of plants to waterlogging. Hort-Science, 16:25-30.
- CAMPBELL, G.S.; CAMPBELL, M.D., 1982. Irrigation scheduling using soil moisture measurements. Hillol, D. (ed.) Advances in Irrigation Vol. 1, 25-42. Academic Press, New York.
- CAVELAARS, J.C., 1974. Subsurface field drainage systems. Drainage Principles and Applications, ILRI, 16(IV): 1-65.
- CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H.; SHOCKLEY, D.G., 1956. Methods for evaluation of irrigation systems. USDA, Agricultural Handbook 82, Washington D.C.
- DAVIDSON, J.M.; STONE, L.R.; NIELSEN, D.R.; LaRUE, M. E., 1969. Field measurement and use of soil water properties. Water Resour. Res., 5:1312-1321.
- DOORENBOS, J.; PRUTT, W. O., 1977. Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Rome.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H., 1979. Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33, Rome.
- EGGELSMANN, R., 1981. Draenanleitung. Verlag Paul Parey, Hamburg.
- ELLIOT, R. L.; WALKER, W.R., 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance function. Trans. ASAE, 25:396-400.
- ERIE, L.J.; DEDRICK, A.R., 1979. Level basin irrigation: A method for conserving water and labour. U.S. Dep. Agric. Sci. Educ. Adm., Farmers Bull. 2261, Washington, D.C.
- ERÖZEL, A.Z.; ÇAKMAK, B., 1993. Drenaj suyunun sulamada kullanılması. TOPRAKSU Dergisi, 1993/2, Ankara.

- FERERES, E.; PUECH, L., 1981. Irrigation management program. Irrigation Scheduling Guide. University of California, Department of Water Resources, Sacramento, CA.
- FINKEL, H.J. (ed.), 1982. Handbook of Irrigation Technology, Vol. I-II, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
- GARDNER, W.R., 1964. Relation of root distribution to water uptake and availability. *Agron. Jour.*, 56:35-41.
- GEMALMAZ, E., 1983. Tarımsal Drenaj ve Arazi Kurutma Tekniği. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Kültürteknik Bölümü, Erzurum.
- GOLDBERG, D.; GORNAT, B.; RIMON, D., 1976. Drip Irrigation. Drip Irrigation Scientific Publications, Israel.
- GOLDHAMMER, D.A.; SNYDER, R.S. (ed.), 1989. Irrigation Scheduling. University of California, Berkeley., Leaflet 21454.
- GÜNGÖR, Y.; ERÖZEL, A.Z., 1994. Drenaj ve Arazi Islahı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 1341, Ankara.
- GÜNGÖR, Y.; YILDIRIM, Ö., 1989. Tarla Sulama Sistemleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 1155, Ankara.
- HAISE, H. R.; DONNAN, W.W., 1956. The use of cylinder infiltrometers to determine the intake characteristics of irrigated soils. *USDA ARS*, 41 (7).
- HANKS, R.J.; ASHCROFT, G.L., 1980. Applied Soil Physics. Springer Verlag, Berlin.
- HILER, E.A.; HOWELL, T.A., 1983. Irrigation option to avoid critical stress: An overview. Taylor, H.M. ve ark. (ed.) Limitations to Efficient Water Use in Crop Production, 479-498. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
- HILLEL, D., 1980. Applications of Soil Physics. Academic Press, New York.
- HOLMES, J.W.; TAYLOR, S.A.; RICHARDS, S.J., 1967. Measurements of soil water. Hagan, R.M. ve ark. (ed.) Irrigation of Agricultural Lands, Agronomy, 11,275-303.
- HSIAO, T.C.; AVECEDO, E., 1974. Plant responses to water deficits, water use efficiency, and drought resistance. *Agricultural Meteorology*, 14:59-84.
- ISRAELSEN, O.W.; HANSEN, W.E., 1962. Irrigation Principles and Practices. Utah State University, Logan, Utah.
- JENSEN, M.E., 1973. Consumptive Use of Water and Irrigation Water Requirements. ASAE, New York, N.Y. 10017.

- JENSEN, M.E. (ed.), 1983. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. ASAE, St. Joseph, Michigan 49085.
- KACAR, B., 1977. Bitki Besleme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 637, Ankara.
- KANBER, R., 1999. Sulama. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 174, Adana.
- KAWASE, M., 1981. Anatomical and morphological adaptation of plants to waterlogging. Hort-Science, 16,30-34.
- KESSLER, J., 1973. Field drainage criteria. Drainage Principles and Applications. ILRL, 16(II);132-164.
- KIRDA, C.; TEKİNEL, O., 1981. Tansiyometreler ve sulama uygulamalarında kullanılabilirlik olmaları. DSI Teknik Bülteni, 48, Ankara.
- KIZILKAYA, T., 1988. Sulama ve Drenaj. DSI Gn. Md. Yayınları, Ankara.
- KLEIN, L., 1983. Drip irrigation based on soil matric potential conserves water in peach and grape. Hort-Science, 18,942-944.
- KORUKÇU, A., 1975. Damla Sulaması ve Projelenmesi. TOPRAKSU Damla Sulaması I. Teknik Toplantısı, Ankara.
- KORUKÇU, A.; YILDIRIM, O., 1981. Yağmurlama Sistemlerinin Projelenmesi. TOPRAKSU Gn. Md. Yayınları, Ankara.
- KORUKÇU, A.; YILDIRIM, O., 1983. Yağmurlama sulamasında su dağılımı ile sulama randımanı arasındaki ilişkilerin saptanması üzerinde bir araştırma. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 1(2); 65-76, Bursa.
- KOVACH, S. P., 1984. Injection of fertilizers into drip irrigation systems for vegetables. Florida Coop. Ext. Serv., Circ. 606, USA.
- KOZLOWSKI, T. T. (ed.), 1981. Water Deficits and Plant Growth. Vol. VI, Academic Press, New York.
- MAAS, E.V.; HOFFMAN, F.G., 1977. Crop salt tolerance-current assessment. J. Irrig. Drain. Div., ASCE, 103(1R2); 115-134.
- MacGILLIVRAY, N.A.; GONZALES, J.D., 1985. Irrigation scheduling from evaporation data-method development and field performance. Proceedings, 3 rd International Drip/Trickle Irrigation Congress, Fresno, CA, 18-21 November 1985, ASAE Publications, Vol. II, 10-85, ASAE, St. Joseph, MI.
- MARSH, A.W., 1968. Automatic tensiometer signalled irrigation systems for orchards. Calif - Citrograph, 54,2,12.

- MERRIAM, L. J.; KELLER, J., 1978. Farm irrigation system evaluation: A guide for management. Agric. Irrig. Eng. Dept. Utah State Univ., Logan, Utah.
- NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D.A. (ed.), 1986. Trickle irrigation for crop production. Design, operation, and management., Development in Agricultural Engineering, No. 9, Elsevier, New York.
- PAPAZAFIRIOU, Z.G., 1980. A compact procedure for trickle irrigation system design. ICID Bulletin, 29(1),28-45.
- SCHMUGGE, T.J.; JACKSON, T.J.; McKIM, H.L., 1980. Survey of methods for soil moisture determination. Water Resour. Res., 16:961-979.
- SHALHEVET, J.; MANTEL, A.; BIELORAI, H.; SHIMSHI, D., 1981. Irrigation of field and orchard crops under semi-arid conditions. Int. Irrig. Inf. Cent. Bet Dagan Publ. 1, Israel.
- SINCLAIR, T.R.; TANNER, C.B.; BENNET, J.M., 1984. Water-use efficiency in crop production. BioScience, 34:36-40.
- SMITH, M., 1981. Manual and Guidelines for CROPWAT, 1991. FAO Irrigation and Drainage Paper 46, Rome.
- SOMEREN, C.L.V., 1972. Drainage Materials. FAO Irrigation and Drainage Paper 9, Rome.
- SÖNMEZ, B., 1990. Tuzlu ve Sodyumlu Topraklar. Köy Hizmetleri Gn. Md., Şanlıurfa Araştırma Enstitüsü Md. yayınları 62, Şanlıurfa.
- STEWART, B.E.; NIELSEN, D.R. (ed.), 1990. Irrigation of Agricultural Crops. American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin.
- TEKİNEL, O., 1973. Tarımda Uygun Sulama Metodunun Seçimi. Ankara Üniversitesi Adana Ziraat Fakültesi Yayınları 61, Ankara.
- TEKİNEL, O., 1977. Drenaj Mühendisliği. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Kültürteknik Bölümü, Adana.
- TEKİNEL, O.; BALABAN, A., 1970. Meyve Bahçelerinin Sulama Suyu İhtiyacı ve Sulanması Üzerinde Bir İnceleme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 433, Ankara.
- Van Der MOLEN, W.H., 1973. Salt balance and leaching requirements. Drainage Principles and Applications. ILRI, 16(II): 60-100.
- Van HOORN, J.W., 1982. Salinity Control. Department of Land Drainage and Land Improvement, Agric. Univ., Wageningen.
- VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A., 1983. Localized Irrigation. FAO Irrigation and Drainage Paper 36, Rome.

- WRIGHT, J.L., 1982. New evapotranspiration crop coefficients. J. Irrig. Drain. Div., ASCE, 108;57-74.
- YILDIRIM, O., 1986. Sulama teknolojisi sorunları. Kültürteknikçe Giriş, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 996; 77-93, Ankara.
- YILDIRIM, O., 1993. Bahçe Bitkileri Sulama Tekniği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 1281, Ankara.
- YILDIRIM, O.; MADANOĞLU, K., 1985. A sınıfı buharlaşma kaplarının bitki su tüketiminin tahmininde kullanılması. Köy Hizmetleri Araştırma Ana Projesi 433, 5.1.3 Numaralı Ek Talimat, Ankara.
- YURTMAN, S.; YILDIRIM, O., 1991. Karık, damla ve sızdırma sulama yöntemlerinin topraktaki tuz dağılımına etkisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yıllığı 1988, 39(1-2);47-57.



ISBN: 975-482-323-5