

Ankara Üniversitesi  
ZİRAAT FAKÜLTESİ

Yayın No: 1565  
Ders Kitabı: 518

# **SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI**

*(GENİŞLETİLMİŞ ÜÇÜNCÜ BASKI)*

*Prof. Dr. Osman YILDIRIM*

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi  
Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

ANKARA

2008

Ankara Üniversitesi  
ZİRAAT FAKÜLTESİ

Yayın No: 1565  
Ders Kitabı: 518

# **SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI**

*(GENİŞLETİLMİŞ 3. BASKI)*

**Prof.Dr. Osman YILDIRIM**

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi  
Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

ANKARA  
2008

**ISBN: 978-975-482-784-2**

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ BASIMEVİ**  
İncebaşı Sokak No:10  
06530 Beşevler / ANKARA  
Tel: 0 (312) 311 66 55  
Baskın Tarihi: 31/12/2008

*Eşim Nurten ve  
Oğlum Ozan'a  
Sevgilerimle,*

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖNSÖZ</b>	ix
<b>3. BASKI İÇİN ÖNSÖZ</b>	xi
<b>1. GİRİŞ</b>	1
1.1. SULAMANIN TANIMI VE ÖNEMİ	2
1.2. SULAMANIN YARARLARI	3
1.3. SULAMANIN TARİHÇESİ	4
1.4. TÜRKİYE'DE SULAMA	5
1.5. SULAMA YÖNTEMİ, SULAMA SİSTEMİ VE SULAMA PROJESİ	6
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b>	9
2.1. PLANLAMA HARİTASI	9
2.2. TARİMSAL YAPI VE MÜLKİYET	10
2.3. TOPRAK ÖZELLİKLERİ	10
2.4. BİTKİ ÖZELLİKLERİ	11
2.5. SU KAYNAĞI ÖZELLİKLERİ	13
2.6. İKLİM BİLGİLERİ	13
2.7. DİĞER BİLGİLER	14
<b>3. YAĞMURLAMA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI</b>	15
3.1. YAĞMURLAMA SULAMA YÖNTEMİ	15
3.2. YAĞMURLAMA SULAMA YÖNTEMİNİN ÜSTÜNLÜKLERİ	15
3.3. YAĞMURLAMA SULAMA YÖNTEMİNİN UYGULANMASINI KISITLAYAN ETMENLER	16
3.4. YAĞMURLAMA SULAMA YÖNTEMİNİN UYGULANABİLECEĞİ KOŞULLAR	17
3.5. YAĞMURLAMA SULAMA SİSTEMİNİN UNSURLARI	18
3.5.1. Pompa Birimi	18
3.5.2. Ana Boru Hattı	19
3.5.3. Lateral Boru Hatları	19
3.5.4. Yağmurlama Başlıkları	19
3.6. YAĞMURLAMA SİSTEMLERİNİN TIPLERİ	23
3.6.1. Hizmet Göstürülen Alana Göre Sistemler	23
3.6.2. Tesis ve İşletme Durumuna Göre Sistemler	24
3.6.3. Suyun Bitkiye Veriliş Biçimine Göre Sistemler	31
3.7. YAĞMURLAMA SİSTEMLERİNDE SU DAĞILIMI	31

	<u>Sayfa</u>
3.8. BİREYSEL YAĞMURLAMA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI	34
3.8.1. Sistemin Tertiplenmesi	34
3.8.2. Ön Projelene Faktörleri	35
3.8.3. Uygun Yağmurlama Başlığının Seçilmesi ve Sistem Tertibi	38
3.8.4. Lateral Boru Çapı	50
3.8.5. Ana Boru Çapı ve Pompa Birimi	64
3.8.6. Dalli Ana Boru Hatlarında Boru Çapı ve Pompa Birimi	84
3.8.7. Sistem Basıncının Yerçekimi ile Sağlanması Koşulunda Ana Boru Çapı	96
3.9. TOPLU YAĞMURLAMA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI	102
3.9.1. Toplu Yağmurlama Sulama Sistemlerinin İşletilmesi Yöntemleri	102
3.9.2. Sulama Hidrantları ve Almaçlar	104
3.9.3. Hidrant Yerlerinin Seçilmesi ve Su Dağıtım Ağının Oluşturulması	107
3.9.4. Toplu Yağmurlama Sulama sistemi Örnek Tasarım	107
3.10. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ	128
<b>4. DAMLA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI</b>	<b>132</b>
4.1. DAMLA SULAMA YÖNTEMİ	132
4.2. DAMLA SULAMA YÖNTEMİNİN ÜSTÜNLÜKLERİ	132
4.3. DAMLA SULAMA YÖNTEMİNİN UYGULANMASINI KISITLAYAN ETMENLER VE ÇÖZÜM YOLLARI	134
4.4. DAMLA SULAMA YÖNTEMİNİN UYGULANACAĞI KOŞULLAR	135
4.5. DAMLA SULAMA SİSTEMLERİ	136
4.5.1. Damlatıcılar	136
4.5.2. Lateral Boru Hatları	140
4.5.3. Manifold Boru hatları	140
4.5.4. Ana Boru hattı	141
4.5.5. Kontrol Birimi	141
4.5.6. Pompa Birimi	149
4.5.7. Su Kaynağı	149
4.6. DAMLA SULAMADA ISLATMA DESENLERİ VE LATERAL TERTİP BİÇİMLERİ	150
4.6.1. Tekil Damlatıcı Altında Toprakta Nem Dağılımı	150
4.6.2. Damlatıcı Aralığı	151
4.6.3. Lateral Tertip Biçimleri ve Islatılan Alan Oranı	153

	<u>Sayfa</u>
4.7. DAMLA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI	161
4.7.1. Ön Projelene Faktörleri	161
4.7.2. Sistem Tertibi	167
4.7.3. Uygun Damlatıcının Seçilmesi	167
4.7.4. Lateral ve Manifold Boru Çapının Saptanması	178
4.7.5. Ana Boru Çapının Saptanması	201
4.7.6. Kontrol Birimi Unsurlarının Seçilmesi	201
4.7.7. Pompa Biriminin Seçilmesi	208
4.8. DAMLA SULAMA SİSTEM TASARIMINA ÖRNEK	208
4.9. TOPLU DAMLA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI	224
4.10. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ	224
<b>5. AĞAÇ ALTI MİKRO YAĞMURLAMA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI</b>	<b>231</b>
5.1. AĞAÇ ALTI MİKRO YAĞMURLAMA SULAMA YÖNTEMİ	231
5.2. KÜÇÜK YAĞMURLAMA BAŞLIKLARI	231
5.3. AĞAÇ ALTI MİKRO YAĞMURLAMA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI	233
5.3.1. Uygun Yağmurlama Başlığının Seçilmesi	235
5.4. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ	240
<b>6. ARAZİNİN SULAMAYA HAZIRLANMASI</b>	<b>243</b>
6.1. TARLA PARSELLERİNİN DÜZENLENMESİ	243
6.2. SULAMA VE DRENAJ SİSTEMLERİNİN PLANLANMASI	244
6.3. ARAZİ TESVİYESİ	245
6.3.1. Arazi Tesviyesinin Yararları	246
6.3.2. Arazi Tesviyesinin Uygulanmasını Kısıtlayan Emenler	246
6.3.3. Arazi Tesviyesi Tipleri	247
6.3.4. Tesviye Projelene Yöntemleri	249
6.3.5. Tesviye Öncesi Hazırlık ve Ölçme İşleri	250
6.3.6. En Küçük Kareler Tesviye Projelene Yöntemi	252
6.3.7. En Küçük Kareler Tesviye Projelene Yönteminin Düzgün Olmayan Şekilli Arazide Uygulanması	265
6.3.8. Simetrik Artıkdar Tesviye Projelene Yöntemi	266
6.3.9. Arazi Tesviye Projelerinde Doğrusal Programlama Tekniği	270
6.3.10. Arazinin Tesviye Edilmesi	277
6.3.11. Tesviyenin Yıllık Bakımı	279
6.4. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ	279

	Sayfa
<b>7. YÜZEY SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI</b>	281
7.1. TOPRAĞIN SU ALMA ÖZELLİKLERİ	281
7.1.1. Net İnfiltrasyon Süresi	283
7.2. SALMA SULAMA YÖNTEMİ	284
7.3. SALMA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI	286
7.4. TAVA SULAMA YÖNTEMİ	286
7.4.1. Tava Sulama Yönteminin Uygulanacağı Koşullar	288
7.4.2. Tava Sulama Yönteminin Üstünlükleri ve Uygulanmasını Kısıtlayan Etmenler	289
7.5. TAVA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI	289
7.6. UZUN TAVA SULAMA YÖNTEMİ	296
7.6.1. Uzun Tava Sulama Yönteminin Uygulanacağı Koşullar	297
7.6.2. Uzun Tava Sulama Yönteminin Üstünlükleri ve Uygulanmasını Kısıtlayan Etmenler	297
7.7. UZUN TAVA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI	299
7.8. KARIK SULAMA YÖNTEMİ	308
7.8.1. Karık Sulama Yönteminin Uygulanacağı Koşullar	308
7.8.2. Karık Sulama Yönteminin Üstünlükleri ve Uygulanmasını Kısıtlayan Etmenler	310
7.8.3. Karık Tipleri	311
7.8.4. Karık Sulama Yönteminde İnfiltrasyon Testleri	312
7.9. KARIK SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI	318
7.9.1. Açık Karıklar	319
7.9.2. Kapalı karıklar	337
7.10. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ	347
<b>KAYNAKLAR</b>	349

## ÖNSÖZ

---

Toprak ve su kaynaklarının geliştirilmesi çalışmaları içerisinde sulama, bitki yetiştiriciliğinde kararlılığı sağlayan, çağdaş tarımın ayrılmaz unsuru olan önemli bir tarımsal girdidir.

Su kaynaklarının etkin kullanımı, dünyada olduğu gibi Türkiye’de de gittikçe artan oranda önem kazanmaktadır. Bu nedenle, bitki yetiştiriciliğinde kullanılacak sulama suyunun, olanaklar ölçüsünde en az kayıpla sulama alanlarına iletilmesi, alan içerisinde dağıtılması ve bitki su gereksinimini isteyen düzeyde karşılayacak biçimde bitki kök bölgesine verilmesi, bir bakıma zorunlu hale gelmiştir.

Tarım alanları sulamaya açılırken ya da mevcut sulama uygulamaları iyileştirilirken, su kaynaklarından etkin bir biçimde yararlanılması, ancak, koşullara en uygun sulama yönteminin seçilmesi, bu yöntemin gerektirdiği sulama sisteminin tekniğine uygun planlanması ve tasarımı, sistemin tasarımda öngörüldüğü biçimde kurulması ve işletilmesi, uygulama sırasında izleme ve değerlendirme yapılması ve elde edilecek bilgilerden sorunları giderecek biçimde yararlanılması ile olasıdır. Bu ise, sistem tasarımı ve sulama uygulamalarında çalışan tarımcıların, diğer tarımsal girdilerde olduğu gibi, sulama konusunda belirli bilgi ve beceri düzeyine sahip olmalarını gerektirmektedir.

Eser, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama öğrencilerine okutulmakta olan “Sulama Sistemlerinin Tasarımı” dersinin kitabı niteliğindedir. Eser yalnızca, tarım işletmelerine ya da kırsal yerleşim birimlerinde, büyüklüğü birkaç yüz hektarı geçmeyen tarım alanlarına kurulan, küçük ölçekli, bireysel ve toplu sulama sistemlerinin tasarımını kapsamaktadır. Tekrardan kaçınmak amacıyla, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi öğrencilerine “Sulama ve Drenaj”, “Toprak Su Yapıları”, “Su Kaynaklarının Yönetimi”, “Sulama Makinaları” gibi derslerde okutulan sulamanın temel ilkeleri, sulama suyu gereksinimi, sulama zamanının planlanması, sulama ekonomisi, drenaj sistemleri, su alma yapıları, pompa birimleri gibi konular ile binlerce hektar alana hizmet eden büyük sulama sistemlerinin tasarımına bu eserde yer verilmemiştir.

Eserin hazırlanmasında, yapılan araştırmalarda elde edilen sonuçlardan, arazi çalışmalarında kazanılan deneyimlerden, yerli ve yabancı kaynaklardan geniş ölçüde yararlanılmıştır.

Yedi bölümden oluşan eserde, genel anlamda bir giriş yapıldıktan sonra, kaynak araştırması, yağmurlama sulama sistemlerinin tasarımı, damla sulama sistemlerinin tasarımı, ağaç altı mikro yağmurlama sulama sistemlerinin tasarımı, arazinin sulamaya hazırlanması ve yüzey sulama sistemlerinin tasarımı konularına yer verilmiştir. Konuların daha iyi anlaşılmasını sağlamak ve uygulama ile ilişkilerini belirtmek amacıyla, her tasarım aşaması sayısal örneklerle desteklenmiş, bunun yanında, tasarımda kısa sürede sonuca gidilmesini sağlayan çok sayıda çizelge, grafik ve diyagram hazırlanmıştır.

Eserin, öğrencilerime ve konu ile ilgili olarak uygulamada çalışan Ziraat Mühendisi meslektaşlarıma yararlı olması en büyük dileğimdir.

Ankara, Nisan 2003

Prof.Dr. Osman YILDIRIM

### 3. BASKI İÇİN ÖNSÖZ

---

Türkiye’de, özellikle son yıllarda, küresel iklim değışikliklerinin de etkisi ile, yağış rejiminde değışikliklere ve sıcaklıktaki artışlara şahit olunmaktadır. Türkiye’nin hemen tüm bölgelerinde yıllık ortalama sıcaklıklar artarken, özellikle Orta Anadolu Bölgesinde yıllık toplam yağışta önemli düzeyde azalma meydana gelmiştir. Buna bağı olarak su kaynakları kapasitelerinin düştüğü gözlenmektedir. Ayrıca, basınçlı sulama yöntemlerine olan hibe ve faizsiz, ön ödemesiz kredi desteğı artırılmıştır. Tüm bunlar, basınçlı sulama yöntemlerine olan ilgiyi ve dolayısı ile de toplu ve özellikle tarım işletmeleri düzeyindeki bireysel basınçlı sulama sistemlerinin tasarımına ilişkin kaynak gereksinimini doğurmuştur. Bu esere, uygulamada çalışan teknik elemanlardan yüksek talep olmuş ve eserin ikinci baskısı da kısa sürede tükenmiştir.

Kitabın üçüncü baskısında, özellikle “Damla Sulama Sistemlerinin Tasarımı” bölümü uygulamada çalışan teknik elemanların karşılaşabilecekleri tüm sorunları giderebilecek biçimde genişletilmiş ve özellikle maliyet unsurları güncellenmiştir.

Kitaba olan ilgi, bu alanda önemli bir boşluğu doldurduğunun kanıtıdır ve bu kitabın yazarını son derece mutlu etmektedir. Bu ilginin devam etmesi ise en büyük dileğimdir.

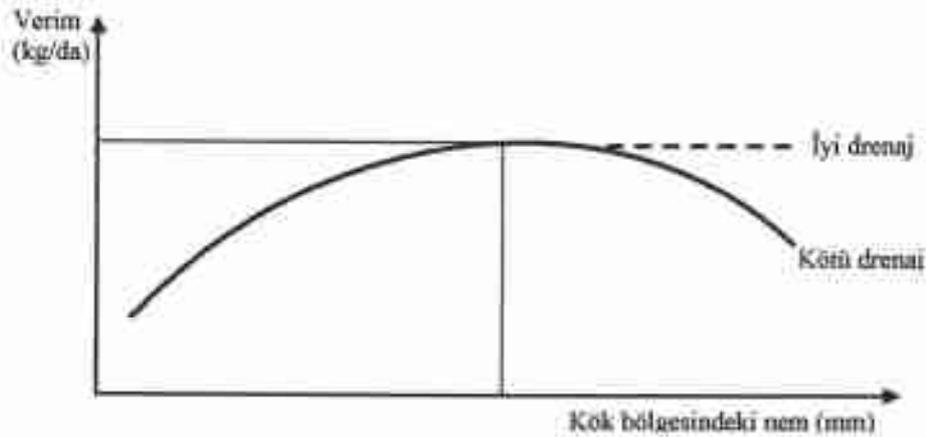
Ankara, Mart 2008

Prof.Dr. Osman YILDIRIM

## GİRİŞ

Bitkiler normal gelişmelerini sürdürebilmeleri için, büyüme mevsimi boyunca, kökleri aracılığıyla topraktan devamlı su alırlar. Bitki bünyesine giren su miktarının bir kısmı bitki dokularında su olarak kalır, bir kısmı parçalanarak bitki bünyesinde çeşitli bileşiklerin yapımında kullanılır ve artı kalan kısmı ise bitki yapraklarından terleme yoluyla atmosfere verilir. Bitkinin büyüme mevsimi boyunca toplam terleme miktarına kıyasla, bitki dokularında kalan ve çeşitli bileşiklerin yapımında kullanılan su miktarı göz önüne alınmayacak kadar azdır. Bu nedenle, sulama uygulamalarında, bitkinin kökleri aracılığıyla aldığı su miktarının tamamının terleme (transpirasyon) yoluyla atmosfere verildiği yaklaşımı yapılmaktadır.

Büyüme mevsimi boyunca, toprakta, bitki kök bölgesinde, bitkinin su gereksinimini karşılayacak düzeyde suyun bulunması bitki gelişmesi açısından son derece önemlidir. Gereğinden az ya da fazla toprak nemi, genellikle, bitki gelişmesini olumsuz yönde etkiler ve verim azalmasına neden olur. Konu, Şekil 1.1'de gösterilen su-verim ilişkisi eğrisi ile açıklanabilir. Şekilden izleneceği gibi, diğer tarımsal girdilerin tam olarak karşılanması koşuluyla, büyüme mevsimi boyunca toprağa giren su miktarı arttıkça verimde de bir artış meydana gelmekte ve belirli bir toprak nemi düzeyinde verim en yüksek değere ulaşmaktadır.



Şekil 1.1. Bitkilerde su-verim ilişkisi eğrisi

Verimin en yüksek olduğu koşulda, bitki su gereksinimi tam olarak karşılanmaktadır. Bitki kök bölgesinde, gereğinden daha fazla suyun bulunması durumunda, eğer drenaj koşulları iyi ise, diğeri bir anlatımla, bitki su gereksiniminden fazla olan miktar doğal olarak bitki kök bölgesinin altına sızıyorsa ya da kurulan bir drenaj sistemi ile araziden uzaklaştırılıyorsa, bitki gelişmesi olumsuz yönde etkilenmemekte ve yine en yüksek verim elde edilebilmektedir. Ancak, kök bölgesinde gereksinenden fazla olan su miktarının uzaklaştırılmadığı kötü drenaj koşullarında, bitki yeterince gelişmemekte ve yine verim düşmektedir.

Büyüme mevsimi boyunca, bitki kök bölgesinde gereğinden az suyun bulunması koşulunda verim azalmasının nedeni, su moleküllerinin toprak taneleri tarafından tutulma gücünün artması ve bitkinin suyu alabilmesi için daha yüksek kök basıncı uygulamasıdır. Bunun sonucunda, bitki tarafından gelişmeye ve ürün yapımına ayrılacak enerjinin bir kısmı su almak için harcanır ve bitki yeterince gelişme gösteremez.

Bitki kök bölgesinde, kötü drenaj nedeniyle, gereğinden fazla suyun bulunması koşulunda, toprak taneleri arasındaki boşlukta (gözeneklerde) hava miktarı ve buna bağlı olarak ta oksijen miktarı azalmaktadır. Bunun sonucunda, kök hücrelerinin bölünerek çoğalması yavaşlamakta ve istenen düzeyde kök gelişmesi sağlanamamakta, topraktaki organik materyali parçalayarak bitkilerin alabileceği besin maddesi biçimine dönüştüren toprak mikroorganizmalarının faaliyetleri sınırlanmakta ve toprakta bitki besin maddelerinin alınmasını engelleyen zararlı bileşikler oluşmaktadır. Bu etmenler bitki gelişmesini olumsuz yönde etkiler ve sonuçta verim azalması meydana gelir.

## 1.1. SULAMANIN TANIMI VE ÖNEMİ

Bitkilerin normal gelişmelerini sağlaması için önemli koşullardan biri, büyüme mevsimi boyunca kök bölgesinde yeterli düzeyde suyun bulundurulmasıdır. Bu suyu sağlayan kaynaklardan ilki doğal yağışlardır. Düşen yağışın bitki kök bölgesinde depolanan kısmı, bitki su gereksinimini karşılayamaz ise, eksik olan miktar sulama suyu ile tamamlanmaktadır. Bu nedende **sulama, bitkilerin normal gelişmeleri için gereksindikleri su miktarının doğal yağışlarla karşılanamayan kısmının toprağa, bitki kök bölgesine verilmesi** biçiminde tanımlanmaktadır.

Kaba bir yaklaşımla, bölgeler, yıllık toplam yağış 200 mm'den az olduğunda kurak bölge, 200-500 mm arasında olduğunda yarı kurak bölge, 500-750 mm arasında olduğunda yarı nemli bölge ve 750 mm'den fazla olduğunda ise nemli bölge biçiminde sınıflandırılabilir.

Kurak ve yarı kurak bölgelerde bitki büyüme mevsimi boyunca düşen yağışlar hem miktar hem de dağılım açısından yetersiz kalmakta ve bitki su

gereksiniminin çok az bir miktarı yağışlarla karşılanmaktadır. Bu nedenle, devamlı ve kararlı bir bitkisel üretim açısından, bu bölgelerde sulama zorunlu olmakta ve bitki kök bölgesindeki eksik su, sulama ile tamamlanmaktadır.

Yarı nemli ve nemli bölgelerde, bitki su gereksiniminin yağışlarla karşılanan kısmı daha fazla olmaktadır. Ancak, yarı nemli bölgelerde sulama çoğunlukla gerekli olmakta, nemli bölgelerde bile, kurak geçen dönemlerde destekleme niteliğinde sulama yapılabilmektedir. Yukarıda verilen sınıflandırmaya göre, Türkiye'nin çok büyük bir bölümü yarı kurak iklim kuşağında yer almaktadır. Dolayısıyla, Türkiye'de sulama, bitkisel üretim için oldukça önemlidir.

Yarı kurak bölgelerde, topraktaki nem eksikliğine dayanıklı olan ve büyüme mevsiminin önemli bir bölümü, yağışın fazla olduğu ilkbahar aylarına rastlayan bazı kültür bitkileri sulama yapılmaksızın yetiştirilebilmektedir. Ancak, bu bitkiler oldukça sınırlıdır ve bu bitkilerin bile sulanması ile önemli düzeyde verim artışı sağlanmaktadır. Bunun yanında, sulanmayan alanlarda diğer bazı tarımsal girdiler kısırlı kalmaktadır. Tüm bu konular, bitkisel üretimde sulamanın ne denli önemli olduğunu göstermektedir.

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

## 1.2. SULAMANIN YARARLARI

Sulamanın yararları şöylece sıralanabilir:

- 1) Sulamanın en önemli yararı, büyüme mevsimi boyunca, bitkinin gereksinim duyduğu su miktarının kök bölgesinde depolanmasını sağlamasıdır. Böylelikle, devamlı ve kararlı bir bitki yetiştiriciliği yapılır.
- 2) Topraktaki fazla tuzun yıkanması sağlar. Bu özellikle, bitkilerin çimlenme ve çıkış dönemleri için önemlidir. Toprak tuzluluğuna dayanıklı olan bitkilerde bile, çimlenme ve çıkış periyodunda toprak tuzluluğuna duyarlılık söz konusudur. Ekimden hemen sonra yapılacak çimlenme ve çıkış sulaması, tohum yatağındaki tuzları alt katlara yıkar ve istenen düzeyde çimlenme ve çıkış elde edilir. Ayrıca, tuzlu toprakların ıslahında, tuzların kök bölgesinin altına yıkanması için gerekli yıkama suyu sulama ile verilir.
- 3) Toprakta mevcut taban taşı yumuşatılır. Toprak işleme aletleri ile, genellikle aynı derinlikte işleme yapıldığından, pulluk tabanı, toprağı sıkıştırarak sert bir tabaka oluşturabilir. Bitki kökleri bu tabakayı

geçmekte zorlanır. Sulama ile sıkışmış olan bu tabaka yumuşar ve bitki köklerinin alt katmanlara doğru gelişmesi kolaylaşır.

- 4) Toprak ve bitki civarındaki hava serinletilir. Bitkiler, genellikle, en iyi gelişmeyi 20-25 °C sıcaklıkta gösterir. Yaz aylarında, bitki civarındaki hava sıcaklığı, genellikle bu değerin üzerine çıkar. Sulama yapıldığında, bitki civarındaki hava ve toprak serinletilir ve sıcaklık açısından bitki gelişmesine katkıda bulunulur.
- 5) Damla ve ağaç altı mikro yağmurlama gibi bazı sulama yöntemlerinde, bitki besin elementleri sulama suyuna karıştırılarak uygulanır. Böylelikle, etkin bir gübreleme yapılır.

### 1.3. SULAMANIN TARİHÇESİ

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

Genellikle, sulamanın ilk uygulandığı ülkenin Mısır olduğu kabul edilir. Bu ülkede sulama uygulamalarına milattan çok önceleri başlanmıştır. 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 bazılarından bugün halen yararlanılmaktadır.

Hindistan'ın Indus vadisinde M.Ö. 5000 yıllarında hüküm sürmüş Mahon Jo Daro medeniyeti sırasında, çağın 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 yaptırımlar uygulanmıştır.

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 kaplaması gibi gelişmeler bir tarafa bırakılırsa, yüzey sulama açısından, 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 yapımında oldukça üst düzeyde uzmanlık ve beceri kullanıldığını ortaya koymaktadır. Kral Menes'in yaptırdığı baraj, 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. yüzyılın sonlarına rastlar. Bu amaçla, bugün sınırlarımız dışında kalan Işkodra 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 Savaşı'nın hemen öncesinde büyük akarsularımızın bazılarının ıslahı ve bu akarsu havzalarında sulama çalışmaları planlanmış, ancak savaşın başlaması ile bu çalışmalar tamamlanamamıştır. Türkiye'de sulama çalışmaları, İkinci Dünya Savaşından sonra, özellikle Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün (DSİ) kurulması ile hız kazanmış ve birçok büyük sulama projesi kamu yatırımı ile gerçekleştirilmiştir.

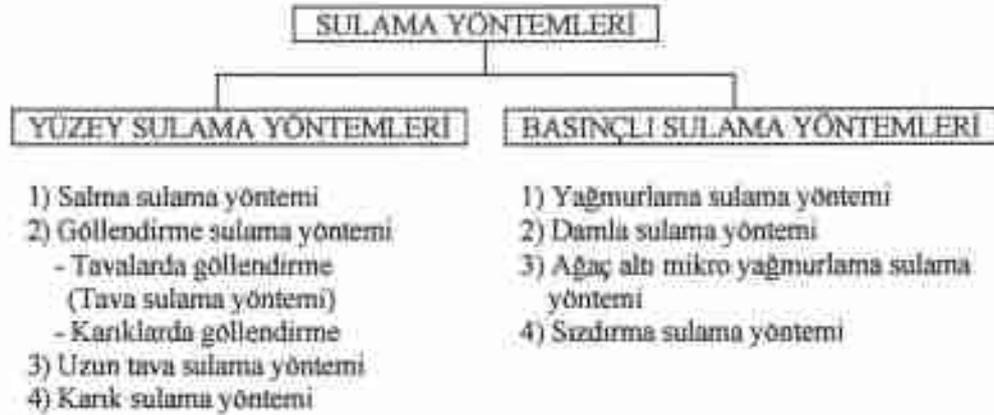
DSİ Genel Müdürlüğü verilerine göre, Türkiye'de tarım alanı  $28 \times 10^6$  ha ve bunun sulanabilir özellikte olanı  $25 \times 10^6$  ha civarındadır. % 0-6 eğim grubu içerisinde yer alan sulanabilir özellikteki tarım alanının  $13.5 \times 10^6$  ha kadar olduğu yaklaşımları yapılmaktadır. Türkiye'de tüketici amaçlarla yararlanılabilecek su kaynakları potansiyeli ise,  $98 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl'ı yerüstü ve  $14 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl'ı yeraltı olmak üzere toplam  $112 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl'dır. Türkiye'de nüfusun 2030 yılında 100 milyon olacağı hesaplanmakta ve su kaynakları potansiyelinin  $18 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl'ının içme ve kullanma,  $22 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl'ının ise sanayi gereksinimini karşılaması planlanmaktadır. Dolayısı ile 2030 yılında sulamaya ayrılabilen miktar ancak  $72 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl olacaktır ve bu miktar ile  $8.5 \times 10^6$  ha alanın sulanması hedeflenmiştir. Bunun yanında, Türkiye'de mevcut durumda toplam  $5.1 \times 10^6$  ha alanda sulama sistemi kurulmasına karşın net sulanan alan bu değerden epey altındadır. Kesin veriler bulunmamakla birlikte, sulanan alanlarda uygulanan basınçlı sulama yöntemlerinin % 20'den daha az olduğu söylenebilir. Diğer bir deyişle, Türkiye'de sulanan alanların % 80'den fazlasında yüzey sulama yöntemleri uygulanmaktadır. Yüzey sulama yöntemlerinin uygulandığı alanın önemli bir bölümünde ise, sulama randımanı son derece düşük olan salma sulama yöntemi kullanılmaktadır. Oysa yalnızca toprak ve topografya özellikleri açısından, % 0-6 eğim grubu içerisinde yer alan  $13.5 \times 10^6$  ha sulanabilir alanın % 63'ünde basınçlı sulama yöntemlerinin uygulanması gerektiği belirlenmiştir. Bitki özellikleri, su kaynakları kısıtı, ekonomik koşullar vb. faktörler de göz önüne alındığında bu oranın daha da artacağı söylenebilir. Görüldüğü gibi, su kaynaklarımızın optimum kullanımını 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. Örneğin, sulamaya ayrılacak  $72 \times 10^7$  m<sup>3</sup>/yıl su ile hedeflenen  $8.5 \times 10^6$  ha alanın sulanabilmesi için basınçlı sulama yöntemleri oranının % 70'in üzerine çıkarılması ve gerekli olan yerlerde havzalar düzeyinde su nakli yapılması ön koşuldur.

## 1.5. SULAMA YÖNTEMİ, SULAMA SİSTEMİ VE SULAMA PROJESİ

*Sulama yöntemi*, suyun toprağa, bitki kök bölgesine verilmiş biçimi olarak tanımlanır. *Sulama sistemi*, suyun kaynaktan alınması, sulanacak alana iletilmesi ve dağıtılması için gerekli yapı, araç, makina vb. unsurların bütünüdür. *Sulama projesi* ise, sulanacak alan, bu alana suyun iletilmesi ve dağıtılmasını sağlayan sulama sistemi, alandaki fazla suyu uzaklaştıran drenaj sistemi ile alınması gereken tüm teknik ve biyolojik önlemleri kapsar.

Sulama yöntemleri, yüzey ve basınçlı sulama yöntemleri olmak üzere iki grup altında toplanabilir (Şekil 1.2). Yüzey sulama yöntemlerinde, su toprak yüzeyinden akıtılarak verilir. Sulama suyu, toprak yüzeyinde yerçekiminin etkisi ile ilerlerken, bir yarıdan da infiltrasyonla toprak içerisine girer ve bitki kök bölgesinde depolanır.



Şekil 1.2. Sulama yöntemlerinin sınıflandırılması

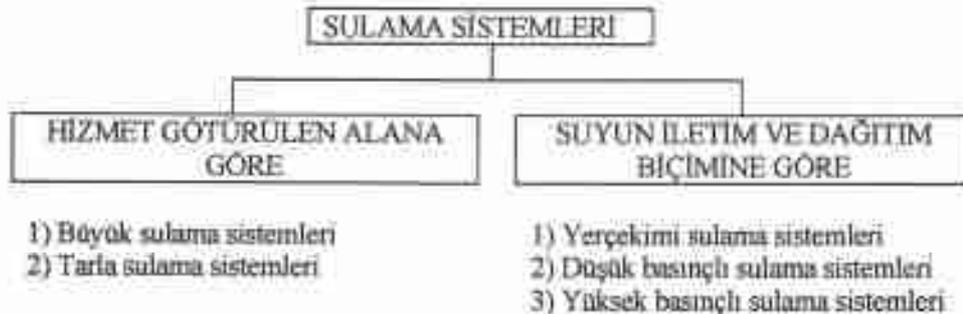
Basınçlı sulama yöntemlerinden yağmurlama sulama yönteminde, tarla parseli üzerine belirli aralıklarla yerleştirilen yağmurlama başlıklarından su basınç altında püskürtülerek doğal yağışa benzer biçimde atmosfere verilir. Buradan toprak yüzeyine düşen su, infiltrasyonla toprak içerisine girer ve kök bölgesinde depolanır. Damla sulama yönteminde ise, bitki yakınına yerleştirilen damlatıcılardan, su damlalar biçiminde toprağa, bitki köklerinin geliştiği ortama verilmektedir.

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 seçilir, sonra, bu sulama yönteminin gerektirdiği sulama sistemi planlanır, sistem unsurları boyutlandırılır, kurulur ve işletilir.

Sulama sistemleri, hizmet götürülen alana göre ve su iletim ve dağıtım biçimine göre iki grupta toplanabilir (Şekil 1.3).

Hizmet götürülen alan açısından, *büyük sulama sistemleri*, binlerce hektar alana hizmet edecek şekilde kurulur. Çok sayıda tarım işletmesini kapsar. *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, bir tarım işletmesine ya da kırsal yerleşim birimine ait kuyu, gölet, küçük akarsu, vb. olabilmektedir. Tarla sulama sistemine, çiftlik sulama sistemi, tersiyer altı sulama sistemi ya da tarla içi su dağıtım sistemi gibi isimler de verilmektedir.

Bu kitapta daha çok, tarla sulama sistemleri ile bir kırsal yerleşim birimindeki tarım işletmelerine hizmet edecek ölçekte toplu sulama sistemleri üzerinde durulacaktır.



Şekil 1.3. Sulama sistemlerinin sınıflandırılması

Suyun iletim ve dağıtım biçimi açısından, *yerçekimi sulama sistemleri*, ağırlıklı olarak yüzey sulama yöntemlerinin uygulandığı proje alanlarına kurulur. Su iletim ve dağıtımını açık kanallarla yapılır. Bu nedenle, bu tip sistemlere, açık kanal sistemleri ya da yüzey sulama sistemleri adı da verilmektedir. Yerçekimi sistemlerinde suyun kaynaktan alınmasında, regülatör, bent, priz, vb. yapılar kullanıldığı gibi, su kaynağının proje alanına göre düşük kotta olması durumunda, ister de olsa pompa birimlerinden yararlanılabilmektedir.

*Düşük basınçlı sulama sistemlerinin* kurulduğu alanda da, ağırlıklı olarak yüzey sulama yöntemleri uygulanır. Su iletimi ve dağıtımını düşük basınçlı boru hatları ile yapılır. Boru hatlarındaki basınç yükü, genellikle 1 atm'yi geçmez.

*Yüksek basınçlı sulama sistemleri*, yağmurlama, damla, ağaç altı mikro yağmurlama gibi basınçlı sulama yöntemlerinin uygulandığı proje alanlarına kurulur. Su iletimi ve dağıtımını basınçlı boru hatları ile yapılır. Bu boru hatlarındaki basınç yükü ise, genellikle 1 atm'nin üzerindedir. Düşük ve yüksek basınçlı sulama sistemlerinde, suyun kaynaktan alınmasında, çoğunlukla pompa birimi kullanılır. Ancak, su kaynağı, istenen sistem basıncını sağlayacak kadar yüksekte ise pompa birimi gerekmez.

## **KAYNAK ARAŞTIRMASI**

---

Sulama proje alanlarında, sulamadan beklenen yararın sağlanabilmesi için :

- 1) Koşullara en uygun sulama yöntemi seçilir,
- 2) Seçilen sulama yönteminin gerektirdiği sulama sistemi planlanır, sistem unsurları boyutlandırılır, sulama sisteminin kurulması ve işletilmesi ilkeleri belirlenir,
- 3) Sulama sistemi, tasarım aşamasında öngörüldüğü gibi kurulur ve işletilir,
- 4) Sulama sistemi işletilmeye başlandıktan sonra, izleme ve değerlendirme yapılarak, öngörülen hedeflere ulaşıp ulaşılamadığı kontrol edilir, ulaşılamıyorsa, nedenleri araştırılır ve sorun giderilir.

Sıralanan bu aşamalardan herhangi birindeki başarısızlık, sulamadan beklenen yararın elde edilememesine neden olur.

Sulama proje alanlarında, sulama sisteminin tasarımına başlamadan önce, uygun sulama yönteminin seçimi, sistemin tasarımı, kurulması ve işletilmesinde gerekli olacak tüm bilgiler derlenir. Yapılan bu işleme, etüt ya da kaynak araştırması adı verilir. Derlenecek bilgilerin doğru ve güvenilir olması son derece önemlidir. Kaynak araştırması ile derlenecek bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

### **2.1. PLANLAMA HARİTASI**

Öncelikle, sulama proje alanının topografik haritası elde edilir. Sulama sistemi, bu harita üzerinde planlanır. Sistem unsurlarının boyutlandırılmasında ve araziye geçirilmesinde gerekli bazı değerler bu harita üzerinden ölçülerek alınır. Ayrıca, sistemin işletilmesi aşamasında da bu haritadan yararlanır. Bu nedenle, planlama haritasının doğru ve yeterli ayrıntıda olması son derece önemlidir. Bu amaçla, varsa, istenilen özellikleri yansıtan mevcut topografik ve kadastral haritalardan yararlanır. Aksi durumda, proje alanına bir dayalı ya da bağımsız poligon ağı döşenir, gerekli ölçmeler (poligon ölçmeleri ve yüzey nivelmanı) yapılır ve istenilen özellikteki planlama haritası hazırlanır. Planlama

haritası aynı zamanda, parselasyon haritası niteliğinde olmalıdır. Diğer bir anlatımla, tarım işletmelerinin ve tarla parsellerinin sınırlarını göstermelidir.

Kaba bir sınırlama ile, harita ölçeğinin, 300 ha'a kadar olan alanlar için 1/2000, daha geniş alanlar için 1/5000 olması yeterlidir. Ortalama arazi eğimi % 1'i geçmiyorsa, tesviye eğrileri 0.50 m ara ile, % 1'den yüksek ise 1.00 m ara ile geçirilmelidir. Planlama haritasında,

- 1) Sabit nivelman noktaları (poligon noktaları, röperler),
- 2) Mevcut tarım işletmelerinin ve tarla parsellerinin sınırları,
- 3) Su kaynaklarının yeri ve yükseklikleri,
- 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) Planlamayı etkileyecek diğer unsurlar

bulunmalıdır.

## 2.2. TARIMSAL YAPI VE MÜLKİYET

Özellikle çok sayıda tarım işletmesini kapsayan sulama proje alanlarında, her tarım işletmesi ve tarla parselinin sınırları ve boyutluğu, sahibinin ya da işletmecisinin adı belirlenir. Bu amaçla, varsa kadastro haritalarından yararlanılır. Ancak, arazi mülkiyeti kısa süreler içerisinde değişebileceğinden, planlamaya başlamadan hemen önce, yerinde yapılacak ankette kadastro haritalarındaki bilgiler doğrulanır ve gerekirse düzeltilir. Bu ankette ayrıca tarımsal yapı ortaya konur. Diğer bir anlatımla, her tarım işletmesinde, tarla bitkileri, sebzeler, bağ, meyve bahçesi, üzerindeki bitki türüne göre sulanmayacak alanlar, başka amaçla kullanılacak tarım dışı alanlar gibi arazinin kullanma biçimi saptanır.

Sulama proje alanının kadastro haritası yoksa, yukarıda sıralanan bilgiler, planlama haritasının hazırlanması sırasında elde edilir.

## 2.3. TOPRAK ÖZELLİKLERİ

Sulama proje alanında, sulama sisteminin planlanması, sistem unsurlarının boyutlandırılması, sistemin kurulması ve işletilmesi aşamalarında gerekli toprak bilgileri derlenir. Bu bilgiler, toprağın bünyesi ve yapısı, etkili toprak derinliği, kullanılabilir su tutma kapasitesi, toprağın tuzluluğu, sodyumluluğu ve geçirgenliği, toprağın infiltrasyon özellikleri gibi bilgilerdir. Bu amaçla, özellikle çok sayıda tarım işletmelerini kapsayan proje alanlarında,

sulu arazi sınıflandırma haritaları ve raporları hazırlanır. Gerekli bilgilerin bir çoğu, bu harita ve raporlardan elde edilir.

Bir ya da birkaç tarım işletmesine hizmet götüren sulama projelerinde gerekli toprak bilgilerinin sağlanması amacıyla her 20 da'da bir, çok sayıda tarım işletmesine hizmet götüren sulama projelerinde ise, sulu arazi tasnif raporlarında bulunmayan toprak bilgilerinin sağlanması amacıyla, her 160 da'da bir toprak profili açılır. Profil derinliğinin, tarla bitkileri ve sebze tarımı yapılan alanlarda 120 cm, bağ ve meyve tarımı yapılan alanlarda ise 150 cm olması yeterlidir.

Açılan profillerin her 30 cm derinliğindeki katmanından, yeterli sayı ve miktarda bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınır. Bozulmuş toprak örneklerinde, bünye sınıfı, solma noktası, toprak tuzluluğu (tuz yüzdesi ya da elektriksel iletkenlik) ve sodyumluluğu (değişebilir sodyum yüzdesi), bozulmamış toprak örneklerinde ise, tarla kapasitesi, hacim ağırlığı ve geçirgenlik analizleri yapılır.

Açılan profillerin hemen yakınında, 2 da alan içerisinde kalacak biçimde, en az üç yerde infiltrasyon testleri yapılır. Bu testlerin çift silindir infiltrometrelerle yapılması önerilir. İnfiltrasyon testleri ile, basınçlı sulama yöntemlerinin uygulanacağı proje alanlarında, yalnızca su alma hızının ölçülmesi yeterlidir. Yüzeysel sulama yöntemleri söz konusu olduğunda ise, su alma hızı yanında, eklemeli su alma eşitliklerinin de belirlenmesi gerekir. Çift silindir infiltrometre ölçmeleri ile elde edilecek eklemeli su alma eşitlikleri, ancak, tava ve uzun tava sulama yöntemlerinde kullanılabilir. Karık sulama yönteminin uygulanacağı alanlarda, çift silindir infiltrometre ölçmeleri yanında, karıklara giren ve çıkan suyun ölçülmesi yoluyla infiltrasyon testlerinin yapılması ve bu testler sonucunda elde edilecek eklemeli su alma eşitliklerinin kullanılması gerekir.

Farklı toprak bünye sınıfları için kullanılabilir su tutma kapasitesi ve su alma hızının değişim sınırları ve ortalama değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Çizelge, yalnızca, kullanılabilir su tutma kapasitesi ve su alma hızının alabileceği değerler hakkında bilgi vermek amacıyla hazırlanmıştır. Değişim sınırları çok geniş olduğundan, çizelgedeki ortalama değerleri kullanarak tasarım ve işletme yapmak çoğunlukla gerçeği yansıtmaz. Çok zorunlu kalmadıkça bu yola başvurulmamalıdır. Sulama sistemlerinde iyi bir tasarım ve işletme için, toprak örneklerinin analizi ve infiltrasyon testleri sonucunda elde edilecek kullanılabilir su tutma kapasitesi ve su alma hızı değerleri kullanılmalıdır.

Çizelge 2.1. Toprak bünye sınıflarına göre kullanılabilir su tutma kapasitesi ve su alma hızı değerleri

Bünye sınıfı	Kullanılabilir su tutma kapasitesi, $d_k$ (mm/m)		Su alma hızı, $I$ (mm/h)	
	Sınırlar	Ortalama	Sınırlar	Ortalama
Kum	33 – 62	40	25 – 250	50
Tınlı kum	60 – 80	70	20 – 100	30
Kumlu tın	85 – 125	105	13 – 76	20
Tın	125 – 190	160	5 – 15	7
Killi tın, milli killi tın	145 – 210	175	3 – 10	5
Milli kil, kil	135 – 210	170	1 – 6	4

## 2.4. BİTKİ ÖZELLİKLERİ

Sulama proje alanında, mevcut durumda tarımı yapılan bitkiler ile sulamadan sonra tarımı öngörülen bitkilere ilişkin aşağıdaki bilgiler derlenir.

**1) Bitki deseni :** Mevcut ve projeli koşulda, tarımı yapılacak bitkiler ve bu bitkilerin ekiliş oranları saptanır. Tasarım aşamasında, proje alanında, özellikle sulamaya geçildikten sonra, tarımı yapılacak bitkileri ve ekiliş oranlarını olanaklar ölçüsünde doğru bir biçimde belirlemek son derece önemlidir. Çünkü elde edilecek sonuç, proje alanı sulama suyu gereksinimini ve sulama modülüne doğrudan etkileyecektir. Bu amaçla, proje alanında işletme sahipleri ile görüşmeler yapılır. Ayrıca, varsa yörede sulama yapılan alanlarda inceleme yaparak, yetiştirilen bitkileri ve ekiliş oranlarını saptamak ta tasarımcıya karar vermede yardımcı olabilir.

**2) Bitki su tüketimi :** Proje alanında tarımı öngörülen her bitki için, on günlük ya da en çok aylık periyotlarda günlük ortalama bitki su tüketimleri hesaplanır. Bu amaçla, tek yıllık bitkilerde, ekim ya da dikim tarihi ile hasat ya da son hasat tarihi arasındaki toplam büyüme mevsimi ve büyüme mevsimi boyunca farklı gelişme devreleri, yerinde yapılacak çalışmalarla belirlenir. Çok yıllık bitkiler için büyüme mevsimi, ilkbahar son donları ile sonbahar ilk donları arasında geçen periyottur. Bitki su tüketimi hesaplarında kullanılacak tahmin yönteminin, olanaklar ölçüsünde çok sayıda iklim elemanını kapsaması ve yöre için su tüketimi açısından güvenilir bitki katsayılarının bulunması son derece önemlidir.

**3) Sulama suyu gereksinimi ve sulama modülü :** Proje alanında, bitki deseni göz önüne alınarak, aylık periyotlar için ortalama bitki su tüketimleri, proje alanı net ve toplam sulama suyu gereksinimi ve sonuçta sulama modülü değerleri hesaplanır. Sulama projeleri, sulama suyuna en çok gereksinim duyulan periyot, göz önüne alınarak yapılır.

**4) Sulama ile ıslatılacak toprak derinliği ve sulamaya başlanacak toprak nemi düzeyi :** Sulama proje alanında, tarımı öngörülen her bitki için sulama ile ıslatılacak toprak derinliği ve sulamaya başlanacak toprak nemi düzeyi belirlenir. Derin topraklarda, sulama ile ıslatılacak toprak derinliği, etkili kök derinliğine eşdeğer alınır. Taban suyu ya da geçirimsiz tabakanın yakında olduğu yüzlek topraklarda, etkili toprak derinliği, etkili kök derinliğinden daha düşükse, etkili toprak derinliği ıslatılır. Bilindiği üzere bitkiler, tarla kapasitesi ile solma noktası arasındaki nemden yararlanır. Sulama ile ıslatılan toprak derinliğindeki nem, tarla kapasitesinden solma noktasına doğru azaldıkça, suyun toprak taneleri tarafından tutulma gücü arttığından, bitki suyu alabilmek için daha yüksek kök basıncı uygular ve bitki topraktaki nem eksikliğinden kaynaklanan gerilime girmeye başlar. Bu nedenle, bitki su gereksiniminin tam karşılanması koşulunda, etkili kök bölgesindeki toprak nemi, bitkilerin, topraktaki nem eksikliğinden kaynaklanan gerilime girmeye başladığı nem düzeyinde ya da daha yüksek iken sulamaya başlanır. Sulamaya başlanacak bu toprak nemi düzeyi, öncelikle, bitkinin topraktaki nem eksikliğine dayanıklılığına ve uygulanacak sulama yöntemine göre değişir. Sulamaya başlanacak toprak nemi düzeyinin ifadesinde  $R_e$  gibi bir katsayı kullanılır. Tasarım aşamasında, yüzey ve yağmurlama sulama yöntemleri için  $R_e = 0.50$ , damla sulama yöntemi için  $R_e = 0.30$  ve ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemi için  $R_e = 0.40$  alınabilir. Burada,  $R_e = 0.50$ 'nin anlamı, etkili kök derinliğinde kullanılabilir su tutma kapasitesinin % 50'si tüketildiğinde sulamaya başlanacak demektir. Yalnız, kısıtlı su kaynağı koşullarında, yüzey ve yağmurlama yöntemleri ile topraktaki nem eksikliğine dayanaklı bitkiler sulanırken, bitki su gereksinimini eksik karşılayarak, mevcut su ile daha geniş alanın sulanması yoluna gidilebilir. Bu koşulda,  $R_e$  değeri 0.50'den daha yüksek alınabilir.

**5) Her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı ve sulama aralığı :** Projede ön görülen her bitki için her sulamada uygulanacak net ve toplam sulama suyu gereksinimleri hesaplanır. Büyüme mevsimi boyunca, farklı periyotlardaki sulama aralıkları saptanır. Etkili yağış değerleri de dikkate alınarak sulama programları oluşturulur. Sulama sisteminin tasarımında, sulama suyu gereksiniminin en yüksek olduğu periyottaki sulama aralığı ve kritik koşulu yansıtan bitki dikkate alınır.

**6) Tarımsal işlemler :** Projede öngörülen her bitki için toprak işleme, tarımsal savaş, hasat vb. işlemlere ilişkin bilgiler derlenir. Bu bilgilerden yararlanarak, sulama programları oluşturulurken sulamanın yapılmayacağı periyotlar saptanır. Bu ise, tasarımda göz önüne alınacak sulamanın tamamlanacağı gün sayısını etkiler. Örneğin, yonca gibi, yıl içerisinde birden fazla biçilen bitkilerde, sulama zamanının planlanmasında, biçim tarihleri önemlidir.

## **2.5. SU KAYNAĞI ÖZELLİKLERİ**

Proje alanında, yararlanılabilecek tüm su kaynaklarına ilişkin bilgiler derlenir. Bu bilgiler, su kaynağının cinsi, konumu, yüksekliği, sulama sezonu boyunca, en düşük, en yüksek ve ortalama debileri, akarsu ise uygun su alma yeri ve su alma yapısı, pompa birimi gerekliliği, pompa statik emme yüksekliği, taşkın debisi, sediment içeriği, kuyu ise dinamik yüksekliği, su tersiyer kanaldan alınacaksa, bu kanala su verilen günler ve süresi, tüm bunların yanında, sulama suyunun kimyasal madde içerikleri ve kalite sınıfı vb. bilgilerdir.

## **2.6. İKLİM BİLGİLERİ**

Bitki su tüketimi hesapları ve sulama zamanının planlanmasında yararlanılacak tüm iklim bilgileri derlenir. Bunlar, proje alanının yüksekliği, enlem ve boylam dereceleri, ilk ve son don tarihleri, en çok aylık, olanak varsa on günlük periyotlar için ortalama sıcaklık, yağış, minimum, ortalama ve maksimum bağıl nem, rüzgar hızı ve esme yönü, güneşlenme süresi, atmosfer basıncı vb. değerlerdir. Sulama sistemlerinin tasarımında, uzun yıllar ortalaması iklim elemanları kullanılır ve bu değerler, proje alanına en yakın, olanaklar ölçüsünde alanın iklim özelliklerini gösteren yerdeki meteoroloji istasyonlarından sağlanabilir.

## **2.7. DİĞER BİLGİLER**

Sulama sisteminin planlanması, tasarımı, kurulması ve işletmesinde gerekli olacak diğer tüm bilgiler derlenir. Bunlar arasında, sistem unsurlarında kullanılacak malzeme, malzemenin sağlanacağı yer ve ocaklar, sistem unsurlarını üreten değişik kuruluşlardan sağlanacak teknik bilgiler, kazı toprağının sınıfı, yapılacak işlerin birim fiyatları, maliyet analizleri, özellikle günlük sulama süresi ve sulamanın tamamlanacağı gün sayısına ilişkin çiftçi istekleri vb. bilgiler sayılabilir. Tüm bu bilgiler, sulama sisteminin teknik ve ekonomik yönden, planlanması, tasarımı ve işletilmesini etkileyecektir.

## **YAĞMURLAMA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI**

---

### **3.1. YAĞMURLAMA SULAMA YÖNTEMİ**

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

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

### **3.2. YAĞMURLAMA SULAMA YÖNTEMİNİN ÜSTÜNLÜKLERİ**

Yağmurlama sulama yönteminin, özellikle, yüzey sulama yöntemlerine olan üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır.

- 1) Yüzeyi düzgün olmayan tarım alanlarının tesviyesine gerek yoktur.
- 2) Su alma hızı yüksek hafif bünyeli topraklarda, yüksek su uygulama randımanı sağlanır.
- 3) Geçirimsiz tabaka ya da taban suyunun yakın olduğu yüzlek topraklarda, taban suyu oluşturmadan ya da taban suyunu yükseltmeden kontrollü bir sulama yapılabilir.
- 4) Sulanan arazinin her yerinde daha eş bir su dağılımı sağlandığından, bunun yanında yüzey akışı olmadığından, su uygulama randımanı genellikle daha yüksektir. Ayrıca, su iletimi basınçlı boru hatları ile yapıldığından iletim kayıpları yoktur. Bunların sonucunda, sulama randımanı daha yüksek olur. Bu ise, birim alan sulama suyu gereksinimini ve sistem debisini azaltır. Özellikle, kısıtlı su kaynağı koşullarında mevcut su ile daha geniş alan sulanabilir.

- 5) Tekniğine uygun bir projelendirme ve uygulama ile erozyon sorunu ortadan kalkar.
- 6) Boru hatları gömülü olduğundan ya da yüzeyde serili ise açık kanallara oranla daha az yer kapladığından tarım dışı alan daha azdır ve makinalı tarımsal işlemler daha kolaylıkla yapılabilir.
- 7) Sulama kolaylıkla yapılır ve işçilik masrafları azalır.
- 8) Özellikle, meyve ağaçlarının tac altından sulandığı ve yapraklarının ıslatılmadığı yağmurlama sistemlerinde, bitki besin elementleri ve toprak hastalık ve zararlıları için kullanılan bazı tarım ilaçları sulama suyu ile birlikte verilebilir.
- 9) Ekonomik değeri yüksek bazı sebzeler ve meyve ağaçları dondan korunabilir.

### **3.3. YAĞMURLAMA SULAMA YÖNTEMİNİN UYGULANMASINI KISITLAYAN ETMENLER**

Yağmurlama sulama yönteminin uygulanmasını kısıtlayan bazı etmenler de söz konusudur. Bunlar aşağıda açıklanmıştır.

- 1) Yağmurlama sulama sistemlerinin tesis masrafları, yüzey sulama sistemlerine oranla, genellikle daha yüksektir. Bu nedenle, sistemin planlanması ve tasarımı, tekniğine uygun olması koşuluyla, en az maliyeti gerektirecek biçimde yapılmalıdır.
- 2) Gerekli işletme basıncını sağlamak için genellikle bir pompa birimine, dolayısıyla sürekli enerjiye gereksinim vardır. Bu da işletme masraflarını artırmaktadır.
- 3) Yüksek rüzgar hızı ve esme süresinin fazla olması 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 sıcaklık buharlaşma kayıplarını artırır ve dolayısıyla su uygulama randımanı düşer. Gündüz sıcaklığı yüksek olan yörelerde sulamanın gece yapılmasıyla bu sorun belirli ölçüde ortadan kaldırılabılır.
- 5) Bitkilerin tozlaşma döneminde yapılan sulama meyve bağlama oranını azaltır ve verim düşer. Bu nedenle, tozlaşma döneminde sulama yapılmayacak biçimde sulama programı uygulanmalıdır.

- 6) Bitki yaprakları ıslatıldığından, bazı bitki hastalıkları yayılma eğilimi gösterebilir. Bu nedenle, yağmurlama yöntemini, yaprakların ıslanmasından kaynaklanan hastalıklara duyarlı bitkilerin sulanmasında kullanmak genellikle doğru olmaz.
- 7) Sulama, gündüz saatlerinde bitirilirse, bitki yaprakları üzerinde kalacak su damlaları mercecek görevi yaparak güneş ışınlarını odaklar ve yaprakların yanmasına neden olabilir. Bu nedenle, sulamanın güneş batıktan sonra tamamlanacak biçimde planlanması yerinde olur.
- 8) Aynı sorun, tuzlu sulama suyunun uygulanması koşullarında da meydana gelebilir. Sulama tamamlandıktan ve yapraklar üzerindeki su buharlaştıktan sonra, yapraklar üzerinde kalacak tuz taneleri yaprakların yanmasına neden olabilir. Bu nedenle, tuzluluk açısından 3. sınıfa giren sulama suyunun, zorunlu kalmadıkça, yağmurlama sulamada kullanılmaması yerinde olur.

### 3.4. YAĞMURLAMA SULAMA YÖNTEMİNİN UYGULANABİLECEĞİ KOŞULLAR

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

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

**Bitki özellikleri :** Yağmurlama sulama yöntemi, preteşip olarak, yapraklarının ve meyvelerinin ıslanmasından kaynaklanan hastalıklara duyarlı bitkilerin sulanmasında kullanılmaz. Fasulye dışında tüm tarla bitkilerinin sulanmasında uygulanabilir. Genel olarak, yaprakları yenen sebzeler yağmurlama yöntemiyle sulanabilir. Domates, biber, fasulye, çilek vb. meyveleri yenen sebzeler yağmurlama yöntemiyle sulanmamalıdır. Benzer biçimde, bşğda omcalara, meyve bahçelerinde muz dışındaki ağaçlara, bitki üzerinden su verecek biçimde yağmurlama yöntemi uygulanmamalıdır. Meyve ağaçları, ağaç altından su uygulanarak yağmurlama yöntemiyle sulanabilir.

**Su kaynağı özellikleri :** Yağmurlama sulama yönteminde, her türlü su kaynağından yararlanılabilir. Yalnız, akarsulardan yararlanıldığında, su içerisinde,

boru hatlarında birikebilecek ve yağmurlama başlıklarını tıkayabilecek kadar sediment ve yüzcü cisim bulunmamalıdır. Bu koşulda, akarsudan alınan suyun, havuzlarda dinlendirilerek sediment çöktürüldükten ve yüzcü cisimler eleklerle tutulduktan sonra sisteme verilmesi daha doğru olur. Bu iş, sulama maliyetini artırır.

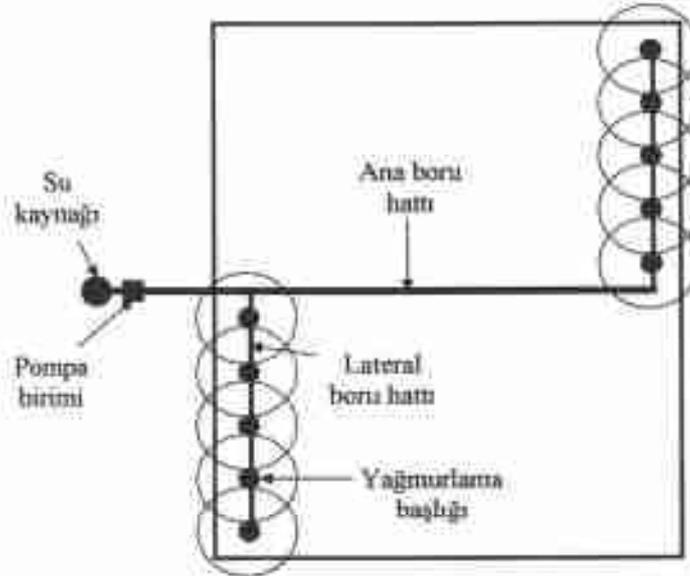
Yağmurlama sulamında, tuzluluk açısından 1. ( $C_1$ ) ve 2. ( $C_2$ ) sınıfa giren (elektriksel iletkenliği  $750 \mu\text{mhos/cm}$ 'yi geçmeyen) sulama suları emniyetle kullanılabilir. Ancak, önceki bölümde değinildiği gibi, 3. sınıfa ( $C_3$ ) giren sulama suyu kullanıldığında, yapraklarda kalılabilecek tuzlar yaprak yanmalarına neden olabilir.

### 3.5. YAĞMURLAMA SULAMA SİSTEMİNİN UNSURLARI

Bireysel yağmurlama sulama sistemleri, genellikle, pompa birimi, ana boru hattı, lateral boru hatları ve yağmurlama başlıklarından oluşmaktadır (Şekil 3.1). Bu unsurların özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.5.1. Pompa Birimi

Yağmurlama sulama sistemlerinde, gerekli işletme basıncı genellikle pompa birimi ile sağlanır. Pompa birimi, pompa ve pompayı çalıştıran motordan oluşur. Akarsu, göl, kanal, keson kuyu vb. su kaynaklarından yararlanıldığında,



Şekil 3.1. Yağmurlama sulama sisteminin unsurları

diğer bir anlatımla, pompa dinamik emme yüksekliğinin fazla olmadığı koşullarda, yatay millî santrifüj tipi pompalar, derin kuyularda ise derin kuyu pompaları ya da dalgıç tipi pompalar kullanılmaktadır. Pompaların çalıştırılmasında, elektrik enerjisinin sağlandığı koşullarda elektrik motorları, sağlanamadığı koşullarda ise içten yanmalı (genellikle diesel) motorlardan yararlanılır. Enerji masraflarının çok düşük olması, işletme ve bakım kolaylığı sağlaması açısından, elektrik motoru ile çalışan pompalar tercih edilmektedir.

### **3.5.2. Ana Boru Hattı**

Ana boru hattı, kaynaktan alınan sulama suyunu lateral boru hatlarına iletir. Gömülü ya da yüzeye serili olabilir. Gömülü olduğunda, en az 10 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan, toprak yüzeyine serildiğinde ise en az 6 atm işletme basınçlı alüminyum ya da yüksek yoğunluklu PE borulardan oluşturulur. Güneşin ultraviyole ışınlarına duyarlı olduğu için, PVC boruların yüzeye serilmesi istenmez. Bunun yanında, ender de olsa, gömülü ana boru hatlarında yüksek yoğunluklu PE ya da çelik borular da kullanılabilir.

### **3.5.3. Lateral Boru Hatları**

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

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

### **3.5.4. Yağmurlama Başlıkları**

Yağmurlama sulama sistemlerinin en önemli ve dikkatle seçilmesi gereken unsuru yağmurlama başlıklarıdır. Yağmurlama başlıkları, lateral boru hattı üzerine yerleştirilir ve sulama suyunu lateral boru hattından alıp basınç altında

püskürterek atmosfere verirler. Metal ya da plastik gövdeli olabilir. Püskürtme işlemi başlık üzerinde bulunan memeler aracılığıyla, su parçalanarak yapılır.

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

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

**Sabit (sprey) yağmurlama başlıkları :** Kendi eksenini etrafında dönmeyen yağmurlama başlıklarıdır. İşletme basınçları en çok 3 atm olmaktadır. Meme çapları 1,0 mm civarındadır. Kullanım alanı sınırlıdır ve genellikle, örtü altındaki bitki yetiştiriciliğinde ortamın bağıl nemini arttırmada, çok dar şeritler halinde çim alanların sulanmasında, ağaç altı mikro yağmurlama yöntemi ile meyve ağaçlarının sulanmasında ve bitki üzerinden makine ile taşınan lateral sistemlerinde kullanılır.

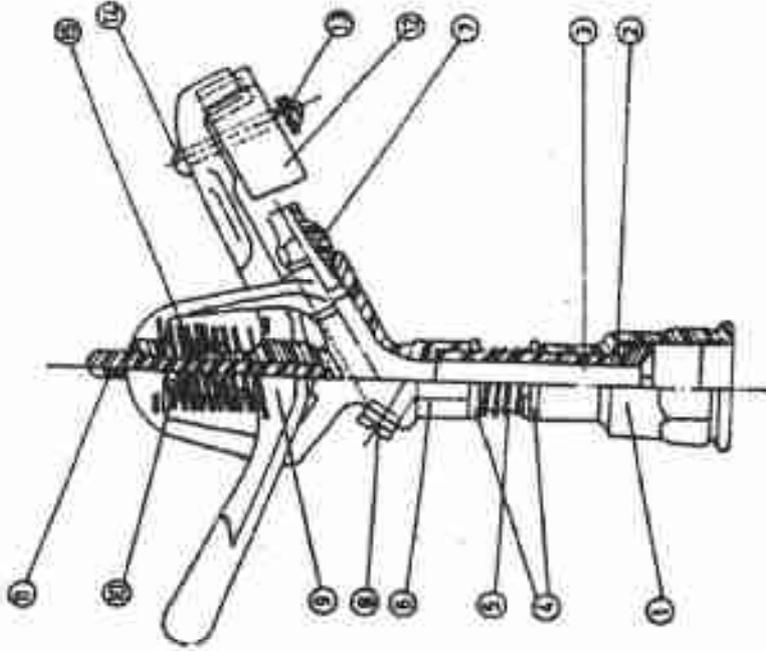
**Döner yağmurlama başlıkları :** Bu başlıklar, kendi eksenleri etrafında dönerler. Uygulamada çok yaygın olarak kullanılırlar. İşletme basınçları ve meme çapları geniş sınırlar arasında değişir. Tek ya da çift memeli olabilir.

Tipik bir döner yağmurlama başlığının kesiti Şekil 3.3'te verilmiş ve başlığı oluşturan unsurlar şeklin yanına yazılmıştır. Başlığın dönmesini, memeden (7) basınç altında çıkan su huzmesi ve çarpma kolu (9) sağlamaktadır. Başlık girişindeki birleştirme somunu (1), şekildeki gibi içten pasolu olabildiği gibi dıştan pasolu da olabilmektedir. Şekilde, kör tapa (8) yerine bir diğer meme takıldığında başlık çift memeli olabilmektedir.

**Yavaş dönen yağmurlama başlıkları :** Uygulamada çok yaygın kullanılan döner tipteki yağmurlama başlıklarıdır. Dönme hızı 0,8-1,2 d/d (devir/dakika) arasında değişir. Başlık dönme hızı, Şekil 3.3'te yatak yayı (5) ve çarpma kolu yayı (10) gerdirilerek ya da gevşetilerek ayarlanır. Hızlı dönenlere oranla, ıslatma çapları daha büyük olduğu için tercih edilirler.



Şekil 3.2. Yağmurlama başlıklarının sınıflandırılması



Parça no	Parça adı
1	Birleştirme somunu
2	Rondela
3	Birleştirici flanş
4	Plastik conta
5	Yataklık yayı
6	Gövde
7	Merme
8	Kör taşa
9	Çarpma kolu
10	Çarpma kolu yayı
11	Arm gövde pimi
12	Katma
13	Kopilya
14	Kama piri
15	Dönen milin contası (lanlık)

Şekil 3.3. Tek memeli döner tipte yağmurlama başlığının kesiti

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

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

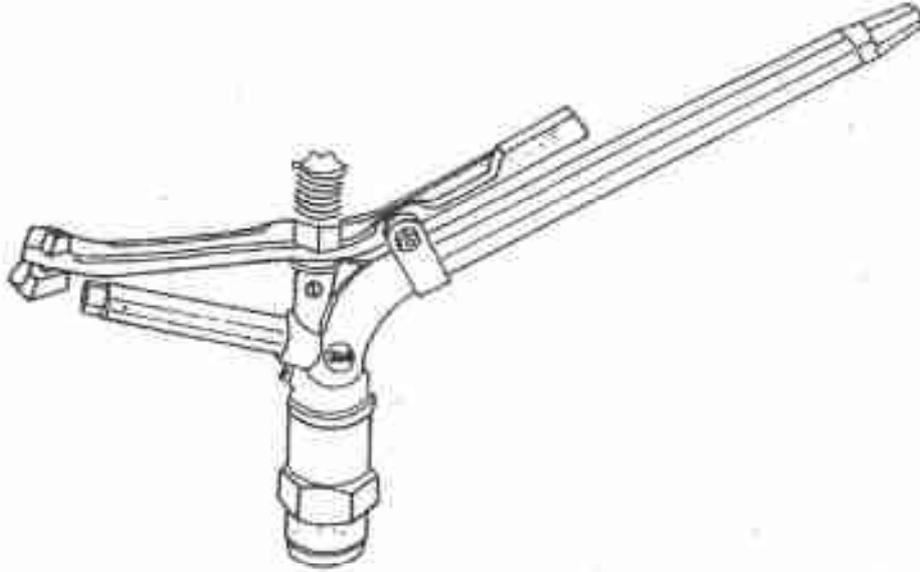
**Orta basınçlı yağmurlama başlıkları :** İşletme basınçları 2 - 4 atm arasındadır. Meme çapları, 3.5 - 6.0 mm, ıslatma çapları 20 - 36 m ve başlık aralıkları 12 - 24 m arasında değişir. Genellikle, tek ya da çift memeli döner tipte başlıklardır. Çoğunlukla, tarla bitkileri ve sebzelerin sulanmasında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

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

**Çok yüksek basınçlı yağmurlama başlıkları :** İşletme basınçları 6 atm'den yüksektir. Meme çapları, 12.0 - 32.0 mm, ıslatma çapları 60-180 m ve başlık aralıkları 30 - 120 m arasında değişir. Genellikle, çift memeli döner tipte başlıklardır. Çoğunlukla, küçük memenin çapı 6.0 - 12.0 mm olur. Bu tip başlıklara, uygulamada jet tipi yağmurlama başlığı adı da verilmektedir (Şekil 3.4). Büyük tarım işletmelerinde, tarla bitkilerinin sulanmasında kullanılır.

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

**Bahçe tipi yağmurlama başlıkları :** Su püskürtme açısı 10° - 12°'dir. Meyve ağaçlarının alttan, alanın tamamı ıslatılacak biçimde sulanmasında kullanılır. Genellikle, lateraller her iki ağaç sırasında bir ve yağmurlama başlıkları 4 ağacın ortasına gelecek biçimde döşenirler. Lateral boru hatları bir konumdan diğerine taşınırlar. Açının düşük olmasının nedeni, ağaç dalı ve yapraklarını ıslatmamak içindir. Ancak, meyve ağaçlarının sulanmasında, damla ve ağaç altı mikro yağmurlama yöntemleri yaygın olarak kullanılmaya başlandıktan sonra, bu tip



Şekil.3.4. Çok yüksek basınçlı (jet tipi) yağmurlama başlığı

bahçelerin alanın tamamı ıslatılacak biçimde bahçe tipi yağmurlama başlıkları ile sulanması çok ender uygulanmaktadır. Ağaç altı mikro yağmurlama yönteminde kullanılan küçük yağmurlama başlıklarında ise, su püskürtme açısı çok daha düşük, hatta ters açıda olabilmektedir.

### 3.6. YAĞMURLAMA SİSTEMLERİNİN TİPLERİ

Yağmurlama sulama sistemleri, hizmet götürülen alana, tesis ve işletme durumuna ve suyun bitkiye verilmiş biçimine göre sınıflandırılabilir (Şekil 3.5).

#### 3.6.1. Hizmet Götürülen Alana Göre Sistemler

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

**Çiftlik sistemleri** : Tarım işletmesinde uygulanan sulama yöntemi yağmurlama sulama yöntemi olduğunda kurulan sistemlerdir. Tüm yağmurlama sulama sistem unsurlarını ve etkin bir sulama yapabilmek için gerekli tüm işletme ve kontrol araçlarını kapsarlar. Yaygın olarak, küçük tarım işletmelerinde taşınabilir, orta ve büyük tarım işletmelerinde yarı sabit sistem biçiminde kurulur.

Büyük tarım işletmelerinde, laterallerin makina ile hareket ettirildiği taşınabilir sistemler de söz konusu olabilmektedir.

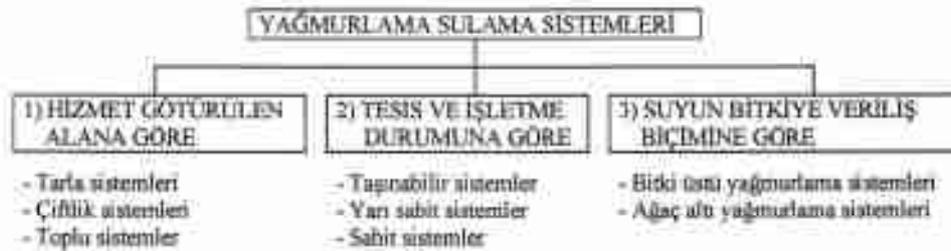
**Toplu sistemler** : Çok sayıda tarım işletmesini kapsayan büyük alanlara hizmet götüren sistemlerdir. Bu sistemlerde, tarım işletmelerinin su alabileceği hidrantlar yerleştirilir. Her tarım işletmesine bir çiflik sistemi kurulur. Alandaki hidrantlar uygun biçimde bir su dağıtım ağı ile su kaynağına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

### 3.6.2. Tesis ve İşletme Durumuna Göre Sistemler

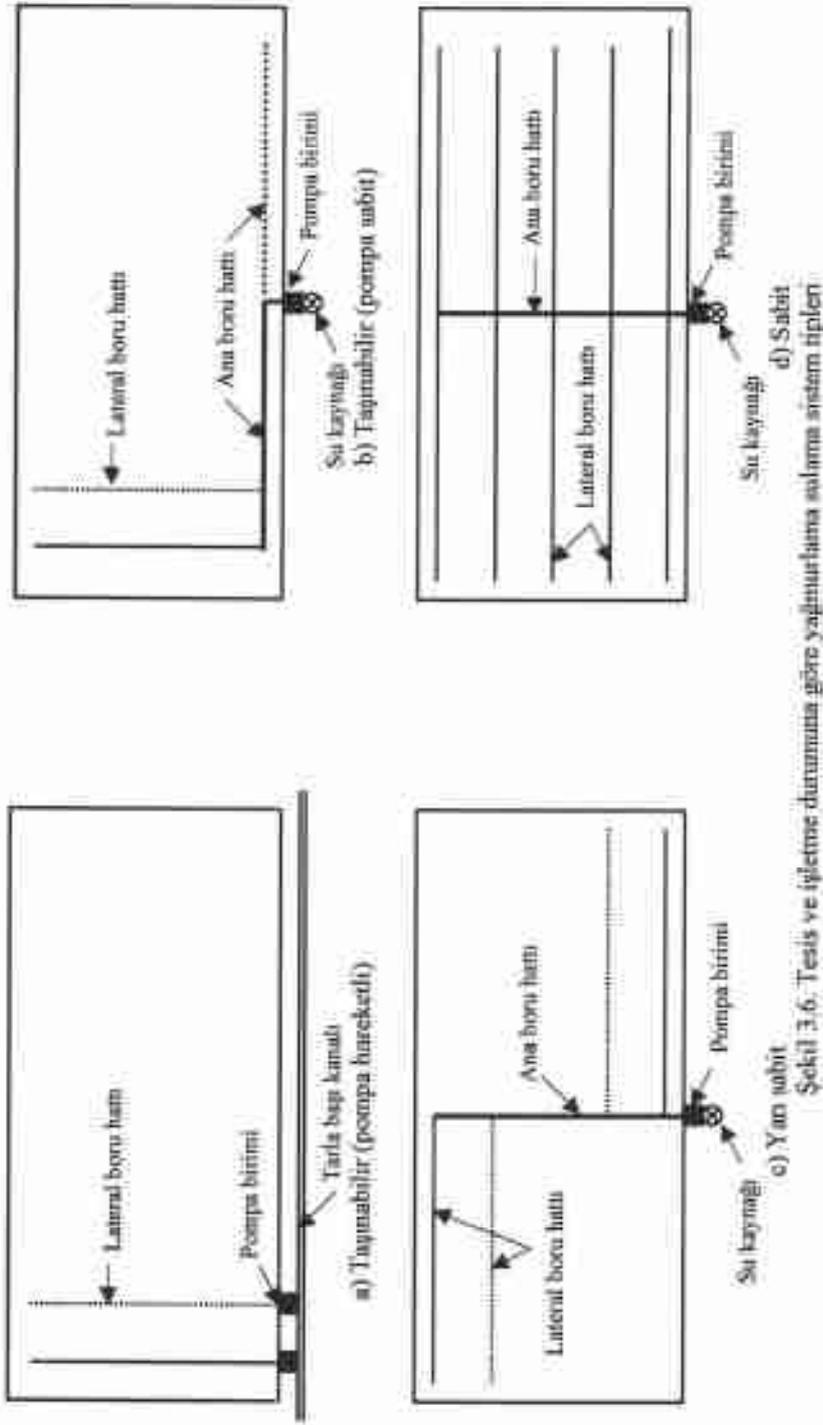
**Taşınabilir (portatif) sistemler** : Taşınabilir sistemler, bir konumda sulama tamamlandıktan sonra, hem ana boru hattı, hem de lateral boru hatlarının bir başka konuma taşındığı sistemlerdir. Pompa birimi taşınabildiği gibi (Şekil 3.6 a) sabit de olabilmektedir (Şekil 3.6 b). Bu sistemlerde ana ve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

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

**Sabit sistemler** : Sistemin tüm unsurları konum yönünden sabittir (Şekil 3.6 d). Ana ve lateral boru hatları genellikle gömüldür. Yağmurlama başlıkları, bir yükseltici boru ile toprak üzerine çıkarılır. Birim alan tesis masrafları çok yüksek, buna karşın sulama işçiliği masrafları oldukça düşüktür. Genel olarak, nispeten küçük tarım işletmelerinde, lateral boru hatlarının taşınmasının çok güç olduğu mısır, ayçiçeği gibi yüksek boylu bitkilerin ve park ve bahçelerde, çim



Şekil 3.5. Yağmurlama sistemlerinin tipleri



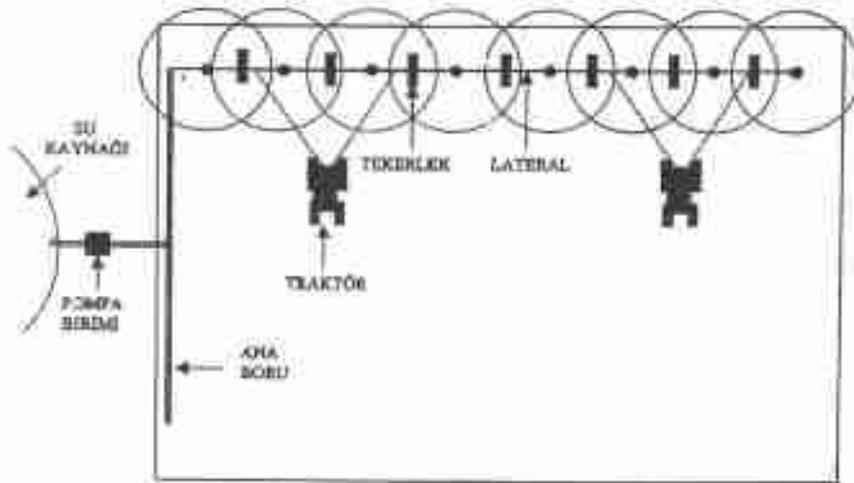
Şekil 3.6. Tesis ve işletme durumuna göre yağışlılama sulama sistem tipleri

alanların sulanmasında kullanılır. Bunun yanında, meyve ağaçlarının sulanmasında kullanılan ve küçük yağmurlama başlıklarını içeren ağaç altı mikro yağmurlama sulama sistemleri sabit sistem biçimindedir ve lateral boru hatları toprak yüzeyine serilir. Sulama mevsimi sonunda, yağmurlama başlıkları ile birlikte lateral boru hatları da sökülerek depoya kaldırılır.

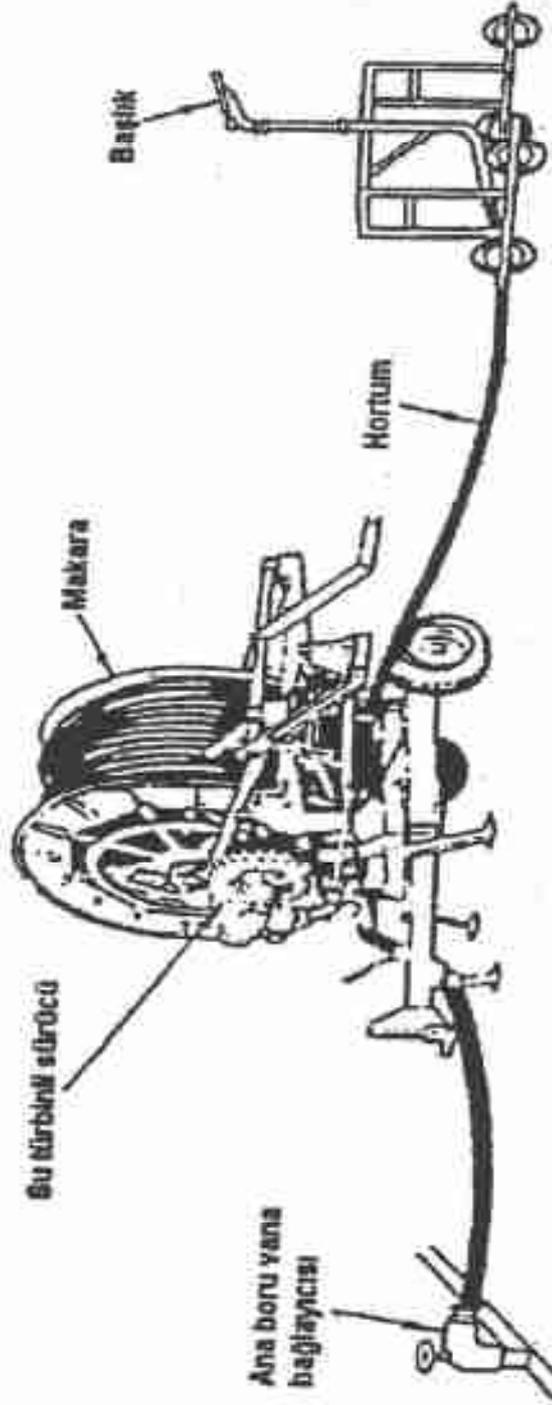
**Makina ile taşınan sistemler :** Taşınabilir ya da yarı sabit sistemlerde, büyük tarım işletmelerinde, lateral boru hatlarının makina ile taşınması da söz konusudur. Bu tip sistemler Şekil 3.7, 3.8, 3.9 ve 3.10'da görülmektedir.

Şekil 3.7'de görülen sistemde, lateral boru hattı, çapı 2 m ve aralığı 6 m kadar olan tekerlerin merkezine yerleştirilmektedir. Lateral boru hattı, bir konumda sulama tamamlandıktan sonra, traktör ile diğer konuma çekilmektedir. Lateral boru hattı uzunluğu 400 m kadar alınabilmektedir. Ana boru sabit ya da taşınabilir olabilmektedir. Ana boru taşınabilir olduğunda, boru hattının altına belirli aralıklarla kızak ya da teker yerleştirilmekte ve bir ucundan traktörle çekilerek konumu değiştirilmektedir. Bu sistem, genellikle, boyu fazla yüksek olmayan bitkilerin sulanmasında kullanılmaktadır.

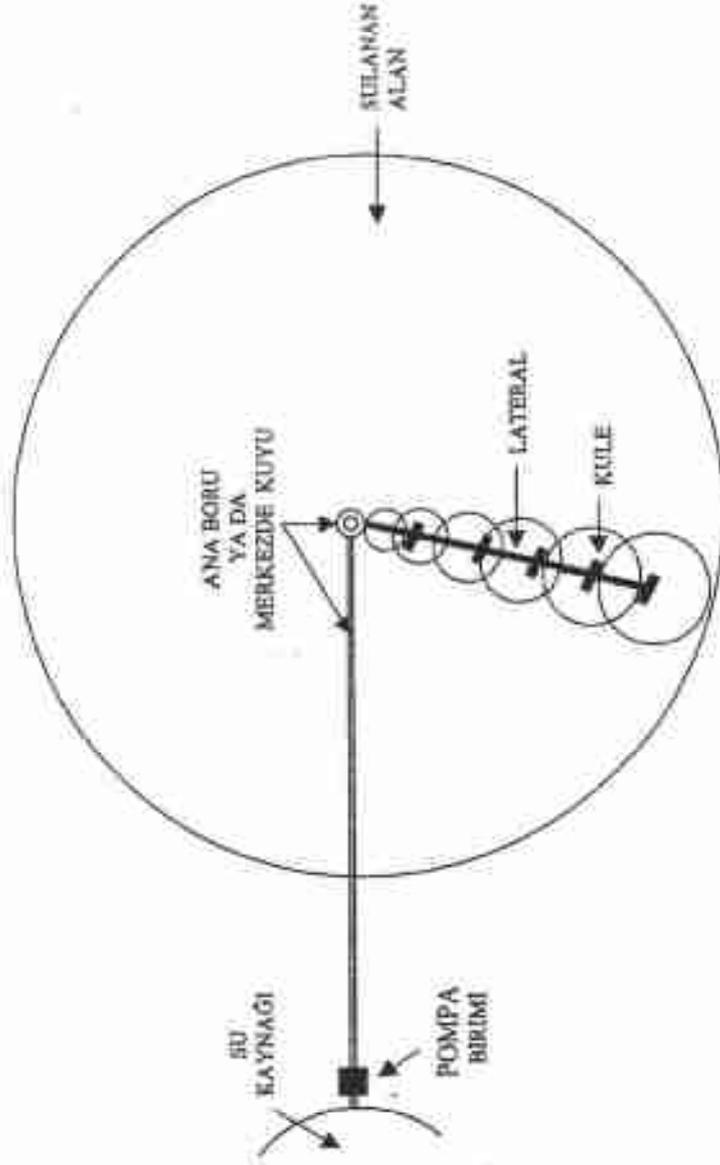
Şekil 3.8'de görülen sistemde, bir adet çok yüksek basınçlı (jet tipi) yağmurlama başlığı kullanılmaktadır. Başlık, iki adet kızak ya da teker üzerine yerleştirilmektedir. Lateral boru hattı, tarla başında konumlandırılan ve makina üzerindeki bir kasnağa sarılan yumuşak PE borudan oluşturulmakta ve



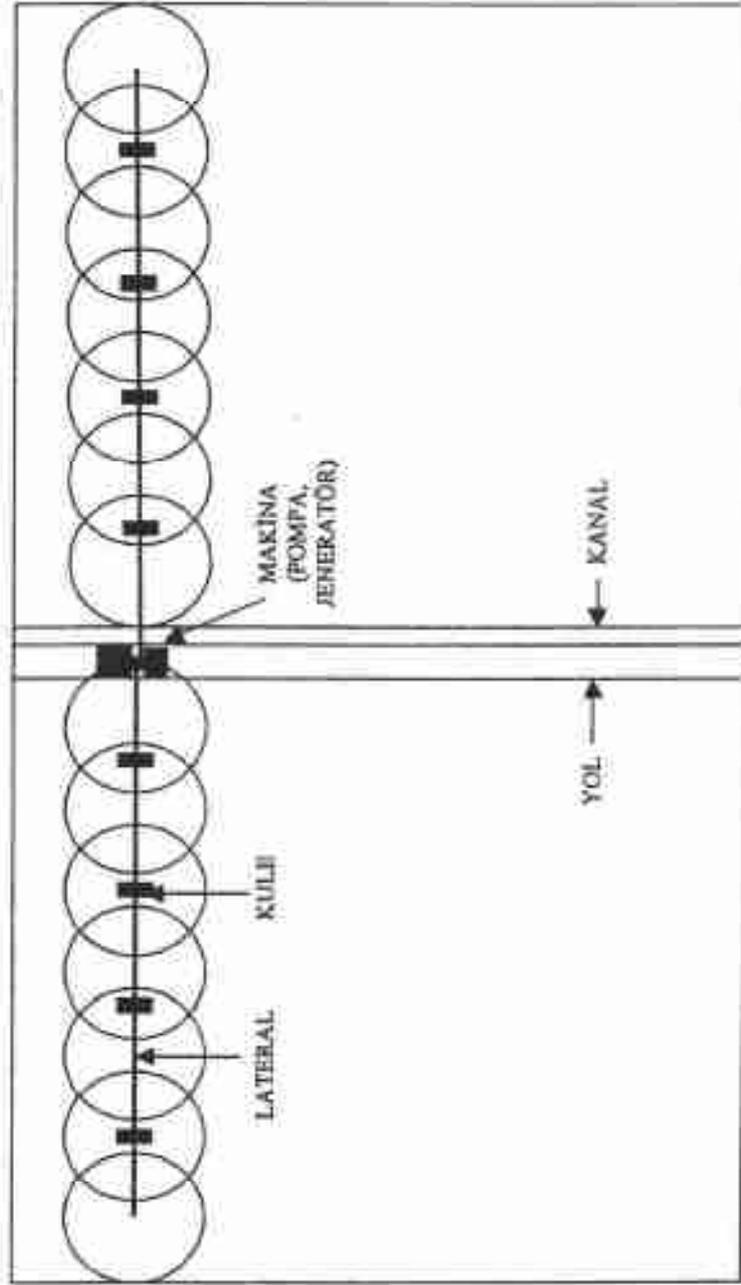
Şekil 3.7. Tekerlekli yağmurlama sulama laterali



Çizelge 3.8. Kamağa sarılan sürekli hareketli yağmurlama sulama sistemi.



Şekil 3.9. Dairesel hareketli (center-pivot) yağmurlama sistemi (lateral)



Şekil 3.10. Maksimum sürekli hareket ettiği doğrultudaki sulama laterali

yağmurlama başlığı bu boru hattının sonuna yerleştirilmektedir. Sulama suyu, bir tarla başı kanalından ya da tarla başına gömülü olacak biçimde döşenmiş ana boru hattından alınabilmektedir. Su, tarla başı kanalından alındığında, pompa birimi makina üzerine kasnağın yanına yerleştirilmekte, ana boru hattından alındığında ise, lateralın girişi bir PE boru ile ana boru hattı üzerindeki vanaya bağlanmaktadır.

Sulama yapılacağıında, kasnak açılarak, yağmurlama başlığı parsel sonundan itibaren, ıslatma çapının % 60 - 65'i kadar mesafeye yerleştirilmekte ve yüksek basınçta su verildikten hemen sonra, makine aracılığıyla kasnağın çok düşük hızda dönmesi sağlanmaktadır. Kasnağın dönme hızı, istenen yağmurlama hızını sağlayacak biçimde, makina üzerindeki bir düzenle ayarlanmaktadır. Bir konumda sulama tamamlandıktan sonra, makina bir diğer konuma alınmaktadır. Lateral boru uzunluğu 100 - 400 m kadar olabilmekte, bir defada, 60 - 100 m genişlikte alan sulanabilmektedir. Bu tip sistemler, özellikle, ekim nöbetinde ayçiçeği ve mısır gibi yüksek boylu bitkiler bulunan nispeten büyük tarım işletmelerinde kullanılmaktadır.

Şekil 3.9'da görülen sistemde, bir adet lateral boru hattı kullanılmaktadır. Lateral boru hattı, sulanan arazinin ortası merkez olacak biçimde, dairesel olarak hareket ettirilmektedir (center-pivot sistemler). Ya arazinin ortasında bir kuyu bulunmakta ve lateral boru hattına su bu kuyudan doğrudan alınmakta ya da ana boru hattı arazi ortasına kadar gömülü olarak getirilmektedir. Lateral boru hattı, belirli aralığa sahip kulelere, kuleler ise teker üzerine yerleştirilmektedir. Her kulede, tekerleri istenen hızda hareket ettiren (hareket hızı merkezden çepere doğru artacak biçimde) küçük elektrik motorları bulunmaktadır. Elektrik motorlarına enerji, genellikle, merkezde bulunan bir jeneratör ile sağlanmaktadır. Lateral boru hattı uzunluğu çoğunlukla 400 m'dir. Bazen, 800 m kadar olabilmektedir. Lateraller 6"-10" çapında galvaniz çelik ya da alüminyum borulardan oluşturulmaktadır. Lateraller üzerinde aralıkları ve meme çapları merkezden çepere doğru gidildikçe artan döner ya da sprey tipte yağmurlama başlıkları kullanılmaktadır. Böylece, lateral boru hattı boyunca kabul edilebilir düzeyde sabit yağmurlama hızı elde edilmektedir. Lateralin dönme hızı, öngörülen yağmurlama hızını sağlayacak biçimde ayarlanmaktadır. Bu tip sistemlerde daire biçiminde bir alan sulanmaktadır. Arazinin köşeleri, ya boş bırakılmakta ya da köşelerin de sulanabilmesi için değişik önlemler alınmaktadır. Bu amaçla, köşelere gelindiğinde açılan teleskobik boru hatları kullanıldığı gibi, köşelere gelindiğinde çalışmaya başlayan yüksek basınçlı ve açılı yağmurlama başlıkları da kullanılmaktadır. Bu tip sistemlerde, yağmurlama hızı genellikle yüksek olmaktadır. Bu nedenle, su alma hızı nispeten yüksek, topografyası düz, çok büyük alanların sulanmasında kullanılmaktadır.

Şekil 3.10'da görülen sistem, yapı olarak, dairesel hareketli sisteme çok benzer. Yalnız, lateral boru hattı doğrusal olarak hareket ettirilir. Çok yaygın olarak, sulanacak arazinin ortasına bir tarla başı kanalı ile makinanın hareket

edeceği yol yapılmaktadır. Makina üzerinde pompa birimi ve jeneratör bulunmaktadır. Makina, her birinin uzunluğu 400 m kadar olan karşılıklı iki laterali hareket ettirmektedir. Burada da, lateral boru hatları kulelere ve kuleler tekerler üzerine yerleştirilmektedir. Her kulede, küçük kapasiteli elektrik motorları bulunmaktadır. Lateral boru hatlarına sabit aralık ve meme çapında döner ya da sprey tipte yağmurlama başlıkları yerleştirilmektedir. Makina, istenen yağmurlama hızını sağlayacak biçimde, sürekli olarak ve çok düşük hızda ilerlemektedir. Kulelerdeki elektrik motorları da tekerleri aynı hızda hareket ettirmektedir. Bu tip sistemlerde, sulanan arazinin düz olması gerekir. Ayrıca, sulama, öngörülen sulama aralığından 4-5 gün kadar erken tamamlanmalıdır. Böylece, makine arazi sonuna ulaştıktan sonra, tekrar arazinin başına taşınması için yeterli kadar kuru bir toprak yüzeyi elde edilir.

Özellikle, Şekil 3.9 ve 3.10'da verilen ve makina ile dairesel ya da doğrusal hareket ettirilen yağmurlama sulama sistemleri, son derece pahalı sistemlerdir. Bu sistemlerin ekonomik olabilmesi için, sulanacak arazinin genellikle 300 da'm üzerinde olması gerekir.

### 3.6.3. Suyun Bitkiye Veriliş Biçimine Göre Sistemler

*Bitki üstü yağmurlama sistemleri* : Tarla bitkileri ve sebzelerin sulanmasında, su bitki üzerinden verilir. Başlıklar, suyun serbestçe püskürtülmesi ve bitki tarafından engellenmemesi için yükseltici borular üzerine, bitki boyuna göre yeterli yükseklikte olacak biçimde yerleştirilir. Su püskürtme açısı 30°-33° olan tarla tipi yağmurlama başlıkları kullanılır. Bu sistemler, yaygın olarak, taşınabilir ya da yarı sabit sistem biçimindedir.

*Ağaç altı yağmurlama sistemleri* : Meyve bahçelerinin ağaç altından sulanmasında kullanılır. Alan tamamen ya da kısmen ıslatılabilir. Alan tamamen ıslatıldığında, genellikle, taşınabilir ya da portatif yağmurlama sulama sistemi kurulur. Lateral boru hatları, her iki ağaç sırasına ve yağmurlama başlıkları, dört ağacın ortasına gelecek biçimde yerleştirilir. Düşük ya da orta basınçlı bahçe tipi yağmurlama başlıkları kullanılır. Alan kısmen ıslatıldığında ise, sabit sistem kurulur. Her ağaç sırasına bir lateral boru hattı ve her ağacın altına düşük basınçlı bir küçük yağmurlama başlığı yerleştirilir. Ağaç altında belirli bir alan ıslatılacak biçimde sulama yapılır. Ağaçlar arasında ıslatılmayan kuru alan kalır. Bu sistemlere, ağaç altı mikro yağmurlama sulama sistemleri denmektedir.

## 3.7. YAĞMURLAMA SİSTEMLERİNDE SU DAĞILIMI

Yağmurlama sulama sistemlerinin ilk yatırım masrafları yüksek olduğu için, yüzey sulama yöntemlerine oranla daha iyi bir sulama randımanının elde edilmesi bir bakıma zorunludur. Bu da, sulama suyunun alan üzerinde eş olacak biçimde dağıtımı ile sağlanır. Ancak, sulanan alan üzerinde bütünüyle eş bir su dağılımı sağlamak olası değildir. Bunun nedeni, yağmurlama başlıklarının,

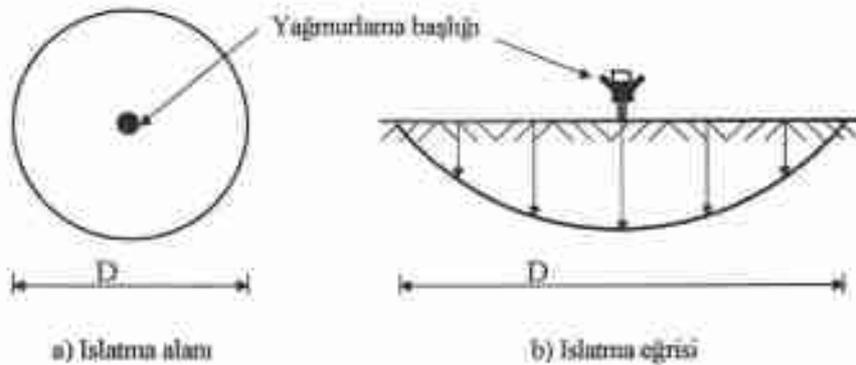
kendine özgü bir ıslatma desenine sahip olması, boru hatlarında oluşan yük kayıpları ve eğimden kaynaklanan yükseklik farkları nedeniyle, başlık basınçlarının, buna bağlı olarak ta başlık debilerinin değişmesidir.

Yağmurlama başlıkları, optimum işletme basıncı sınırlarında çalıştırılarak ve uygun aralıklarla yerleştirilerek yüksek su uygulama randımanı elde edilmeye çalışılır. Uygun olmayan işletme basıncı ve başlık tertip aralıklarında sulama randımanı önemli düzeyde düşebilmektedir.

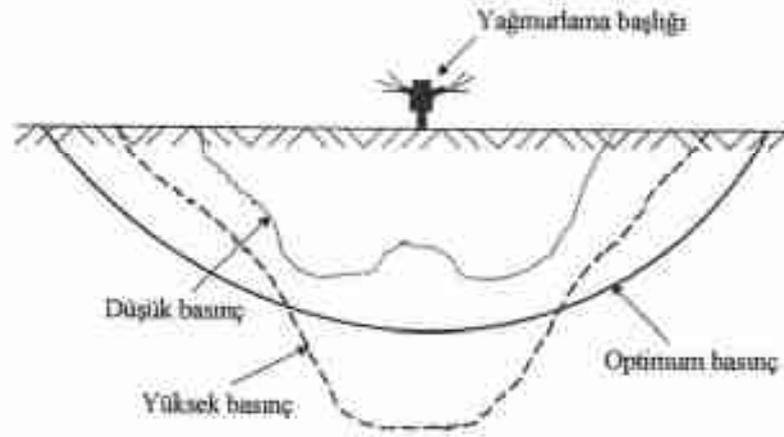
Yağmurlama başlıkları, genel olarak, daire biçiminde bir alanı ıslatırlar. Buna ıslatma alanı denir (Şekil 3.11 a). ıslatma alanının kesitine ise su dağılım eğrisi adı verilmektedir (Şekil 3.11 b). Her yağmurlama başlığı, meme çapı ve işletme basıncının işlevi olan bir su dağılım eğrisine sahiptir. Bu eğri genellikle, yağmurlama başlığının bulunduğu noktadan ıslatma alanının çevresine doğru gittikçe azalan bir su dağılımı gösterir.

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 basınçlarında ise su dağılımı eğrisinin şekli bozulur ve uygun bir su dağılımı elde edilemez. Bunun sonucunda, su uygulama randımanı düşer (Şekil 3.12).

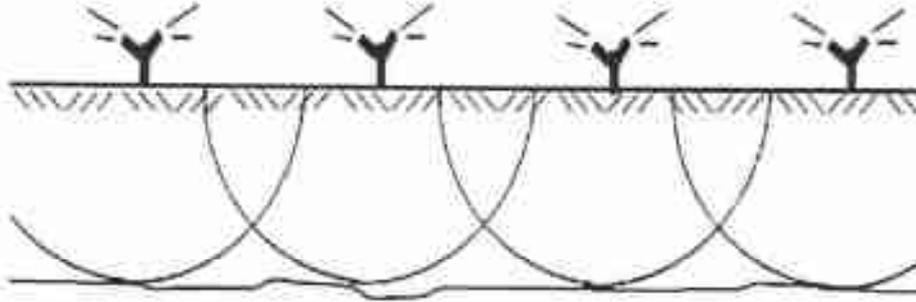
Optimum basınç yükü sınırları içerisinde çalıştırılan yağmurlama başlıkları, ıslatma alanları birbirini belirli oranda örtecek biçimde yerleştirilerek su dağılım desenleri elde edilir. Böylece, alanın her tarafında, kabul edilebilir düzeyde eş bir su dağılımı sağlanmaya çalışılır (Şekil 3.13).



Şekil 3.11. Yağmurlama başlıklarında ıslatma alanı ve su dağılım eğrisi



Şekil 3.12. Yağmurlama başlıklarında farklı işletme basınçlarındaki su dağılım eğrileri



Şekil 3.13. Optimum işletme basınç sınırlarında uygun örtme ile ıslatılan toprak derinliği

Bir yağmurlama başlığının belirli meme çapı ve işletme basıncı için yeterli düzeyde eş su dağılımı veren belirli tertip aralıkları vardır. Yağmurlama başlığını üreten her 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, yağmurlama başlıkları, farklı işletme basıncı ve meme çaplarında test edilerek hazırlanır. Teknik çizelgelerde ayrıca, farklı meme çapı ve işletme basınçlarında başlık debileri, ıslatma çapları ve uygun olan tertip aralıkları için yağmurlama hızları bulunur.

### 3.8. BİREYSEL YAĞMURLAMA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI

Bireysel yağmurlama sulama sistemleri, bir ya da birkaç tarım işletmesine hizmet götüren, küçük ölçekli, tarla ya da çiftlik sistemleridir.

Bireysel yağmurlama sulama sistemlerinin tasarımında temel ilke, sulanacak alanın biçimi ve topografik yapısı, toprak özellikleri, tarımı yapacak bitkiler, su kaynağı özellikleri, iklim koşulları, ekonomik koşullar ve çiftçi istekleri göz önüne alınarak, en uygun sistem tertibinin elde edilmesi, sistemi oluşturan unsurların seçilmesi ve boyutlandırılması, sistemin kurulması ve işletilmesi esaslarının belirlenmesidir.

Sistem unsurlarının seçilmesi ve boyutlandırılmasında, sırasıyla, uygun yağmurlama başlığının seçilmesi, lateral ve ana boru hattı çaplarının bulunması ve uygun pompa biriminin seçilmesi işlemleri yapılır.

#### 3.8.1. Sistemin Tertiplenmesi

Bireysel yağmurlama sulama sistemlerinin tertiplenmesinde amaç, boru hatlarının konumlarının belirlenmesidir. Bu işlem, aşağıda verilen ilkeler göz önüne alınarak yapılır.

- 1) Lateral boru hatları, tesviye eğrilerine paralel (eğimsiz) ya da bayır aşağı eğimde döşenmelidir. Zorunlu kalmadıkça, bayır yukarı eğimde döşemekten kaçınılmalıdır.
- 2) Laterallerin el ile taşınacağı koşullarda, çok uzun laterallerin kullanılmasından kaçınılmalıdır. Lateral boyunun kısa olması durumunda, lateraller küçük çaplı borularla oluşturulabilir ve taşınmaları daha kolay olur. Uygulamada, zorunlu kalmadıkça, lateral uzunluğunun 250 m'den fazla alınması önerilmemektedir.
- 3) Ana boru hattı, laterallere dik olacak ve olanaklar ölçüsünde laterallere iki yönlü su verecek biçimde yerleştirilmelidir. Ancak, bu işlemi yapabilmek için sulanacak tarla parselinin en azından bir yönde eğimsiz sayılabilecek kadar düz olması gerekir.
- 4) Laterallerin ana hat üzerindeki hareketi, en az iş gücüne gerek gösterecek biçimde düzenlenmelidir.
- 5) Lateral boru hatlarının taşındığı portatif ya da yarı sabit sistemlerde, işletme kolaylığı açısından, yağmurlama başlıkları dikdörtgen ya da kare tertip biçiminde olmalıdır. Sabit sistemlerde ise, üçgen tertip biçimi tercih edilmelidir.
- 6) Sistemin tertibi, sistem maliyetini en aza düşürecek biçimde yapılmalıdır.

### 3.8.2. Ön Projelene Faktörleri

Bireysel yağmurlama sulama sistemlerinin tasarımında, sistem unsurlarının seçilmesi ve boyutlandırılmasına geçmeden önce, gerekli verileri sağlamak amacıyla, kaynak araştırması ve sistemin ön tertiplenmesi yapılır, her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı ve sulama aralığı hesaplanır, sulamanın tamamlanacağı gün sayısına karar verilir. Kaynak araştırması ve sistem tertibi üzerinde daha önce durulduğu için, burada, her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı, sulama aralığı ve sulamanın tamamlanacağı gün sayısı verilecektir.

*Her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı ve sulama aralığı* : Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, sulama ile ıslatılacak toprak derinliğindeki kullanılabilir su tutma kapasitesi yüzde cinsinden verildiğinde;

$$d_n = \frac{(TK - SN)R_p}{100} \gamma_s D \quad (3.1)$$

ve birim (1 m) toprak derinliği için derinlik (mm) cinsinden verildiğinde ise;

$$d_s = d_n DR_p \quad (3.2)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, net sulama suyu miktarının su uygulama randımanı ile düzeltilmesi sonucunda bulunur.

$$d_t = \frac{d_n}{E_s} \quad (3.3)$$

Sulama sistemlerinin tasarımında, büyüme mevsimi boyunca, en yüksek günlük ortalama bitki su tüketimi dikkate alınarak proje sulama aralığı hesaplanır.

$$SA = \frac{d_s}{ET} \quad (3.4)$$

Bu eşitliklerde;

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

$TK$  = Tarla kapasitesi, %,

$SN$  = Solma noktası, %,

$R_p$  = Kullanılabilir su tutma kapasitesinin tüketilmesine izin verilen kısmı (yağmurlama sulama yöntemi için, tasarım aşamasında, 0.50 alınabilir),

$\gamma_s$  = Toprağın hacim ağırlığı, g/cm<sup>3</sup>,

$D$  = Sulama ile ıslatılacak toprak derinliği (genellikle etkili bitki kök derinliğine eşdeğerdir), mm ya da m,

$d_s$  = Toprağın kullanılabilir su tutma kapasitesi, mm/m,

- $d_t$  = Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm,  
 $E_a$  = Su uygulama randımanı (tasarımı iyi yapılan yağmurlama sulama sistemleri için, su uygulama randımanları Çizelge 3.1'de verilmiştir), %  
 $S_d$  = Sulama aralığı, gün ve  
 $ET$  = Bitki su tüketimi, mm/gün'dür.

**Yağmurlama hızı ve sulama süresi:** Yağmurlama sulamada, yağmurlama hızı;

$$I_y = \frac{1000q}{S_1 S_2} \quad (3.5)$$

ve sulama süresi;

$$T_d = \frac{d_t}{I_y} \quad (3.6)$$

Çizelge 3.1. Yağmurlama Sulama Yönteminde Su Uygulama Randımanları,  $E_a$  (%)

Net sulama suyu miktarı, $d_t$ (mm)	Bitki su tüketimi, ET (mm/gün)		
	5.0'ten az	5.0 - 7.5	7.5'tan 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	66	62	60
100	68	65	62
150	70	68	65

eşitlikleri ile hesaplanır. Bu eşitliklerde;

$I_r$  = Yağmurlama hızı, mm/h,

$q$  = Başlık debisi, m<sup>3</sup>/h

$S_l$  = Lateral aralığı, m,

$S_r$  = Başlık aralığı, m,

$T_a$  = Sulama süresi, h ve

$d_r$  = Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm'dir.

Yağmurlama sulamada, yağmurlama hızı, kesinlikle toprağın su alma hızından daha yüksek olmamalıdır ( $I_r \leq I$ ). Aksi durumda, toprak yüzeyinde suyun göllenmesi, yüzey akışı ve toprak erozyonu sorunu ile karşılaşılır.

Yağmurlama sulamada, başlık tertip aralıkları, ( $S_l$  ve  $S_r$ ) terimi ile ifade edilir. Lateral aralığı ( $S_l$ ), lateral üzerindeki başlık aralığına ( $S_r$ ) eşit ya da büyük olabilir ( $S_l \geq S_r$ ). Başlık aralığı, lateral aralığından büyük olmamalıdır. Lateral aralığı, başlık ıslatma çapının ( $D$ ) en çok % 65'i kadar olmalıdır ( $S_l \leq 0,65 D$ ). Aksi durumda, sulanan alan üzerinde genellikle eş bir su dağılımı sağlanamaz.

Diğer yandan, (3.6) nolu eşitlikle hesaplanan sulama süresi ( $T_a$ ), lateralin bir komanda çalışacağı süreyi vermektedir. Günlük sulama süresi ( $T_p$ ), lateralin gün içerisindeki durak sayısına bağlıdır. Lateral günde bir durakta çalışırsa, günlük sulama süresi, lateralin çalışacağı süreye ( $T_g = T_a$ ), iki durakta çalışırsa, lateralin çalışacağı sürenin iki katına eşdeğer olur ( $T_g = 2T_a$ ).

**Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı** : Sulama aralığı boyunca, sulamanın tamamlanacağı gün sayısı ( $F$ );

$$F \leq SA$$

olacak biçimde seçilir. Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı, sulama aralığına eşit alındığında, sistem debisi (su kaynağından alınacak suyun debisi) ve dolayısıyla sistem maliyeti en düşük düzeyde olur. Ancak, bu koşulda her gün sulama yapmak gerekir ve bu durum çiftçinin sulamaya ayıracağı zaman açısından sorun olabilir. Ayrıca, ekim nöbetinde yonca vb. gibi yıl içerisinde çok sayıda biçim yapılan yem bitkileri varsa, biçim için yeteri kadar kuru toprak yüzeyi oluşturmak ve biçilen otun arazi yüzeyinde yeteri kadar kurumasını sağlamak için zaman ayırmak ve bu sürede sulama yapmamak gerekir. Bu durumda, sulamanın tamamlanacağı gün sayısı, sulama aralığından, sözü edilen süre kadar daha düşük alınmalıdır. Diğer yandan, sulamanın tamamlanacağı gün sayısını, su kaynağının debisi de sınırlar. Bu koşulda, sulamanın tamamlanacağı gün sayısı en az;

$$F = \frac{Ad_r}{3,6QT_p} \quad (3.7)$$

eşitliğiyle bulunan değer kadar alınabilir. Bu eşitlikte;

$F$  = Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı (kesirli çıktığında bir üst tam sayıya yuvarlanır), gün.

$A$  = Sulanacak alan, da.

$d_t$  = Uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm,

$Q$  = Su kaynağının debisi, L/s ve

$T_x$  = Günlük sulama süresi, h/gün'dür.

Tasarımcı, sulamanın tamamlanacağı gün sayısına karar verirken, tüm bu seçenekleri kullanıcıya (çiftçiye) açıklamalı ve bu değeri kullanıcı ile birlikte saptamalıdır.

### 3.8.3. Uygun Yağmurlama Başlığının Seçilmesi ve Sistem Tertibi

Sulanacak alanın koşullarına uygun yağmurlama başlığının seçilmesinde, toprağın su alma hızı, bitki cinsi, rüzgar koşulları, basınç sınırlamaları, çiftçi istekleri vb faktörler göz önüne alınır. Bu faktörlere göre, koşulları sağlayan birden fazla çözüm bulunabilir. Burada temel ilke, seçeneysel çözümler içerisinde, en az sistem debisine sahip, olanaklar ölçüsünde, düşük işletme basıncı, geniş tertip aralıkları, düşük lateral sayısı ve düşük lateral debisini gerektiren yağmurlama başlığını seçmeye çalışmaktır.

Uygun yağmurlama başlığının seçilmesinde, başlık üreten kuruluşların teknik çizelgelerinden yararlanılır. Orta basınçlı yağmurlama başlıkları üreten bir kuruluşa ait böyle bir teknik çizelge, örnek olmak üzere, Çizelge 3.2'de verilmiştir. Çizelgeden izleneceği gibi, üretici kuruluşlar, ürettikleri değişik özellikteki her bir yağmurlama başlığının farklı meme çapları için, uygun işletme basınçları, bu basınçlardaki başlık debileri, ıslatma çapları, kabul edilebilir düzeyde eş su dağılımı sağlayan başlık tertip aralıkları ve yağmurlama hızları gibi teknik özellikleri verirler.

Uygun yağmurlama başlığının seçilmesi ve sistem tertibine ilişkin yapılacak işlemler, bir sayısal örnekle aşağıda açıklanmıştır.

#### Örnek:

Planlama haritası Şekil 3.14'te verilen 91 da (boyutları 260 x 350 m) büyüklüğündeki tarım işletmesine yarı sabit (ana boru hattı gömülü, lateral boru hatları bir konumdan diğerine taşınan) yağmurlama sulama sistemi kurulacaktır. Sulama suyu, planlama haritası üzerinde gösterilen ve tarım işletmesinde bulunan derin kuyudan alınacaktır. Kaynak araştırması sonucunda, aşağıdaki bilgiler elde edilmiştir. Bu bilgilere göre, proje alanı için uygun yağmurlama başlığının seçilmesi ve sistem tertibinin yapılması istenmektedir.

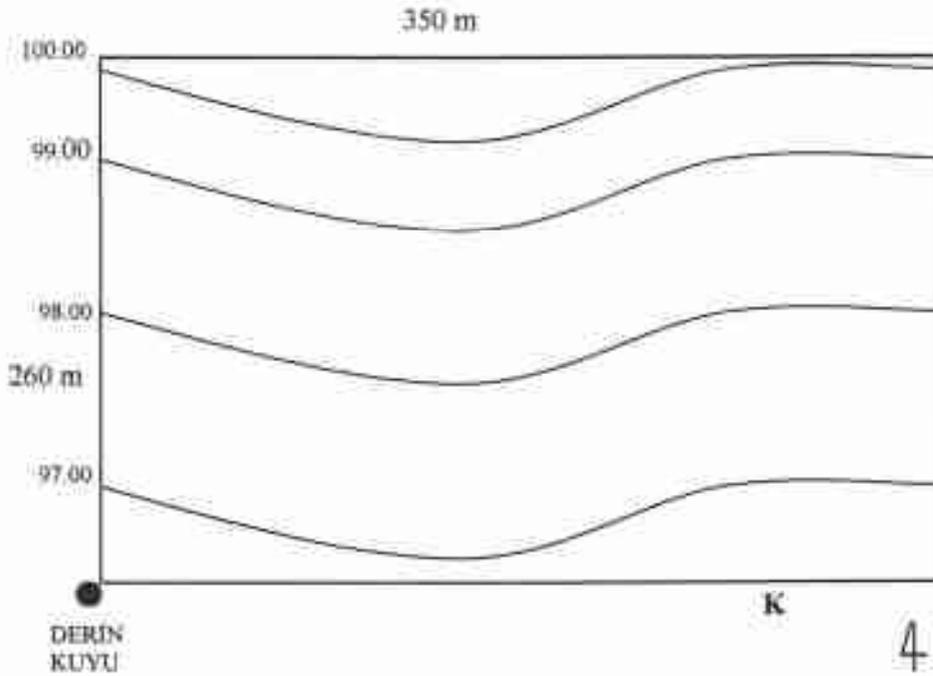
- Proje alanında tarımı yapılacak bitkiler buğday, şeker pancarı, mısır ve ayçiçeğidir. Bu bitkilerin etkili kök derinlikleri ve ekim – hasat arasında geçen

Çizelge 3.2. Yağmurlama Başlığı Teknik Özelliklerine İlişkin Örnek Çizelge

Meme çapı (mm)	İşletme basıncı (atm)	Başlık debisi (m <sup>3</sup> /h)	Islatma çapı (m)	Uygun tertip aralıklarında (S <sub>1</sub> xS <sub>2</sub> , m) yağmurlama hızı (mm/h)				
				12x12	18x12	18x18	24x18	24x24
3.5	2.0	0.67	23.0	4.7	-	-	-	-
	2.5	0.74	23.0	5.1	-	-	-	-
	3.0	0.82	24.0	5.7	3.8	-	-	-
4.0	2.0	0.81	25.0	5.6	-	-	-	-
	2.5	0.91	27.0	6.3	4.2	-	-	-
	3.0	1.00	28.0	6.9	4.6	3.1	-	-
4.5	2.0	1.02	26.0	7.1	-	-	-	-
	2.5	1.14	27.0	7.9	5.3	3.5	-	-
	3.0	1.22	27.0	8.5	5.6	3.8	-	-
	3.5	1.32	28.0	9.2	6.1	4.1	-	-
5.0	2.5	1.44	30.0	10.0	6.7	4.4	-	-
	3.0	1.53	30.0	10.6	7.1	4.7	-	-
	3.5	1.61	31.5	11.2	7.5	5.0	-	-
	4.0	1.71	32.0	11.9	7.9	5.3	-	-
5.5	2.5	1.61	30.0	11.2	7.5	5.0	-	-
	3.0	1.76	31.0	12.2	8.1	5.4	-	-
	3.5	1.90	32.0	13.2	8.8	5.9	-	-
	4.0	2.04	32.5	14.2	9.4	6.3	-	-
6.0	2.5	1.88	31.0	13.1	8.7	5.8	-	-
	3.0	2.05	32.0	14.2	9.5	6.3	-	-
	3.5	2.19	32.5	15.2	10.1	6.8	5.1	-
	4.0	2.33	33.0	16.2	10.8	7.2	5.4	-
4.0/4.0	2.5	1.75	29.0	12.2	8.1	5.4	-	-
	3.0	1.92	29.5	13.3	8.9	5.9	-	-
	3.5	2.07	30.5	14.4	9.6	6.4	-	-
4.0/5.0	2.5	2.40	31.0	16.7	11.1	7.4	-	-
	3.0	2.65	31.5	18.4	12.3	8.2	6.1	-
	3.5	2.86	32.5	19.9	13.2	8.8	6.6	-
	4.0	3.03	33.5	21.0	14.0	9.3	7.0	5.3
4.0/6.0	2.5	2.93	33.0	20.6	13.6	9.0	6.8	-
	3.0	3.22	33.5	22.4	14.9	9.9	7.4	-
	3.5	3.51	34.5	24.4	16.3	10.8	8.1	6.1
	4.0	3.75	35.0	26.0	17.4	11.6	8.7	6.5
4.5/4.8	2.5	2.23	28.0	15.5	10.3	6.9	-	-
	3.0	2.45	30.0	17.0	11.3	7.6	-	-
	3.5	2.62	30.0	18.2	12.1	8.1	-	-

Çizelge 3.2. Yağmurlama Başlığı Teknik Özelliklerine İlişkin Örnek Çizelge (Devam)

Meme çapı (mm)	İşletme basıncı (atm)	Başlık debisi (m <sup>3</sup> /h)	İslatma çapı (m)	Uygun tertip aralıklarında (S <sub>1</sub> xS <sub>2</sub> , m) yağmurlama hızı (mm/h)				
				12x12	18x12	18x18	24x18	24x24
4.5/5.5	2.5	2.67	30.0	18.5	12.4	8.2	-	-
	3.0	2.93	31.0	20.3	13.6	9.0	-	-
	3.5	3.12	32.0	21.7	14.4	9.6	7.2	-
5.0/5.5	2.5	3.02	30.0	21.0	14.0	9.3	-	-
	3.0	3.29	31.0	22.8	15.2	10.2	-	-
	3.5	3.47	32.0	24.1	16.1	10.7	8.0	-
	4.0	3.67	33.0	25.5	17.0	11.3	8.5	-
5.5/5.5	2.5	3.16	30.0	21.9	14.6	9.8	-	-
	3.0	3.43	32.0	23.9	15.9	10.6	7.9	-
	3.5	3.75	33.0	26.02	17.4	11.6	8.7	-
	4.0	4.02	34.0	7.9	18.6	12.4	9.3	7.0



Şekil 3.14. Örnek olarak ele alınan tarım işletmesinin planlama haritası

büyüme mevsimleri Çizelge 3.3'te verilmiştir. Bunun yanında, her bitki için büyüme mevsimi boyunca farklı aylarda bitki su tüketimi hesapları yapılmış ve mevsimlik toplam sulama suyu ihtiyaçları belirlenmiştir. Tarımsal teknik açısından buğdayda son bir ay içerisinde sulama yapılmaz. Köklerdeki şeker oranını arttırmak için ise şeker pancarında da son bir ay sulama yapılmaması öngörülmüştür. Dolayısı ile bu iki bitki için son bir aylık periyottaki su tüketimleri dikkate alınmamıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.4'te verilmiştir.

- Proje alanında 5 adet profil açılmış, farklı derinliklerden bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmış ve analiz ettirilmiştir. Sonuçlar Çizelge 3.5'te verilmiştir. Çizelgeden izleneceği gibi, proje alanında hakim toprak bünye sınıfı CL'dir (killi tın). Profillerin açılması sırasında 120 cm toprak derinliğine kadar kök gelişmesini sınırlayacak herhangi bir taban suyu ya da geçirimsiz tabakaya rastlanmamıştır. Diğer bir anlatımla, topraklar derindir ve sulama ile etkili kök derinliği ıslatılacaktır. Toprak tuzluluğu açısından herhangi

Çizelge 3.3. Proje alanında tarımı yapılacak bitkilerin etkili kök derinlikleri ve büyüme mevsimleri

Bitki cinsi	Etkili kök derinliği (cm)	Büyüme mevsimi
Buğday	90	15 Ekim – 1 Temmuz
Şeker pancarı	90	1 Nisan – 1 Ekim
Mısır	90	1 Mayıs – 1 Ekim
Ayçiçeği	90	15 Nisan – 1 Eylül

Çizelge 3.4. Proje alanında tarımı yapılacak bitkilerin su tüketimleri ve mevsimlik toplam sulama suyu ihtiyaçları

Aylar	Ortalama bitki su tüketimi, ET (mm/gün)			
	Buğday	Ş. pancarı	Mısır	Ayçiçeği
Nisan	3.4	1.6	-	1.6
Mayıs	5.5	3.7	2.2	3.4
Haziran	-	4.8	4.6	6.2
Temmuz	-	6.9	6.9	6.9
Ağustos	-	6.7	6.7	5.3
Eylül	-	-	4.6	-
Mevsimlik toplam sulama suyu ihtiyacı, d, (mm)	206.7	724.3	712.6	606.8

Çizelge 3.5. Proje alanında bazı toprak özellikleri

Profil no	Derinlik (cm)	Bünye sınıfı	Tarla kapasitesi, TK (%)	Solma noktası, SN (%)	Hacim ağırlığı, $\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	Elektriksel iletkenlik, EC (dS/m)
1	0-30	CL	34.2	21.2	1.25	0.65
	30-60	CL	33.6	21.4	1.31	0.82
	60-90	C	35.7	22.3	1.19	0.43
	90-120	SiC	34.8	22.0	1.20	0.45
2	0-30	CL	32.9	21.0	1.29	1.13
	30-60	SiCL	34.3	22.2	1.27	1.34
	60-90	CL	33.0	21.4	1.31	0.92
	90-120	SiC	34.5	22.9	1.20	0.65
3	0-30	CL	33.4	21.6	1.30	0.77
	30-60	CL	32.7	20.8	1.27	0.38
	60-90	CL	33.6	21.2	1.33	0.63
	90-120	C	35.8	23.7	1.19	0.92
4	0-30	CL	33.6	20.6	1.28	0.46
	30-60	CL	32.5	21.2	1.26	0.57
	60-90	C	34.4	23.1	1.15	0.52
	90-120	C	35.2	23.7	1.13	0.68
5	0-30	CL	33.2	20.2	1.29	0.59
	30-60	SiCL	34.3	21.9	1.21	0.48
	60-90	SiC	34.7	21.6	1.18	0.74
	90-120	SiC	33.9	21.8	1.23	0.88
Orta- lama	0-30		33.5	20.9	1.28	0.72
	0-60		33.5	21.2	1.27	0.72
	0-90		33.7	21.4	1.26	0.64
	0-120		34.0	21.8	1.24	0.72

bir sorun bulunmamaktadır. Ayrıca, her profilin yakınında çift silindir infiltrometrelerle yapılan infiltrasyon testleri sonucunda toprağın su alma hızı 6.1, 6.7, 6.5, 5.9, 6.8 mm/h ölçülmüştür. Değerler birbirine yakın olduğundan, ortalama alınarak proje alanı için su alma hızı;

$$I = 6.4 \text{ mm/h}$$

biçiminde kullanılabilir.

- Su kaynağı özellikleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- Cinsi : Derin kuyu
- Kuyu dinamik yüksekliği :  $H_d = 40$  m
- Kuyudan emniyetle alınabilecek suyun debisi :  $Q = 25$  l./s
- Sulama suyu kalite sınıfı :  $C_2S_1$

- Tasarımda kullanılacak diğer bilgiler ise şöyledir.

- Büyüme mevsimi boyunca ortalama rüzgar hızının 2 m yükseklikteki eşdeğeri;  
 $u_2 = 1.7$  m/s = 6.12 km/h
- Alanda elektrik enerjisi mevcuttur. Sulama suyu kuyudan dalgıç tipi pompa ile alınacaktır.

**Çözüm :**

**1. aşama :** Ön sistem tertibi

Ön sistem tertibi, lateral boru hatları ve ana boru hattının konumlarını belirlemek amacıyla yapılır.

Proje alanında etken eğim kısa kenar boyunca kuzey - güney doğrultusunda, Doğu - batı doğrultusunda (uzun kenar boyunca) eğim yok denecek kadar düşüktür. Bu nedenle, proje alanı için en uygun sistem tertibi, lateral boru hatlarını uzun kenar boyunca döşemek, ana boru hattını ise, kısa kenar boyunca arazinin ortasına yerleştirmektir. Bu durumda ana boru hattı laterallere iki yönde hizmet edecektir. Lateral boru hattı uzunluğu 175 m ve ortalama lateral eğimi  $S_l = \% 0$  (eğimsiz) olacaktır.

**2. aşama :** Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı

Tasarım, tarımı yapılacak bitkiler içerisinde kritik bitki için yapılır. Kritik bitki, su tüketimi en yüksek olan bitkidir. Su tüketimi en yüksek olan birden fazla bitki varsa, etkili kök derinliği en yüksek olan bitki seçilir. Bu özellik açısından da birden fazla bitki söz konusu olursa, mevsimlik toplam sulama suyu ihtiyacı yüksek olan bitkiyi kritik bitki almak iyi bir yaklaşım olabilir. Bu örnekte, şeker pancarı, mısır ve ayçiçeğinde en yüksek su tüketimi 6.9 mm/gün ve etkili kök derinliği 90 cm'dir. Mevsimlik toplam sulama suyu ihtiyacı daha yüksek olduğu için şeker pancarı kritik bitki alınmıştır. Tasarımın diğer aşamalarında şeker pancarına ilişkin değerler kullanılacaktır. Örneğin, tasarımda, sulama ile ıslatılacak toprak derinliği (etkili kök derinliği),  $D = 90$  cm ve bitki su tüketimi,  $ET = 6.9$  mm/gün alınacaktır. Bu koşullara göre kurulacak yağmurlama sulama sistemi, diğer bitkilerin de gereksinimini karşılayacaktır.

Yağmurlama sulama yöntemi için, tasarım aşamasında, kullanılabilir su tutma kapasitesinin % 50'si tüketildiğinde sulamaya başlanacağı ( $R_p = 0.50$ ) yaklaşımı yapılabilir. Kullanılabilir su tutma kapasitesi yüzde cinsinden verildiği için, (3.1) nolu eşitlik kullanılarak her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı bulunur. Sulama ile ıslatılacak toprak derinliği 90 cm olduğundan, Çizelge 3.5'te 0-90 cm toprak katmanındaki ortalama tarla kapasitesi, solma noktası ve hacim ağırlığı değerleri kullanılır.

$$d_n = \frac{(TK - SN) R_p}{100} \gamma, D = \frac{(33.7 - 21.4) \times 0.50}{100} \times 1.26 \times 900 = 69.7 \text{ mm}$$

**3. aşama :** Proje sulama aralığı

$$SA = \frac{d_n}{ET} = \frac{69.7}{6.9} = 10 \text{ gün}$$

**4. aşama :** Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı

Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı,  $d_n = 69.7$  mm, bitki su tüketimi,  $ET = 6.9$  mm/gün ve ortalama rüzgar hızı,  $w_z = 6.12$  km/h değerleri için Çizelge 3.1'den su uygulama randımanı,  $E_s = \% 69 = 0.69$  olarak elde edilir.

$$d_s = \frac{d_n}{E_s} = \frac{69.7}{0.69} = 101.0 \text{ mm}$$

**5. aşama :** Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı

Sulama suyu, su kaynağı olan derin kuyudan dalgıç tipi pompa ile alınacaktır. Dalgıç pompalar elektrik motoru ile çalıştırılır. Bu tip pompaların günlük çalışma süresi 20-22 saat olmasına karşın, ideali günde en çok 20 saat çalıştırmaktır. Bunun nedeni, lateral boru hattının bir konumda çalışması bittikten sonra, diğer konuma taşınabilmesi için bir süre beklemek gereğidir. Bu sürede, toprak yüzeyindeki yüksek düzeydeki ıslaklık gider ve araziye daha kolay girer.

Günlük sulama süresine karar verilirken, işletme sahibinin istekleri de dikkate alınmalıdır. Örneğin, pompa birimi günde 20 saat çalıştırılabilmesine karşın işletme sahibi gün içerisinde daha kısa süre sulama yapmak isteyebilir.

Bu örnekte, işletme sahibinin, pompanın günlük çalışma süresi olan 20 saat sulama yapabileceği koşulu (günlük sulama süresi,  $T_s = 20$  h) göz önüne alınmıştır.

Proje sulama aralığı,  $SA = 10$  gün olduğu için, sulama en çok 10 günde tamamlanabilecektir. Bunun yanında, sulamanın tamamlanacağı en az gün sayısı,

$$F = \frac{Ad_i}{3.6QT_s} = \frac{91 \times 101.0}{3.6 \times 25 \times 20} = 5.11 \approx 6 \text{ gün}$$

olacaktır. Tarım işletmesi sahibi ile yapılan görüşmeler sonucunda, sistem debisi ve sistem maliyeti artmasına karşın, sulamanın olanaklar ölçüsünde en kısa sürede tamamlanmasına karar verilmiştir. Bu nedenle, örnekte sulamanın tamamlanacağı gün sayısı,

$$F = 6 \text{ gün alınmıştır.}$$

**6. aşama :** Farklı tertip aralıkları için uygun başlık debileri

Proje alanı 91 da'dır ve tarla bitkilerinin tarımı yapılmaktadır. Bu koşullar için, orta basınçlı yağmurlama başlıklarının kullanılması en uygun çözümdür.

a) Lateralin çalışma süresi, günlük sulama süresine eşit olsun (lateral günde bir durakta çalışsın).

Bu durumda, sulama süresi,  $T_s = 20$  h olacaktır.

- Yağmurlama hızı;

$$I_v = \frac{d_i}{T_s} = \frac{101.0}{20} = 5.1 \text{ mm/h} < I = 6.4 \text{ mm/h} \text{ Uygun}$$

- Farklı tertip aralıklarında başlık debileri;

$$q = \frac{I_v S_1 S_2}{1000}$$

$S_1 \times S_2 = 12 \times 12$  m tertip aralıkları için;

$$q = \frac{5.1 \times 12 \times 12}{1000} = 0.73 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$S_1 \times S_2 = 18 \times 12$  m tertip aralıkları için;

$$q = \frac{5.1 \times 18 \times 12}{1000} = 1.10 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$S_1 \times S_2 = 18 \times 18$  m tertip aralıkları için;

$$q = \frac{5.1 \times 18 \times 18}{1000} = 1.65 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$S_1 \times S_2 = 24 \times 18$  m tertip aralıkları için;

$$q = \frac{5.1 \times 24 \times 18}{1000} = 2.20 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$S_x \times S_y = 24 \times 24$  m tertip aralıkları için;

$$q = \frac{5.1 \times 24 \times 24}{1000} = 2.94 \text{ m}^3 / \text{h}$$

b) Lateralin çalışma süresi, günlük sulama süresinin yarısına eşit olsun (lateral günde iki durakta çalışsın);

Bu durumda, sulama süresi,  $T_s = 10$  h olacaktır.

- Yağmurlama hızı:

$$I_r = \frac{d_r}{T_s} = \frac{101.0}{10} = 10.1 \text{ mm/h} > I = 6.4 \text{ mm/h} \text{ Uygun değil}$$

Bir laterali günde iki durakta çalıştırmak söz konusu olamayacaktır.

#### 7. aşama : Uygun yağmurlama başlığı

Bu aşamada, yağmurlama başlığı üreten kuruluşların teknik çizelgeleri incelenerek, bir önceki aşamada farklı tertip aralıkları için hesaplanan debi değerlerine en yakın debiye sahip başlık teknik özellikleri göz önüne alınır. Bu örnekte, teknik özellikleri Çizelge 3.2'de verilen kuruluşun yağmurlama başlıkları kullanılacaktır. Seçilen yağmurlama başlıklarının özellikleri Çizelge 3.6'nın a satırına yazılmıştır.

Bundan sonra, göz önüne alınan her yağmurlama başlığı için hesaplar yapılarak, gerekli lateral sayısı, lateral debisi ve sistem debisi gibi değerler elde edilir. Bu değerlere bakılarak en uygun yağmurlama başlığı seçilir.

Göz önüne alınan her yağmurlama başlığı için yapılan hesaplar Çizelge 3.6'da verilmiş ve hesapların nasıl yapıldığı ilgili satırlarda tanımlanmıştır. Çizelgeden izleneceği gibi, 2 nolu başlıkta sistem debisi 27.1 L/s olarak elde edilmiştir ve bu değer su kaynağı debisinden yüksek olduğu için uygun değildir. Diğer başlıklar arasında en düşük sistem debisi,  $Q = 22.4$  L/s ile 4 nolu başlıkta elde edilmiştir. 4 nolu başlık 1 nolu başlıkla kıyaslandığında, işletme basıncı aynı olmasına karşın, 1 nolu başlıkta tertip aralıkları daha sık, gerekli lateral sayısı daha fazla ve sistem debisi daha yüksektir. 4 nolu başlık 3 nolu başlıkla kıyaslandığında, işletme basıncı ve gerekli lateral sayısı aynı olmasına karşın, 3 nolu başlıkta tertip aralıkları daha sık, lateral ve sistem debisi daha yüksektir. Kıyaslama 4 ve 5 nolu başlıklar arasında yapıldığında, işletme basıncı, tertip aralıkları, gerekli lateral sayısı aynıdır, ancak, 5 nolu başlıkta, lateral ve sistem debisi daha yüksektir. 6 ve 7 nolu başlıklarda ise, 4 nolu başlığa oranla, tertip aralıkları daha geniş ve gerekli lateral sayısı daha az olmasına karşın, en

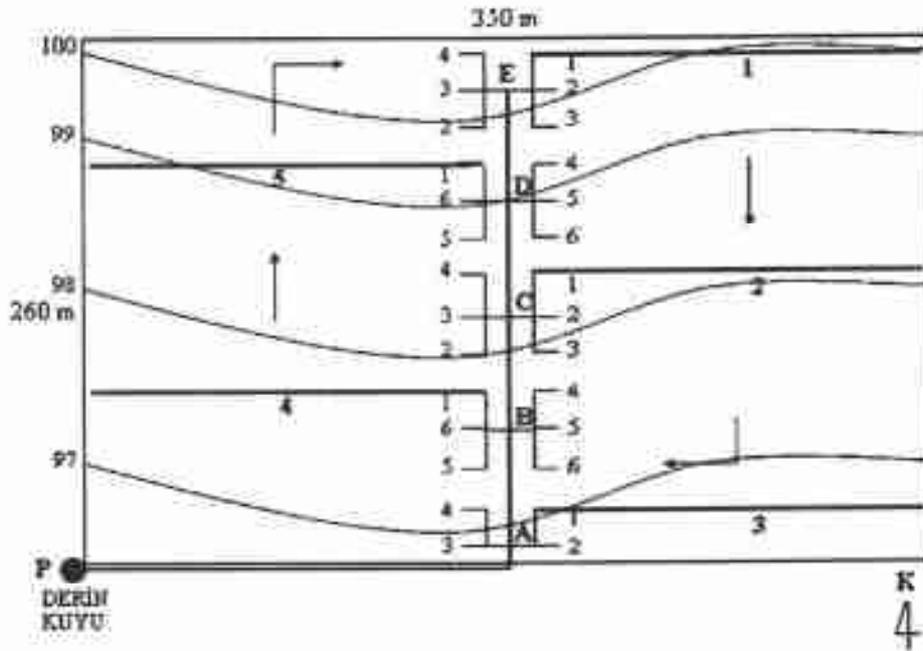
Çizelge 3.6. Uygun yağmuratama başlığının seçilmesine ilişkin hesaplamalar

	1	2	3	4	5	6	7
<b>a) Başlık teknik özellikleri</b>							
- Başlık no	3-5	4-0	4-5	5-5	4-0/4-0	6-0	4-0/5-0
- Memne çapı (mm)	2-5	2-0	2-5	2-5	2-5	3-5	4-0
- İşletme bariyeri, $b_s$ (atm)	0,74	0,81	1,14	1,61	1,75	2,19	3,03
- Başlık debisi, $q$ (m <sup>3</sup> /h)	12x12	12x12	18x12	18x18	18x18	24x18	24x24
- Tertip aralıkları, $S_1 \times S_2$ (m)	5-1	5-6	5-3	5-0	5-4	5-1	5-3
- Yağmuratama hızı, $i_s$ (mm/h)							
<b>b) Ana hat üzerinde toplam durak sayısı (adet)</b> [Lateralaların katıdeceği toplam mesafe]/ $S_1$ ]	44	44	28	28	28	22	22
<b>c) Günlük toplam lateral durak sayısı (adet) [(7b)/(5)]</b> (Konarı çıkarsa bir üst tam sayı alınır)	8	8	5	5	5	4	4
<b>d) Her durakta sulama süresi (h) [(4)/L]</b>	20	18	19	20	19	20	19
<b>e) Bir lateralın günlük durak sayısı (adet/gün) [(7c)/(7d)]</b>	1	1	1	1	1	1	1
<b>f) Gereklil lateral sayısı (adet) [(7e)/(7e)]</b>	8	8	5	5	5	4	4
<b>g) Lateral uzunluğu, <math>L_1</math> (m) [L. aşanından]</b>	175	175	175	175	175	175	175
<b>h) Lateral üzerindeki başlık sayısı (adet) [(7f)/S<sub>1</sub>]</b>	15	15	15	10	10	10	7
<b>i) Lateral debisi, <math>Q_1</math> (m<sup>3</sup>/h) [(7b)xq]</b>	11.1	12.2	17.1	16.1	17.5	21.9	21.2
<b>j) Sistem debisi, <math>Q</math> (L/s) [(7f)x(7i)/3.6]</b>	24.7	27.1	23.8	22.4	24.3	24.3	23.6

önemlisi, işletme basıncı çok yüksektir ve çok daha güçlü pompa birimini ve çok fazla enerji masraflarını gerektirecektir. Ayrıca, lateral ve sistem debileri de yüksektir. Tüm bu kıyaslamalar sonucunda, proje alanı için 4 nolu başlığın en uygun olduğu görülür. Diğer bir anlatımla, proje alanında, meme çapı 5.5 mm olan yağmurlama başlığı,  $h_s = 2.5 \text{ atm} = 25 \text{ m}$  işletme basıncında çalıştırılacak, başlık aralıkları  $S_1 \times S_2 = 18 \times 18 \text{ m}$  aralıklarla yerleştirilecek, başlık debisi  $q = 1.61 \text{ m}^3/\text{h}$  olacak, aynı anda 5 lateral boru hattına  $T_s = 20 \text{ h}$  süre ile su verilecek, lateral debisi  $Q_l = 16.1 \text{ m}^3/\text{h}$  ve sistem debisi  $Q = 22.4 \text{ L/s}$  olacaktır.

#### Başama : Sistem tertibi

Seçilen yağmurlama başlığına göre, proje alanına kurulacak yağmurlama sulama sisteminin son şekli ve gerekli 5 adet lateral boru hattının, sulamanın tamamlanacağı 6 gün boyunca hangi günde hangi konumda olacağı Şekil 3.15'te ayrıntıları ile gösterilmiştir. Şekilde, B, C, D ve E vanaları, bir tarafında 3 adet olmak üzere toplam 6 lateral konumuna su verecek biçimde 54 m ara ile yerleştirilmiştir. Sulanacak arazinin boyutları nodeni ile A vanası toplam 4 lateral konumuna su verecektir. Ana boru hattı üzerinde, her lateral



Şekil 3.15: Örnek olarak ele alınan tarım işletmesinde sistem tertibi

konumuna bir vana yerine, 6 lateral konumuna bir vananın öngörülmesi, sistem maliyetinde tasarruf sağlamak içindir.

Bunun yanında, aynı anda çalışacak 5 adet lateral boru hattı yan yana değil, 6 lateral konumunda bir olacak biçimde yerleştirilmiştir. Bunun nedeni ise, ana boru hattının yukarı kısımlarında daha düşük debide suyun iletilmesini sağlamak ve bazı ana boru bölümlerinde çapı küçülterek sistem maliyetini düşürmektir.

#### 9. aşama : Ana boru bölümlerinde iletilecek debi değerleri

Ana boru hattının farklı bölümlerine, sulama yapılan her gün için iletilecek debi değerleri bir çizelgeye yazılır. Göz önüne alınan herhangi bir boru bölümü için bulunan debilerin en yüksek, kritik koşulda, o boru bölümünde iletilecek debi değerini verir.

Örneğe ilişkin işlemler Çizelge 3.7'de yapılmıştır. Çizelgedeki  $Q_i$  bir lateralın debisidir. Seçilen yağmurlama başlığı için bir lateralın debisi;

$$Q_i = \frac{16.1}{3.6} = 4.47 \text{ L/s}$$

olduğuna göre, ana boru hattı boyunca kritik koşulda iletilecek debi değerleri ve planlama haritasından ölçülerek alınan boru hattı uzunlukları Çizelge 3.7'nin altında verilmiştir.

Çizelge 3.7. Ana boru bölümlerinde iletilecek kritik debi değerleri

Günler	Ana boru bölümleri				
	P-A	A-B	B-C	C-D	D-E
1	$5 Q_i$	$4 Q_i$	$3 Q_i$	$2 Q_i$	$Q_i$
2	$5 Q_i$	$4 Q_i$	$4 Q_i$	$2 Q_i$	$2 Q_i$
3	$5 Q_i$	$4 Q_i$	$4 Q_i$	$2 Q_i$	$2 Q_i$
4	$5 Q_i$	$4 Q_i$	$3 Q_i$	$2 Q_i$	$Q_i$
5	$4 Q_i$	$4 Q_i$	$2 Q_i$	$2 Q_i$	-
6	$4 Q_i$	$4 Q_i$	$2 Q_i$	$2 Q_i$	-
Kritik debi	$5 Q_i$	$4 Q_i$	$4 Q_i$	$2 Q_i$	$2 Q_i$

Ana boru bölümü	Debi, $Q$ (L/s)	Boru hattı uzunluğu, $L$ (m)
P-A	22.4	190
A-C	17.9	108
C-E	8.9	108

### 3.8.4. Lateral Boru Çapı

Yağmurlama sulama sistemlerinde, lateral boru hattı boyunca başlık basınçları birbirinden farklıdır. Bunun nedeni, ardışık yağmurlama başlıkları arasında boru bölümlerinde oluşan yük kayıpları ve eğimden kaynaklanan yükseklik farklarıdır. Eğimsiz bir lateralde başlık basınçlarının dağılımı Şekil 3.16'da gösterilmiştir. Şekilden izleneceği gibi, başlık basıncı lateral başlangıcında en yüksek, lateral sonunda en düşük değerdedir. Bu başlık basınçlarının ortalaması, işletme basıncına eşdeğerdir.

Belirli özellikteki bir yağmurlama başlığında, başlık debisi, meme kesit alanı ile başlık basıncının işlevidir ve;

$$q = 3600 CA\sqrt{2gh} \quad (3.8)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte;

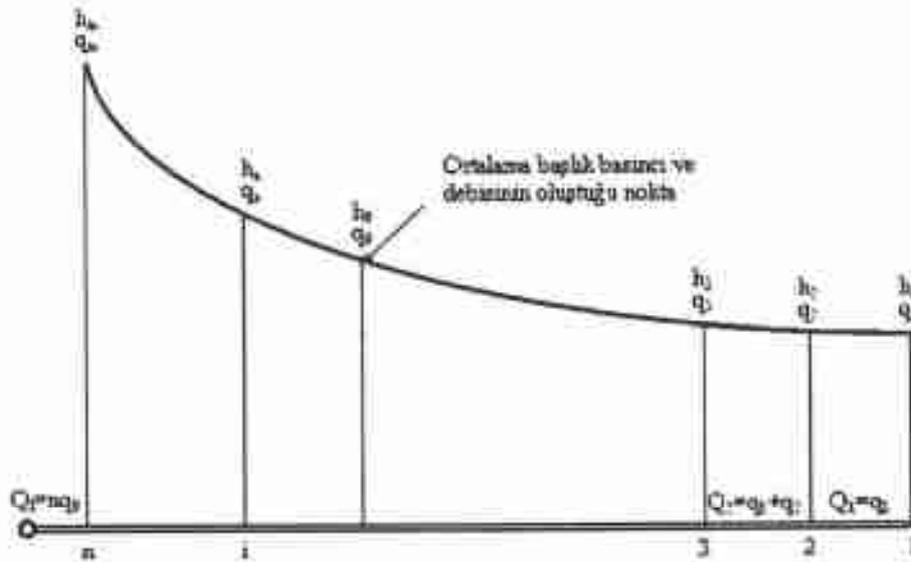
$q$  = Başlık debisi,  $m^3/h$ ,

$C$  = Başlık yapım biçimine bağlı katsayı ( $C = 0.80-0.95$ )

$A$  = Meme kesit alanı,  $m^2$ ,

$g$  = Yerçekimi ivmesi,  $m/s^2$  ve

$h$  = Başlık basıncı,  $m$ 'dir.



Şekil 3.16. Lateral boru hattı boyunca başlık basınçları ve debilerinin dağılımı

Sonuçta, başlık basınçlarındaki değişime bağlı olarak, lateral boyunca her bir yağmurlama başlığının debileri de birbirinden farklı olmaktadır. Lateral boyunca, kabul edilebilir düzeyde eş bir su dağılımı sağlamak için, başlık debileri arasındaki farklılığın belirli bir sınıra geçmemesi gerekir.

Lateral boyunca başlık debileri arasındaki farklılık düzeyi:

$$C_u = 100 \left( 1 - \frac{\Delta \bar{q}}{\bar{q}} \right) \quad (3.9)$$

Christiansen eş dağılım katsayısı ile ifade edilebilmektedir. Eşitlikte;

$C_u$  = Christiansen eş dağılım katsayısı, %

$\Delta \bar{q}$  = Başlık debilerinin ortalamadan olan mutlak sapmalarının ortalaması, m<sup>3</sup>/h ve

$\bar{q}$  = Ortalama başlık debisi, m<sup>3</sup>/h'tır.

Lateral boru hattı boyunca, kabul edilebilir düzeyde eş su dağılımı açısından, lateral boru çapı  $C_u \geq \% 97$  koşulunu sağlayacak biçimde seçilir.

Burada,  $C_u$  eş dağılım katsayısının doğrudan bulunabileceği grafikler, uygulamada yaygın olarak kullanılan sert PE ve alüminyum laterallerin değişik boru çapları için, Şekil 3.17, 3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22 ve 3.23'te verilmiştir. Bu grafiklerde;

$h_f$  = Lateral boyunca uç başlıklar arasında oluşan toplam yük kayıpları, m,

$h_s$  = İşletme basıncı, m,

$n$  = Lateral üzerindeki başlık sayısı, adet,

$S_L$  = Lateral üzerinde başlık aralığı, m,

$Q_L$  = Lateral debisi, m<sup>3</sup>/h ve

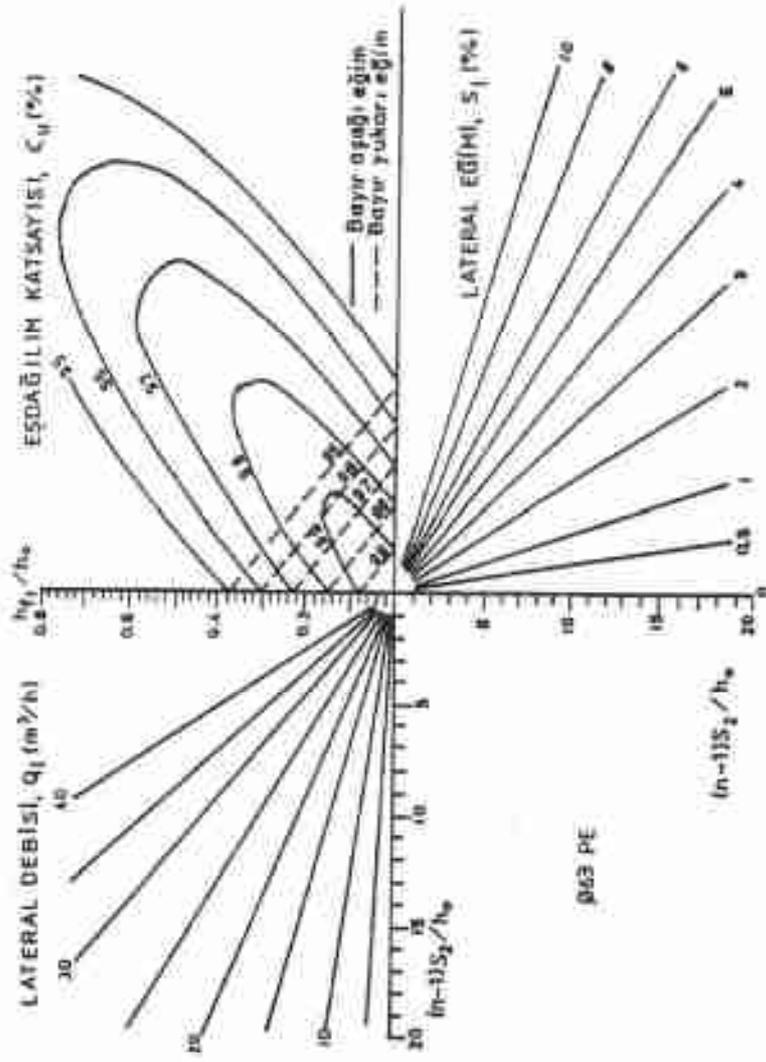
$q$  = Başlık debisi, m<sup>3</sup>/h'tır.

Bu grafikleri kullanarak lateral boru çapının bulunması, ileride bir örnekle açıklanacaktır.

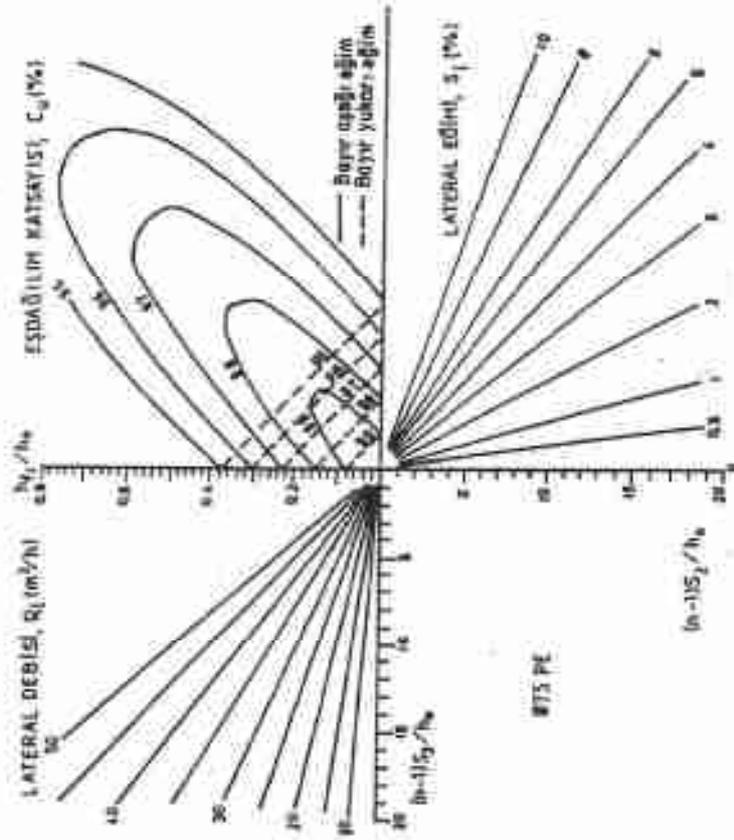
Lateral boru çapı saptandıktan sonra, lateral başlangıcındaki başlık basıncı, lateral giriş basıncı ve ana boru hattında istenen basınç değerleri aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır.

$$h_s = h_e + (1 - E_u) h_f \pm \frac{1}{2} h_f \quad (3.10)$$

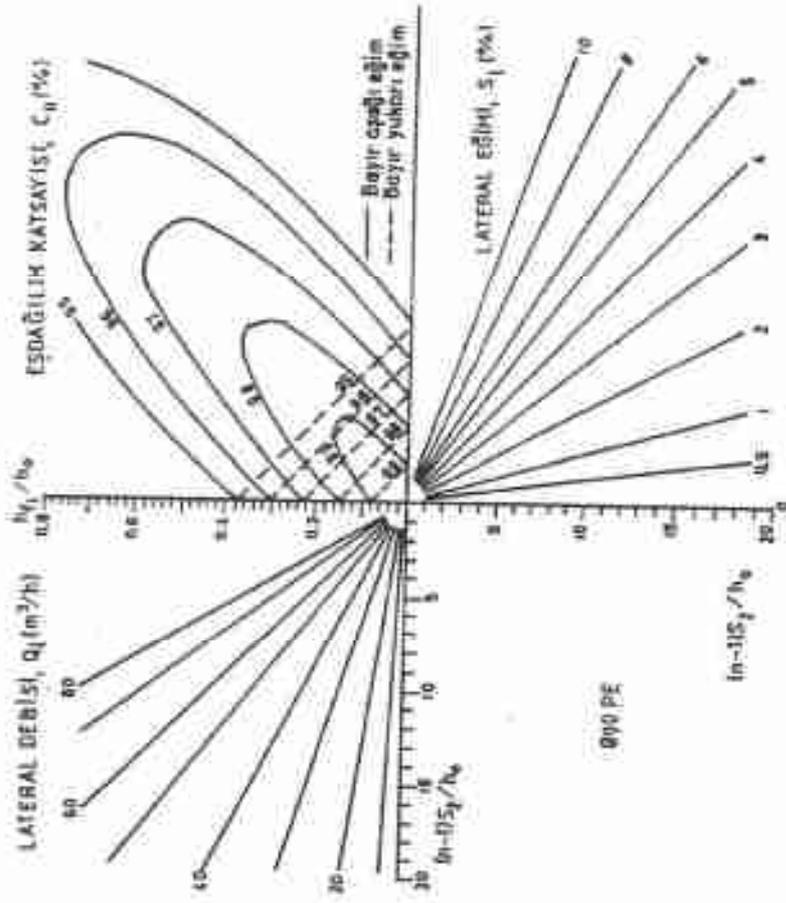
$$h = h_s + J + \Delta h_f \pm \Delta h_g \quad (3.11)$$



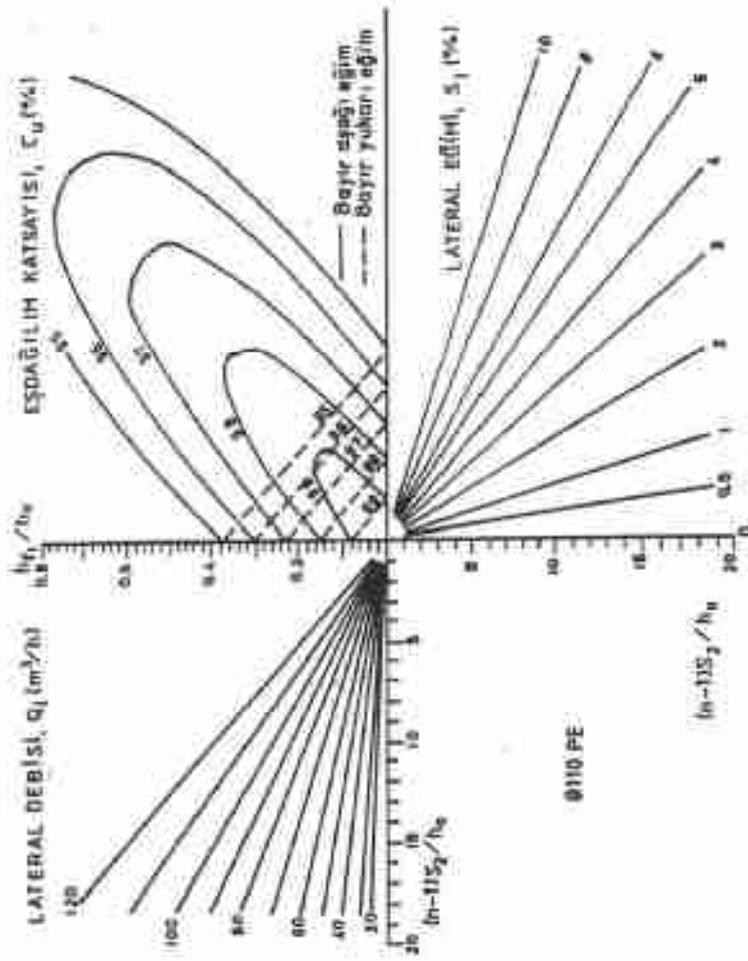
Şekil 3.17. Dış çapı 63 mm olan sert PE lateral için esdağılım katsayısı grafiği



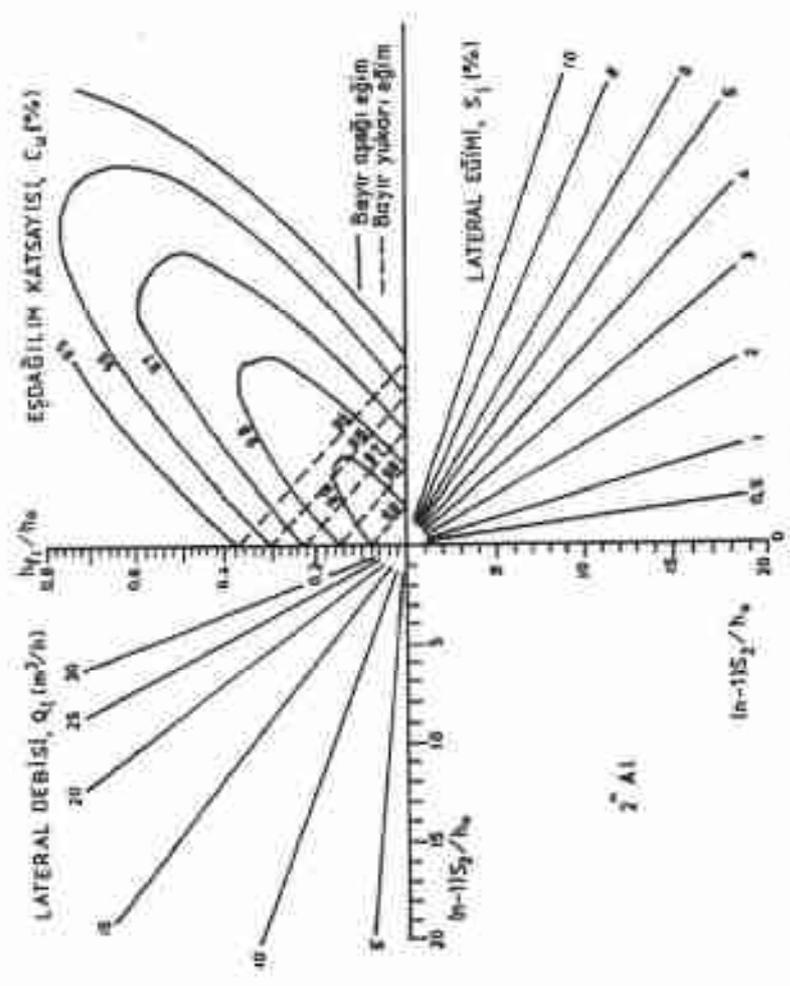
Şekil 3.18. Dış çapı 75 mm olan sert PE lateraliler için eşdağılım katsayısı grafiğı



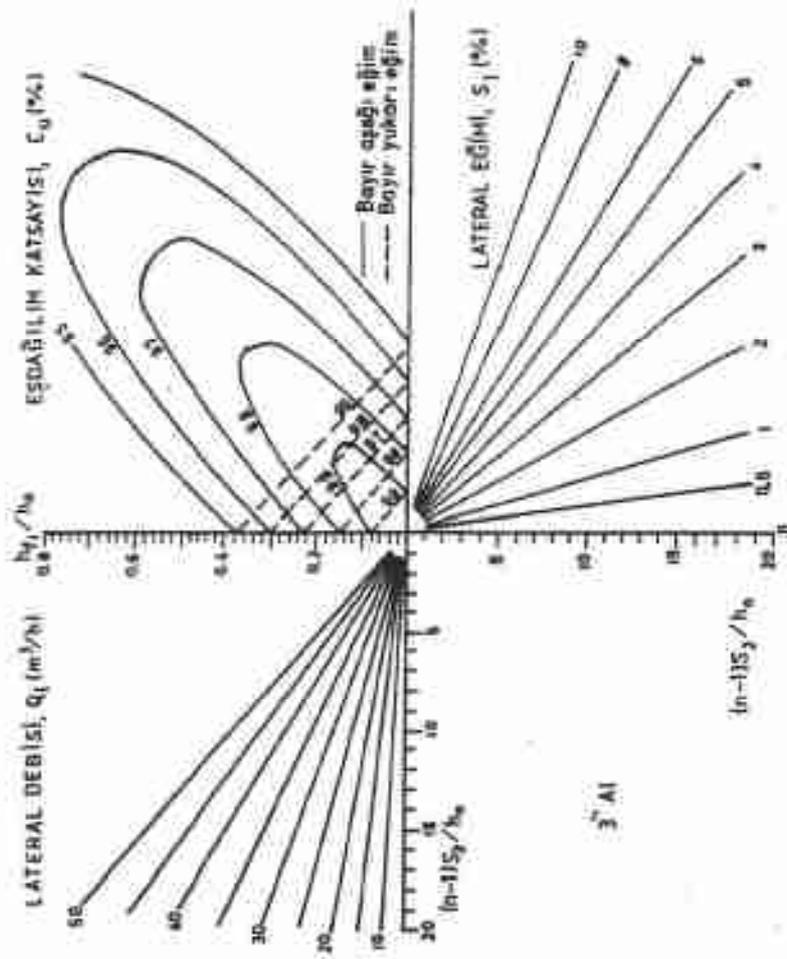
Şekil 3.19. Dış çapı 90 mm olan sert PE lateraliler için eşdeğerlik katsayıları grafiği



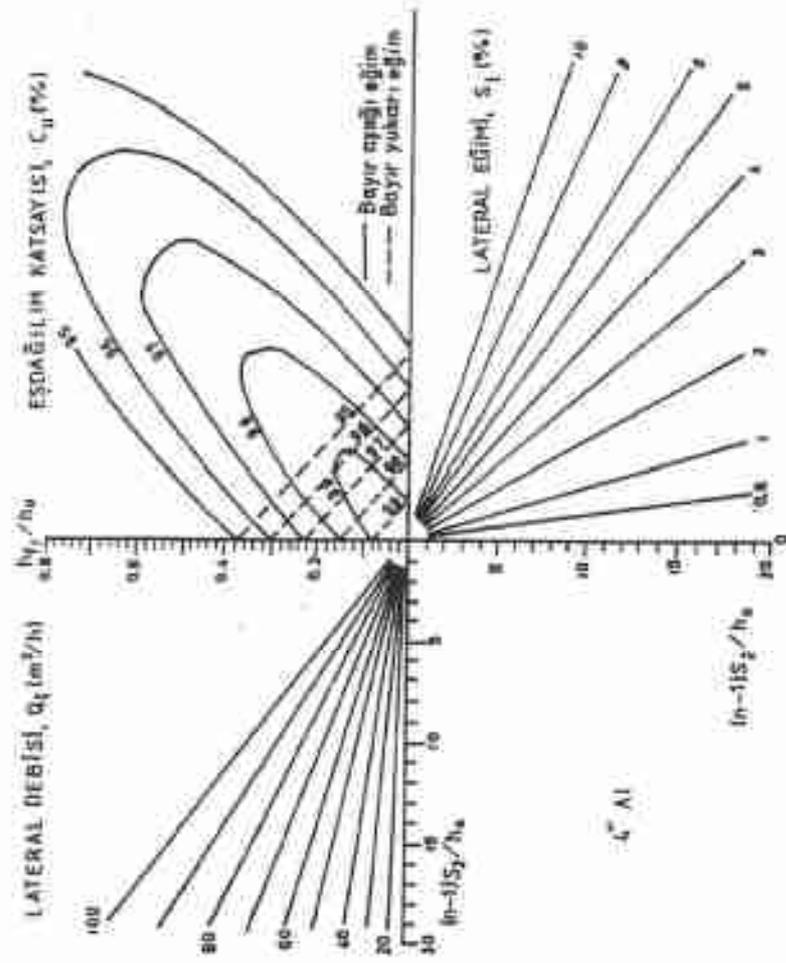
Şekil 3.20. Dış çapı 110 mm olan sert PE lateral için eşdeğerim katsayısı grafiği



Şekil 3.21. 2" çaplı alüminyum lateraller için eşdeğilim katsayısı grafiği



Şekil 3.22: 3" çaplı alüminyum lateraller için eşdeğerlik katsayısı grafiği



Şekil 3.23. 4" çaplı alüminyum lateraller için eşdeğitimi katsayısı grafiği

$$H = h + h_y \quad (3.12)$$

Bu eşitliklerde;

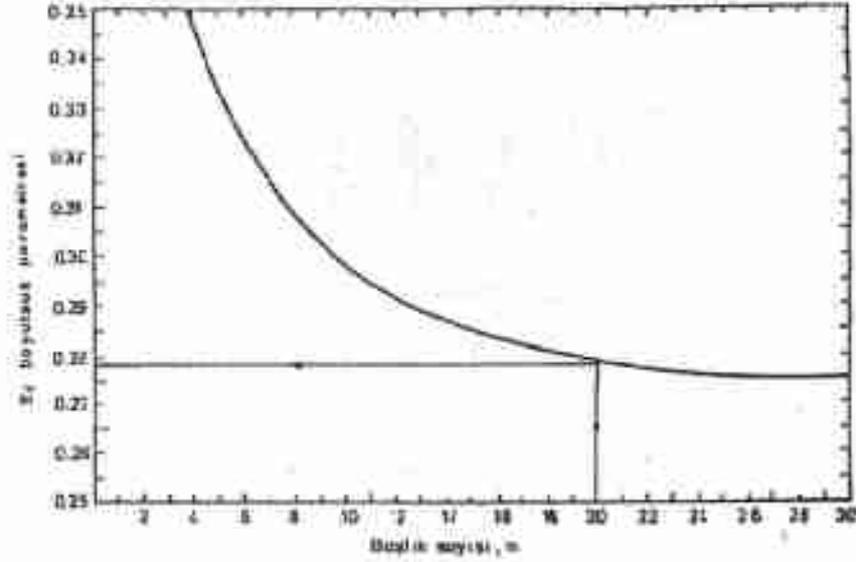
- $h_n$  = Lateral başlangıcındaki başlık basıncı, m,
- $h_s$  = İşletme basıncı, m,
- $E_u$  = Boyutsuz yük kayıpları parametresi (Şekil 3.24'ten alınır),
- $h_{f1}$  = Uç başlıklar arasındaki lateral yük kayıpları, m,
- $h_{e1}$  = Uç başlıklar arasındaki yükseklik farkı (bayır aşağı eğimde işareti eksi alınır), m,
- $h$  = Lateral giriş basıncı, m,
- $J$  = Lateral boru hattı ile başlık arasındaki yükseltici boru boyu (sulanacak bitkinin yüksekliğine göre seçilir), m,
- $\Delta h_1$  = Lateralin bağlandığı ana boru hattı üzerindeki vana ile ilk başlık arasındaki lateral boru bölümünde oluşan yük kayıpları (Şekil 3.25 ve 3.26'dan düz çizgilerden yararlanarak bulunabilir), m,
- $\Delta h_2$  = Lateralin bağlandığı ana boru hattı üzerindeki vana ile ilk başlık arasındaki lateral boru bölümünde yükseklik farkı (bayır aşağı eğimde işareti eksi alınır), m,
- $H$  = Ana boru hattında istenen basınç, m ve
- $h_y$  = Ana boru hattından laterale geçiş elemanlarında yerel kayıplar, m'dir.

Lateral boru çapı, lateral giriş basıncı ve ana boru hattında istenen basıncın bulunması, bir örnekle aşağıda açıklanmıştır.

#### Örnek :

Yarı sabit yağmurlama sulama sisteminin Şekil 3.15'te tertibi verilen tarım işletmesinde, lateral boru çapının bulunması istenmektedir. Su kaynağına en uzak 1 nolu lateralın 1. gündeki konumu göz önüne alınacaktır. Lateral boru hattı 6 atm işletme basıncı sert PE borulardan oluşturulacaktır. Planlama haritasından yararlanarak, bu lateral boru hattının planı Şekil 3.27'de verilmiştir. Gerekli diğer veriler, 3.8.3. bölümünde açıklandığı gibi, seçilen 4 nolu yağmurlama başlığına ilişkin verilerdir. Başka bir deyişle;

- İşletme basıncı :  $h_s = 2.5 \text{ atm} = 25 \text{ m}$ ,
- Başlık debisi :  $q = 1.61 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- Lateral üzerinde başlık sayısı :  $n = 10$  adet,
- Başlık tertip aralıkları :  $S_1 \times S_2 = 18 \times 18 \text{ m}$  ve
- Lateral debisi :  $Q_l = 16.1 \text{ m}^3/\text{h}$ 'tir.



Şekil 3.24. Yağmurlama sulama laterallerinde  $E_s$  boyutsuz parametresi

**Çözüm :**

1. aşama :  $(n-1)S_2/h_0$  boyutsuz parametresi

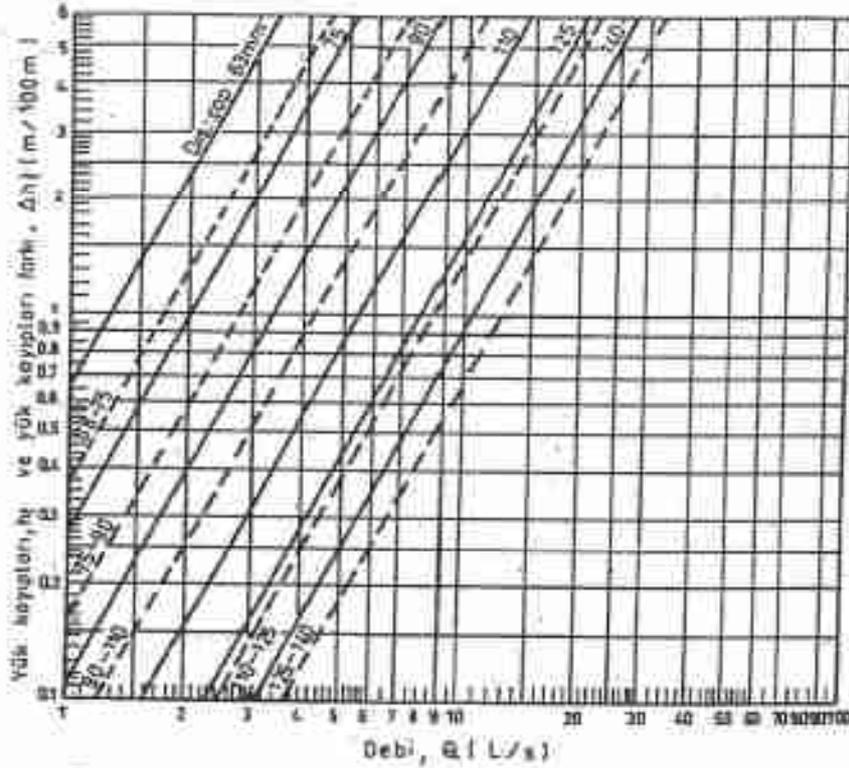
$$\frac{(n-1)S_2}{h_0} = \frac{(10-1) \times 18}{25} = 6,5$$

2. aşama : Uç başlıklar arasında lateral eğimi

$$S_l = \frac{100,50 - 99,90}{(10-1) \times 18} = 0,004 = \%0,4 \text{ (bayır aşağı)}$$

3. aşama : Lateral boru çapı

Lateral boru hattı sert PE borulardan oluşturulacağı için, işleme, en küçük dış çapa (63 mm) ait Şekil 3.17'deki grafikten başlanır. Bu grafikte, yatay eksenin sol bölümünde,  $(n-1)S_2/h_0 = 6,5$  değerinden, lateral debisi  $Q_l = 16,1 \text{ m}^3/\text{h}$  çizgisine kadar dik çıkılır ve buradan sağa doğru düşey eksenini geçecek biçimde paralel çizilir. Düşey eksenin alt bölümünde, yine  $(n-1)S_2/h_0 = 6,5$  değerinden, lateral eğimi  $S_l = \%0,4$  değerine kadar paralel çizilir ve buradan



Şekil 3.25. Sert PE borularda (6 atm) yük kayıpları grafiği

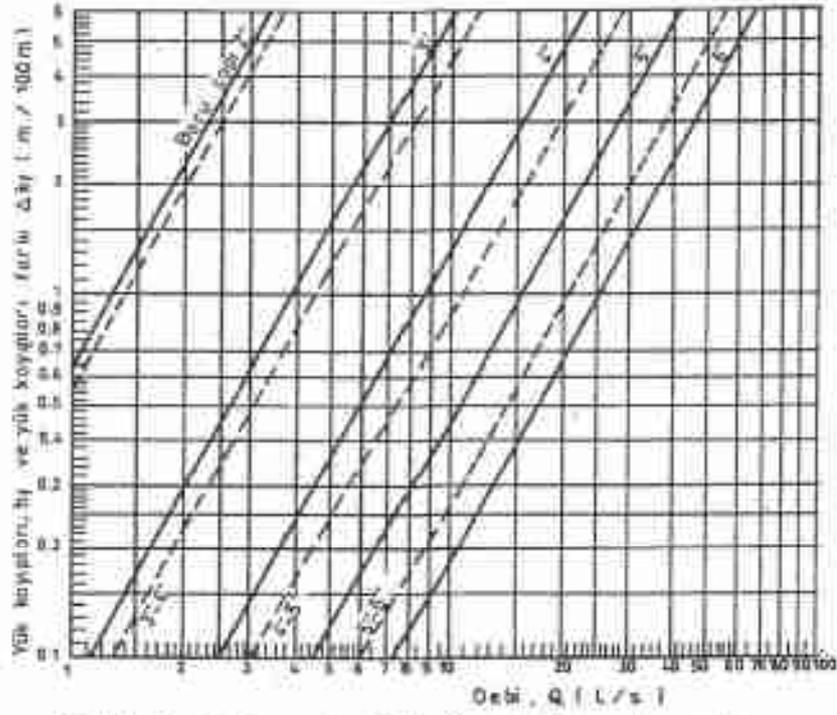
yukarıya doğru dik çıkarılır. Bu dikin, grafiğin üst sağ bölümünde, daha önce çizilen paraleli kestiği noktadan  $C_c$  eş dağılım katsayısı bulunur. Bu işlemler yapılmış ve  $C_c \cong \% 99$  bulunmuştur. Bu değer,  $\% 97$ 'den büyük olduğu için uygundur. Sonuçta, lateral boru dış çapı 63 mm olacaktır.

Ayrıca, üst bölümde çizilen paralelin düşey eksenini kestiği noktadan,  $h_f/h_o = 0.11$  olarak elde edilmiştir.

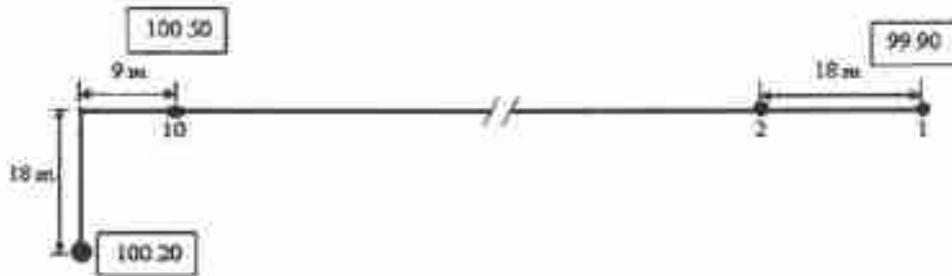
#### 4. aşama : Lateral başlangıcındaki başlık basıncı

Şekil 3.24'ten, lateral üzerinde başlık sayısı  $n = 10$  adet için  $E_o = 0.297$  bulunur. Ayrıca,  $h_f/h_o = 0.11$  elde edildiğinden, uç başlıklar arasındaki lateral yük kayıpları;

$$h_f = 0.11h_o = 0.11 \times 25 = 2.75 \text{ m}$$



Şekil 3.26. Alüminyum borularda (6 atm) yük kayıpları grafiği



Şekil 3.27. Örneğe ilişkin lateral boru hattı planı

ve uç başlıklar arasındaki yükseklik farkı;

$$h_{\mu} = 100.50 - 99.90 = 0.60 \text{ m (bayır aşağı)}$$

biçiminde elde edilir. Bunlara göre, lateral başlangıcındaki başlık basıncı;

$$\begin{aligned} h_s &= h_a + (1 - E_a)h_{\mu} \pm \frac{1}{2}h_{el} \\ &= 25 + (1 - 0.297) \times 2.75 - \frac{1}{2} \times 0.60 = 26.63 \text{ m} \end{aligned}$$

olarak hesaplanır.

**5. aşama :** Lateral giriş basıncı

Ana boru hattı üzerindeki vana ile lateral boru hattı üzerindeki ilk yağmurlama başlığı arasındaki boru uzunluğu  $L = 27 \text{ m}$ , lateral debisi  $Q_l = 16.1 \text{ m}^3/\text{h} = 4.5 \text{ L/s}$  ve 63 mm dış çaplı sert PE borular için Şekil 3.25'ten yararlanarak yük kayıpları;

$$\Delta h_f = \frac{11.00}{100} \times 27 = 2.97 \text{ m}$$

ve vana ile ilk başlık arasındaki yükseklik farkı;

$$\Delta h_g = 100.50 - 100.20 = 0.30 \text{ m (bayır yukarı)}$$

bulunur. Bunların yanında, tarımı yapılan bitkiler içerisinde en yüksek boya mısır sahip olduğundan, yağmurlama başlığının 1.80 m yükseltilmesi ( $J = 1.80 \text{ m}$ ) öngörülmüştür. Bu değerlere göre, lateral giriş basıncı;

$$h = h_s + J + \Delta h_f \pm \Delta h_g = 26.63 + 1.80 + 2.97 + 0.30 = 31.70 \text{ m}$$

olarak elde edilir.

**6. aşama :** Ana boru hattında istenen basınç

$$H = h + h_p = 31.70 + 1.30 = 33 \text{ m}$$

Tasarım aşamasında, ana boru hattından laterale geçiş elemanlarında oluşacak yersel kayıpların 1 m civarında alınması yeterli olur. Burada, yersel kayıpların  $h_p = 1.30 \text{ m}$  olacağı yaklaşımı yapılmıştır.

Sonuç olarak, lateral boru hatları 63 mm dış çaplı, 6 atm işletme basınçlı sert PE borulardan oluşturulacaktır. Lateral boyunca ortalama başlık basıncının 25 m olması için ana boru hattında en az 33 m basınç sağlanmalıdır.

### 3.8.5. Ana Boru Çapı ve Pompa Birimi

Yağmurlama sulama sistemlerinde, ana boru hattı ile pompa birimi birlikte değerlendirildiğinde, yıllık toplam masraflar açısından, birinin maliyeti düştüğünde diğerinin maliyeti artar. Örneğin, boru çapı geniş olduğunda, ana boru hattı maliyeti artmasına karşın, ana boru hattında oluşacak yük kayıpları düşeceği için, pompa birimi manometrik yüksekliği ve buna bağlı olarak pompa gücü azalır ve pompa maliyeti düşer. Boru hattı çapı dar olduğunda ise durum tersidir. Bu nedenle, ana boru hattı çapının saptanmasında temel ilke, **ana boru hattı ve pompa biriminin yıllık toplam masraflarının en az olacağı** boru çapı ve pompa birimini seçmektir.

Ana boru hattında, gerek sediment vb. materyal birikimini engellemek gerekse boru hattında oluşabilecek su darbesi etkisini azaltmak ve kaviteasyona neden olmamak için ortalama akış hızının 0.5 - 2.0 m/s arasında olması istenir.

Ana boru hattı çapının saptanması amacıyla geliştirilmiş değişik yöntemler vardır. Burada, basit hatlarda serbest elle çözüme olanak sağlayan Keller yöntemi ile basit ve karmaşık hatlarda kullanılabilecek doğrusal programlama modeli üzerinde durulacaktır. Bu yöntemler, aşağıda verilen bir örnek içerisinde açıklanmıştır.

#### Örnek :

Sistem tertibi Şekil 3.15'te verilen tarım işletmesine ait yağmurlama sulama sistemi ele alınacaktır. Sisteme ait ana boru hattının planı, ayrıca, Şekil 3.28'de gösterilmiştir. Planlama haritasındaki tesviye eğrilerinden ve Çizelge 3.7'nin altındaki verilerden yararlanarak, ana boru hattının değişik bölümlerinin uzunlukları, iletilecek debi değerleri ve kritik noktaların yükseklikleri ana boru hattı planı üzerine yazılmıştır.

Yarı sabit yağmurlama sulama sisteminin tasarımı yapıldığından, ana boru hattı sabit ve gömülü olacaktır. Ana boru hattı, 10 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulacaktır.

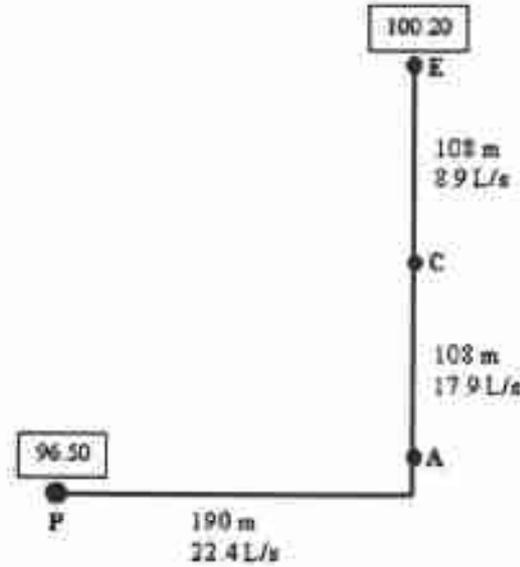
**Ana boru çapının saptanmasında Keller yöntemi :** Ana boru çapının Keller yöntemi ile bulunmasında yapılacak işlemler aşamalar biçiminde aşağıda açıklanmıştır.

**1. aşama :** Pompanın yıllık çalışma süresi

Pompanın yıllık çalışma süresi ;

$$T = \frac{Ad_t}{3.6Q} \quad (3.13)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte;



Şekil 3.28. Örneğe ilişkin ana boru hattı planı

- $T$  = Pompanın yıllık çalışma süresi, h,  
 $A$  = Sulanacak alan, da,  
 $d_t$  = Mevsimlik toplam sulama suyu gereksinimi, mm ve  
 $Q$  = Sistem debisi, L/s'dir.

Sulanacak alan,  $A = 91$  da ve sistem debisi,  $Q = 22.4$  L/s'dir. Kritik bitki çeker pancarı olduğundan bu bitkinin mevsimlik toplam sulama suyu ihtiyacı,  $d_t = 724.3$  mm'dir (Çizelge 3.4).

$$T = \frac{A d_t}{3.6 Q} = \frac{91 \times 724.3}{3.6 \times 22.4} = 817 \text{ h}$$

2. aşama : Pompa biriminin fren gücü-saat (fBG-h) başına toplam maliyeti

a) Manometrik yükseklik

Pompa biriminin manometrik yüksekliği,

$$H_m = h_{st} \pm h_g + h_f + H \quad (3.14)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte,

- $H_m$  = Manometrik yükseklik, m,  
 $h_d$  = Dinamik emme yüksekliği (derin kuyularda, tasarım aşamasında, kuyu dinamik yüksekliğine eşit alınabilir,  $h_d = H_d$ ), m,  
 $h_x$  = Pompa birimi ile basma noktası arasındaki yükseklik farkı (bayır aşağı eğimde eksi alınır) m,  
 $h_f$  = Ana boru hattında oluşan yük kayıpları, m ve  
 $H$  = Ana boru hattında istenen basınç, m'dir.

Bu eşitlikte, ana boru hattında oluşan yük kayıplarını bulabilmek için boru çaplarının bilinmesi de gerekmektedir. Oysa, boru çaplarının bulunması istenmektedir. Bu nedenle, tasarımın bu aşamasında, ana boru hattında oluşan yük kayıpları tahmin edilir. Tahminde,  $h_f = 1.5$  m/100 m değeri kullanılabilir. Yük kayıplarının tahmininde yapılacak hata, sonucu önemli düzeyde etkilememektedir. Örnekte, ana boru hattı uzunluğu 406 m olduğundan, ana boru hattında oluşan yük kayıpları,

$$h_f = \frac{1.5}{100} \times 406 = 6.09 \text{ m}$$

biçiminde tahmin edilmiştir.

Şekil 3.28'den, pompa birimi ile basma noktası (E noktası) arasındaki yükseklik farkı,

$$h_x = 100.20 - 96.50 = 3.70 \text{ m (bayır yukarı)}$$

olarak hesaplanır.

Örnekte, kuyu dinamik yüksekliği,  $H_d = 40$  m ve ana boru hattında istenen basınç,  $H = 33$  m olduğundan, manometrik yükseklik,

$$H_m = H_d + h_x + h_f + H = 40 + 3.70 + 6.09 + 33 = 82.79 \text{ m}$$

bulunur.

b) Pompa biriminin fren gücü

Pompa biriminin fren gücü (pompa gücü),

$$fBG = \frac{H_m Q}{75 \eta_p} \quad (3.15)$$

eşitliği ile bulunur. Bu eşitlikte;

$fBG$  = Pompa biriminin fren gücü, BG,

$H_m$  = Manometrik yükseklik, m,

$Q$  = Sistem debisi, L/s ve

$\eta_p$  = Pompa randımanı (tasarım aşamasında, elektrik motorlu pompalarda % 80, diesel motorlu pompalarda % 70 alınabilir), %'dir.

Örnekte, manometrik yükseklik,  $H_m = 82.79$  m ve sistem debisi,  $Q = 22.4$  L/s'dir. Derin kuyudan su dalgıç tipi pompa ile alınacağından (dalgıç pompalar yalnızca elektrik motoru ile çalıştırılabilir), pompa randımanı  $\eta_p = 0.80$  alınmıştır. Sonuçta, pompa biriminin fren gücü;

$$fBG = \frac{H_m Q}{75 \eta_p} = \frac{82.79 \times 22.4}{75 \times 0.80} = 30.9 \text{ BG}$$

bulunur.

c) Pompa biriminin tesis masrafları

Manometrik yükseklik,  $H_m = 82.79$  m ve debi  $Q = 22.4$  L/s özelliklerindeki dalgıç tipi pompanın satın alınması, yerine taşınması, kurulması, kontrol panosu vb. işleri kapsayan proje keşif bedeli bulunur. Bu amaçla, piyasa araştırması yapılır ya da birim fiyatlardan yararlanılabilir. Örnekte, bu işlem yapılmış ve pompa biriminin tesis masrafları,

$$TM = 6400 \text{ TL}$$

olarak saptanmıştır.

d) Pompa biriminin fren gücü (fBG) başına tesis masrafları

Pompa biriminin fren gücü başına tesis masrafları,

$$TM_{fBG} = \frac{TM}{fBG} \quad (3.16)$$

eşitliği ile bulunur. Eşitlikte;

$TM_{fBG}$  = Pompa biriminin fren gücü başına tesis masrafları, TL/fBG,

$TM$  = Pompa biriminin tesis masrafları, TL ve

$fBG$  = Pompa biriminin fren gücü, BG'dir.

Örnekte, Pompa biriminin tesis masrafları,  $TM = 6400$  TL ve fren gücü,  $fBG = 30.9$  BG olduğundan;

$$TM_{fBG} = \frac{TM}{fBG} = \frac{6400}{30.9} = 207.12 \text{ TL / fBG}$$

bulunur.

e) Pompa birimi servis ömrü

Yağmurlama sulama sistem unsurlarının ortalama servis ömürleri Çizelge 3.8'de verilmiştir. Pompa biriminin toplam maliyeti içerisinde, motorun maliyetinin payı çok yüksek olduğu için, tasarım aşamasında, pompa biriminin ortalama servis ömrü olarak, motorun servis ömrü alınabilir. Örnekte, elektrik motoru söz konusu olduğundan, Çizelge 3.8'den pompa birimi servis ömrü;

$$n = 25 \text{ yıl}$$

alınmıştır.

ñ) Faiz oranı

Günün koşullarına uygun faiz oranı dikkate alınır. Örneğin, bu değer, yıllık enflasyon oranı ya da bankaların tarım alanlarına uyguladıkları kredi faizi olabilir. Bu örnek için faiz oranı;

$$i = \% 10$$

alınmıştır.

Çizelge 3.8. Yağmurlama sulama sistem unsurlarının servis ömürleri

Unsur	Servis ömrü, n (yıl)
Kuyu	20
Pompa evi	20
Derin kuyu pompası	8
Dalgıç tipi pompa	8
Santrifüj tipi pompa	16
Elektrik motoru	25
Diesel motor	14
Alüminyum boru ve bağlantı elemanları (yüzeyde)	15
PE boru ve bağlantı elemanları (yüzeyde)	10
PE boru ve bağlantı elemanları (gömülü)	40
PVC boru ve bağlantı elemanları (yüzeyde)	5
PVC boru ve bağlantı elemanları (gömülü)	35
Yağmurlama başlığı	8

**g) Amortisman faktörü**

Sulama sistemlerinde, herhangi bir unsurun maliyetinin bir yıla düşen miktarını bulmak amacıyla yararlanılan amortisman faktörü;

$$AF = \frac{i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}} \quad (3.17)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte;

$AF$  = Amortisman faktörü,

$i$  = Faiz oranı, % ve

$n$  = Servis ömrü, yıl'dır.

Örnekte, faiz oranı,  $i = \% 10$  ve servis ömrü,  $n = 25$  yıl olduğundan, amortisman faktörü;

$$AF = \frac{i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}} = \frac{0.10}{1 - \frac{1}{(1+0.10)^{25}}} = 0.11017$$

bulunur.

**h) Pompa biriminin fren gücü-yıl (FBG-yıl) başına sabit masrafları**

Bu amaçla;

$$SM_{\text{FBG-yıl}} = (AF)(TM_{\text{FBG}}) \quad (3.18)$$

eşitliğinden yararlanılır. Eşitlikte;

$SM_{\text{FBG-yıl}}$  = Pompa biriminin fren gücü-yıl başına sabit masrafları,  
TL/FBG-yıl,

$AF$  = Amortisman faktörü ve

$TM_{\text{FBG}}$  = Pompa biriminin fren gücü başına tesis masrafları,  
TL/FBG'dir.

Örnekte, pompa biriminin fren gücü-yıl başına sabit masrafları;

$$SM_{\text{FBG-yıl}} = (AF)(TM_{\text{FBG}}) = 0.11017 \times 207.12 = 22.82 \text{ TL / FBG - yıl}$$

olarak elde edilir.

**i) Pompa biriminin fren gücü-saat (FBG-h) başına sabit masrafları**

Bu değer, fren gücü-yıl başına sabit masrafların, pompanın yıllık çalışma süresine oranlanması ile bulunur.

$$SM_{fBG-h} = \frac{SM_{fBG-yil}}{T} \quad (3.19)$$

Eşitlikte,

$SM_{fBG-h}$  = Pompa biriminin fren gücü-saat başına tesis masrafları, TL/fBG-h,

$SM_{fBG-yil}$  = Pompa biriminin fren gücü-yıl başına tesis masrafları, TL/fBG-yıl ve

$T$  = Pompanın yıllık çalışma süresi, h'tır.

Pompa biriminin fren gücü-yıl başına tesis masrafları,  $SM_{fBG-yil} = 22.82$  TL/fBG-yıl ve pompanın yıllık çalışma süresi,  $T = 817$  h olduğundan, Pompa biriminin fren gücü-saat başına tesis masrafları,

$$SM_{fBG-h} = \frac{SM_{fBG-yil}}{T} = \frac{22.82}{817} = 0.03 \text{ TL / fBG-h}$$

bulunur.

j) Pompa biriminin fren gücü-saat (fBG-h) başına enerji masrafları

Tasarım aşamasında, pompa biriminin fren gücü-saat başına enerji masrafları, pompa elektrik motoru ile çalışıyorsa,

$$EM_{fBG-h} = 0.736 P_e \quad (3.20)$$

ve diesel motoru ile çalışıyorsa,

$$EM_{fBG-h} = 0.27 P \quad (3.21)$$

eşitlikleri ile hesaplanabilir. Bu eşitliklerde;

$EM_{fBG-h}$  = Pompa biriminin fren gücü-saat başına enerji masrafları, TL/fBG-h,

$P_e$  = Elektrik enerjisi birim fiati, TL/kW-h ve

$P$  = Motorün birim fiati, TL/L'dir.

Bu örnekte, dalgıç tipi pompa kullanılacak ve dolayısıyla, elektrik motoru söz konusu olacaktır. Tarım alanlarına uygulanan elektrik enerjisi birim fiati,  $P_e = 0.20$  TL/kW-h alınmıştır. Buna göre, pompa biriminin fren gücü-saat başına enerji masrafları,

$$EM_{fBG-h} = 0.736 P_e = 0.736 \times 0.20 = 0.15 \text{ TL / fBG-h}$$

bulunmuştur.

**k) Pompa biriminin fren gücü-saat (fBG-h) başına bakım masrafları**

Tasarım aşamasında, pompa biriminin fren gücü-saat başına bakım masrafları, pompa elektrik motoru ile çalışıyorsa ihmal edilebilir. Pompa diesel motoru ile çalışıyorsa, enerji masraflarının % 40'ı kadar alınabilir.

$$BM_{fBG-h} = 0.40EM_{fBG-h} \quad (3.22)$$

Örnekte, elektrik motoru söz konusu olduğundan fren gücü-saat başına bakım masrafları;

$$BM_{fBG-h} = 0 \text{ TL/fBG-h}$$

alınmıştır (ihmal edilmiştir).

**l) Pompa biriminin fren gücü-saat (fBG-h) başına toplam maliyeti**

Tasarım aşamasında, pompa biriminin fren gücü-saat (fBG-h) başına toplam maliyeti, tesis, enerji ve bakım masrafları toplanarak bulunur.

$$M_{fBG-h} = SM_{fBG-h} + EM_{fBG-h} + BM_{fBG-h} \quad (3.23)$$

Örnek için bu değer;

$$\begin{aligned} M_{fBG-h} &= SM_{fBG-h} + EM_{fBG-h} + BM_{fBG-h} = 0.03 + 0.15 + 0 \\ &= 0.18 \text{ TL/fBG-h} \end{aligned}$$

biçiminde bulunur.

**3. aşama : Pompa biriminin fren gücü-yıl (fBG-yıl) başına toplam maliyeti**

Pompa biriminin fren gücü-yıl başına toplam maliyeti, fren gücü-saat başına toplam maliyeti, pompanın yıllık çalışma süresi ile çarpılarak bulunur.

$$M_{fBG-yıl} = T(M_{fBG-h}) \quad (3.24)$$

Örnek için, pompa biriminin fren gücü-yıl başına toplam maliyeti;

$$M_{fBG-yıl} = T(M_{fBG-h}) = 817 \times 0.18 = 147.06 \text{ TL/fBG-yıl}$$

olarak elde edilir.

**4. aşama : Pompa biriminin hidrolik güç-yıl (hBG-yıl) başına toplam maliyeti**

Pompa biriminin hidrolik güç-yıl başına toplam maliyeti, fren gücü-yıl başına toplam maliyeti, pompa randımanına bölünerek elde edilir.

$$M_{hBG-yıl} = \frac{M_{fBG-yıl}}{\eta_p} \quad (3.25)$$

Sonuçta, pompa biriminin hidrolik güç-yıl başına toplam maliyeti;

$$M_{\text{ağırlık}} = \frac{M_{\text{pomp}}}{\eta_p} = \frac{147.06}{0.80} = 183.83 \text{ TL / hBG - yıl}$$

bulunur.

#### 5. aşama : Ana boru çapı

Ana boru çapının saptanmasına ilişkin işlemler Çizelge 3.9 üzerinde yapılmış ve işlemlerin nasıl yapıldığı aşağıda açıklanmıştır.

a) Ana boru hattında, ortalama akış hızının 0.5-2.0 m/s arasında olduğu seçeneksel boru çapları yazılır. Farklı cinsteki boruların değişik çaplarında, ortalama akış hızının 0.5 m/s ve 2.0 m/s olduğu debi değerleri Çizelge 3.10'da görülmektedir. Ana boru hattı 10 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulacaktır. Ana boru hattında iletilecek en düşük debi, C-E bölümünde 8.9 L/s'dir (Şekil 3.28). Bu debide, Ortalama akış hızı,  $V \leq 2.0$  m/s koşulunu sağlayan en küçük boru dış çapı 90 mm'dir. Yine, ana boru hattında iletilecek en yüksek debi 22.4 L/s'dir ve bu debide ortalama akış hızı,  $V \geq 0.5$  m/s koşulunu sağlayan en büyük boru dış çapı 250 mm'dir. Bu nedenle, ana boru hattında kullanılabilir standart boru dış çapları 90, 110, 125, 140, 160, 200, 225 ve 250 mm olacaktır. Bu arada, ana boru hattında kullanılabilir en küçük boru çapının, seçilen lateral boru çapından daha küçük olamayacağı da dikkate alınmalıdır.

b) Ana boru hattında kullanılabilir seçeneksel boru çaplarında, 100 m boru hattı uzunluğunun maliyeti yazılır. Bu amaçla, her boru çapında, birim boru hattı uzunluğunun, kazı, satın alma, taşıma, döşeme, baş bağlama vb. işleri kapsayan keşif bedelleri bulunur. Tasarım aşamasında, birim fiyatlarda verilen boru hattının döşenmesi bedellerinin kullanılması da yeterli olabilir. Bu örnek için elde edilen birim boru uzunluğu maliyetleri ve bunun 100 m uzunluk için değerleri Çizelge 3.11'de verilmiştir.

c) Ardışık boru çaplarında, 100 m boru hattı uzunluğu maliyetlerinin farkları yazılır.

d) Boru hattı servis ömrü yazılır. Örnekte, ana boru hattı sabit ve gömülü olduğundan ve sert PVC borulardan oluşturulduğundan, servis ömrü  $n = 35$  yıl alınmıştır (Çizelge 3.8).

e) Faiz oranı yazılır. Örnekte, faiz oranı,  $i = \% 10$  alınmıştır.

f) Amortisman faktörü yazılır. Ana boru hattı için, (3.17) nolu eşitlikte,  $i = 0.10$  ve  $n = 35$  yıl alınarak amortisman faktörü;

Çizelge 3.9. Örneğe ilişkin ana boru bölümlerinde kritik deñeri değerleri

	90	110	125	140	160	200	225	250
a) Boru dış çapı (mm)	90	110	125	140	160	200	225	250
b) 100 m boru uzunluğunun maliyeti (TL/100 m)	680	840	1.040	1.250	1.770	2.730	3.290	4.270
c) Ayrılık boru eğimleri arasındaki maliyet farkı (TL/100 m)	160	200	260	310	420	600	900	
d) Boru hattı servisi ömrü, a (yıl)	35	35	35	35	35	35	35	35
e) Faas oranı, i (%)	10	10	10	10	10	10	10	10
f) Anisotropan faktörü, AF	0,10369	0,10369	0,10369	0,10369	0,10369	0,10369	0,10369	0,10369
g) Ayrılık boru eğimleri arasındaki yıllık maliyet farkı (TL/100 m) [52]x(50)	16,59	20,74	27,14	32,14	43,55	60,54	90,62	
h) Bir sonraki giriş boru yapımı eklenerek eleğilmesi için tasarılış genleşme katsayısı g <sub>ek</sub> (BG) [52]x(0,3)	0,099	0,113	0,175	0,237	0,316	0,541	0,555	
i) Bir sonraki giriş boru eğimleri eklenerek eleğilmesi için tasarılış genleşme yük katsayısı, Ah <sub>g</sub> (m/100 m) [75]x(0,0001)	0,30	0,38	0,59	0,79	1,06	1,81	1,85	
j) Kritik deñer, Q (L/s)	3,2	7,0	13,0	19,0	30,0	62,0	120,0	

Çizelge 3.10. Değişik cinsteki borularda ortalama akış hızının 0,5 m/s ve 2,0 m/s olduğu debi değerleri.

Çap	Alüminyum borular (6 atm)		Sert PE borular (6 atm)		Sert PVC borular (6 atm)		Sert PVC borular (10 atm)	
	0,5 m/s	2,0 m/s	Dış Çap (mm)	0,5 m/s	2,0 m/s	Dış Çap (mm)	0,5 m/s	2,0 m/s
2"	1,0	3,9	63	1,0	3,9	63	1,3	5,1
3"	2,5	10,1	75	1,4	5,4	75	1,8	7,2
4"	3,9	15,7	90	2,0	7,9	90	2,6	10,4
5"	6,1	26,4	110	3,0	11,7	110	3,9	15,5
6"	8,8	35,4	125	3,8	15,2	125	5,0	20,1
			140	4,8	19,0	140	6,3	25,2
						160	8,2	32,8
						200	13,0	51,5
						225	16,2	65,1
						250	20,0	80,5
						280	25,0	100,5
						315	32,0	127,5
						355	40,5	162,0
						400	51,0	206,0

Çizelge 3.11. Örnek için ana boru hattı birim uzunluk maliyetleri

Dış çap (mm)	Boru hattı maliyeti	
	TL/m	TL/100 m
90	6.80	680
110	8.40	840
125	10.40	1 040
140	13.50	1 350
160	17.70	1 770
200	27.30	2 730
225	32.90	3 290
250	42.70	4 270

$$AF = \frac{i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}} = \frac{0.10}{1 - \frac{1}{(1+0.10)^{22}}} = 0.10369$$

olarak bulunmuştur.

g) Ardışık boru çapları arasında yıllık maliyet farkları hesaplanır. Bu amaçla, (c) satırındaki maliyet farkları, (f) satırındaki amortisman faktörü ile çarpılır.

h) Ana boru hattında, 100 m boru uzunluğunda, bir sonraki geniş boru çapının ekonomik olabilmesi için, pompa biriminde tasarrufu gereken hidrolik güç değerleri yazılır. Bu değerler, (g) satırındaki yıllık maliyet farkları, (4) aşamasında bulunan pompa biriminin hidrolik güç-yıl başına toplam maliyetine bölünerek bulunur. Örneğin, 90 mm yerine 110 mm boru dış çapı seçildiğinde, bu işlemin ekonomik olabilmesi için pompa biriminde tasarrufu gereken hidrolik güç;

$$\frac{(5g)}{(4)} = \frac{16.59}{183.83} = 0.090 \text{ BG}$$

olarak hesaplanır.

i) Ana boru hattında, 100 m boru uzunluğunda, bir sonraki geniş boru çapının ekonomik olabilmesi için, tasarrufu gereken yük kayıpları değerleri yazılır. Bu değerler, (h) satırındaki tasarrufu gereken hidrolik güç değerleri (75 Q) oranı ile çarpılarak bulunur. Burada Q, sistem debisidir (L/s). Örneğin,

90 mm yerine 110 mm boru dış çapı seçildiğinde, bu işlemin ekonomik olabilmesi için tasarrufu gereken yük kayıpları;

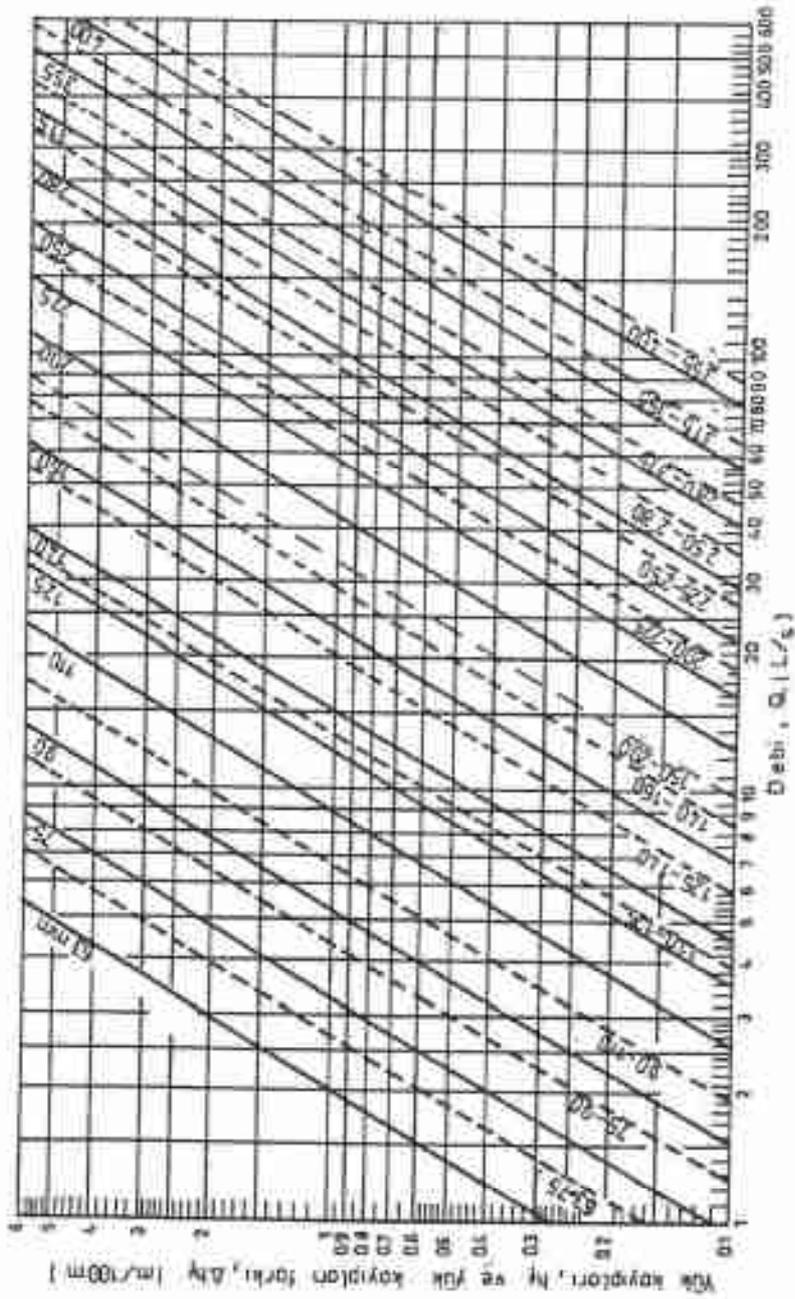
$$\frac{75x(5h)}{Q} = \frac{75x0.090}{22.4} = 0.30 \text{ m}/100 \text{ m}$$

olarak hesaplanır.

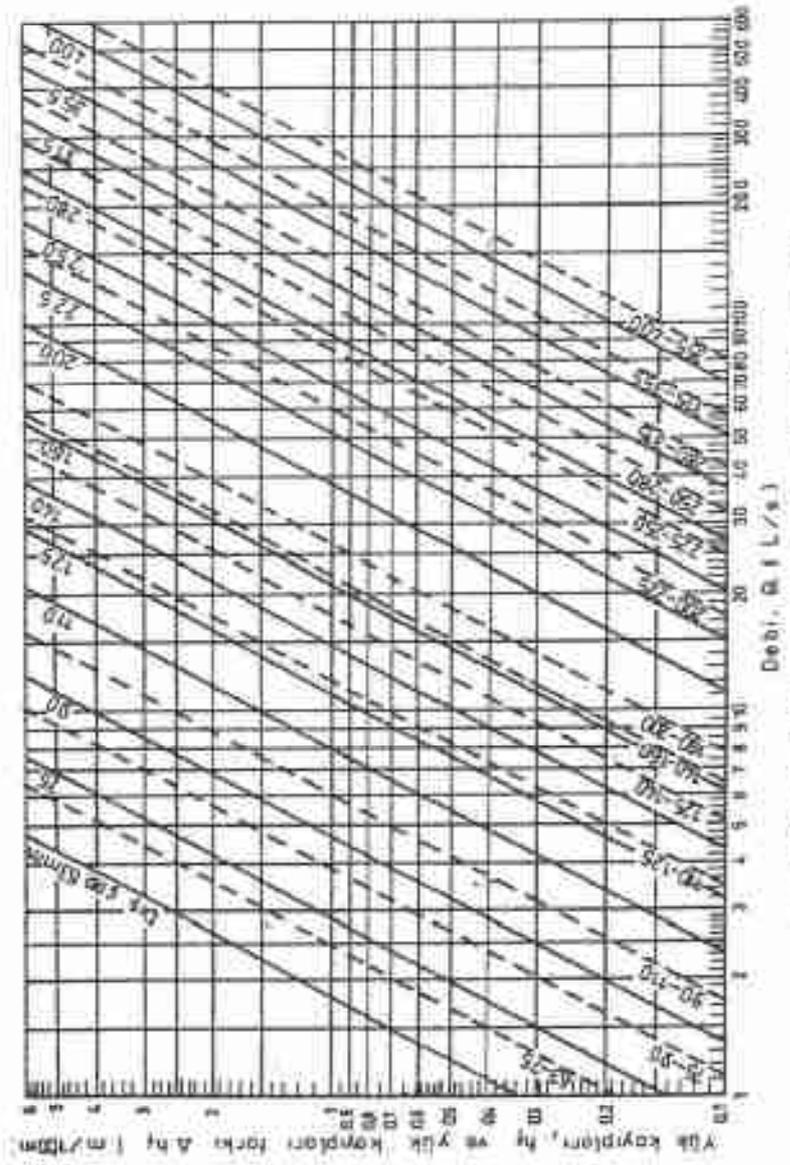
j) Ana boru hattının herhangi bir bölümünde, boru çapı bir sonraki geniş boru çapına artırıldığında oluşan maliyet artışının, pompa biriminde sağlanan maliyet azalmasına eşit olduğu kritik debi değerleri bulunur. Bu amaçla, gömülü ana boru hatlarında kullanılan, 6 ve 10 atm işletme basınçlı sert PVC borular için Şekil 3.29 ve 3.30'da verilen yük kaybı diyagramlarından yararlanılabilir (gömülü 6 atm işletme basınçlı sert PVC borular bireysel damla sulama sistemlerinde kullanılır). Bu diyagramlarda, düz çizgilerden yük kayıpları ( $h_f$ ), kesik çizgilerden ise ardışık boru çapları arasındaki yük kayıpları farkı ( $\Delta h_f$ ) bulunur. Bu diyagramlardan yararlanarak, (j) satırındaki kritik debi değerlerini elde etmek için, diyagramın solunda, (i) satırında bulunan tasarrufu gereken yük kaybı değerinden, göz önüne alınan ardışık boru çaplarını gösteren kesik çizgiye kadar sağa gidilir ve buradan aşağıya inilerek kritik debi değeri bulunur. Bu örnekte, ana boru hattı, 10 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulacağı için Şekil 3.30'daki diyagram kullanılır. Örneğin, 90-110 mm boru dış çapları için kritik debi bulunmak istendiğinde, diyagramın sol tarafında, (i) satırındaki  $\Delta h_f = 0.30 \text{ m}/100 \text{ m}$  değerinden, 90-110 mm kesik çizgisine kadar gidilir ve buradan aşağı inilerek kritik debi  $Q = 3.2 \text{ L/s}$  olarak elde edilir.

Ana boru hattı yıllık maliyeti ile pompa birimi yıllık maliyeti toplamının en az olduğu, ana boru bölümlerindeki boru çaplarını bulmak için, Çizelge 3.9'da (j) satırındaki kritik debi değerlerinden yararlanılır. Boru bölümünde iletilecek debi, hangi iki kritik debi arasında kalıyorsa, aradaki kolonda, (a) satırında görülen çap, o boru bölümünün çapını verir. Örneğin, C-E boru bölümünde iletilecek debi,  $Q = 8.9 \text{ L/s}$ 'dir. Bu değer, (j) satırındaki 7.0 L/s ve 13.0 L/s kritik debi değerleri arasındadır. Aradaki kolonda, (a) satırında 125 mm dış çap yazılıdır. Dolayısıyla, C-E boru bölümü dış çapı 125 mm olacaktır. Benzer biçimde, P-A boru bölümünün dış çapı 160 mm ve A-C boru bölümünün dış çapı ise 140 mm bulunur. Bu sonuçlar, ayrıca, Çizelge 3.12'de gösterilmiştir.

Taşınabilir yağmurlama sulama sistemlerinde, ana boru hattı çapının saptanmasında Keller yöntemi, aynı biçimde uygulanır. Yalnız, bu tip sistemlerde, ana boru hattı yüzeye serildiğinden ve bir konumdan diğerine taşındığından, çap değişikliği yoluna gidilmez. Belirlenen sistem debisi, ana



Şekil 3.29. Sert PVC borularda (6 mm) yük kayıpları diyagramı



Şekil 3.30. Seri PVC borularda (10 atm) yük kayıpları diyagramı

Çizelge 3.12. Örneğe ilişkin ana boru hattı çapları

Boru bölümü	Debi, $Q$ (L/s)	Dış çap (mm)
P-A	22.4	160
A-C	17.9	140
C-E	8.9	125

boru hattı boyunca iletilir. Dolayısıyla, ana boru hattının tamamı aynı çaplı borulardan oluşturulur. Bu amaçla, yüzeye serili ana boru hatlarında kullanılan, 6 atm işletme basıncılı sert PE ve alüminyum borular için Şekil 3.25 ve 3.26 da verilen yük kayıpları grafiklerinden yararlanılabilir.

#### 6. aşama : Pompa birimi

Yağmurlama sulama sistemlerinde, uygun pompa birimi, sistem debisi, manometrik yükseklik ve kullanılacağı öngörülen pompanın karakteristik eğrilerine göre seçilir. Verilen örnekte, pompa biriminin seçilmesi aşağıda açıklanmıştır.

##### a) Ana boru hattında oluşan yük kayıpları

P-A boru bölümünde, debi,  $Q = 22.4$  L/s, boru hattı uzunluğu,  $L = 190$  m ve boru dış çapı 160 mm olduğundan, Şekil 3.30'dan yararlanarak;

$$h_{f_{P-A}} = \frac{1.2}{100} \times 190 = 2.28 \text{ m}$$

A-C boru bölümünde, debi,  $Q = 17.9$  L/s, boru hattı uzunluğu,  $L = 108$  m ve boru dış çapı 140 mm olduğundan;

$$h_{f_{A-C}} = \frac{1.50}{100} \times 108 = 1.62 \text{ m}$$

C-E boru bölümünde, debi,  $Q = 8.9$  L/s, boru hattı uzunluğu,  $L = 108$  m ve boru dış çapı 125 mm olduğundan;

$$h_{f_{C-E}} = \frac{0.67}{100} \times 108 = 0.72 \text{ m}$$

ve ana boru hattında oluşan yük kayıpları;

$$h_f = h_{f_{P-A}} + h_{f_{A-C}} + h_{f_{C-E}} = 2.28 + 1.62 + 0.72 = 4.62 \text{ m}$$

bulunur.

**b) Manometrik yükseklik**

Örnekte, kuyu dinamik yüksekliği,  $H_d = 40$  m, ana boru hattında E noktası ile pompa birimi arasındaki yükseklik farkı,  $h_p = 3.70$  m (bayır yukarı), ana boru hattında oluşan yük kayıpları,  $h_f = 4.62$  m ve ana boru hattında istenen basınç  $H = 33$  m olduğundan, manometrik yükseklik;

$$H_m = H_d + h_p + h_f + H = 40 + 3.70 + 4.62 + 33 = 81.32 \text{ m} \approx 81 \text{ m}$$

bulunur.

**e) Pompa birimi**

Piyasadan, manometrik yüksekliği,  $H_m = 81$  m ve debisi,  $Q = 22.4$  L/s özelliklerindeki, en yüksek pompa randımanına sahip uygun dalgıç tipi pompa seçilir.

*Ana boru çapı ve pompa birimi seçiminde doğrusal programlama modeli* : Ana boru hattı çapının saptanmasında ve pompa biriminin seçiminde, ana boru hattı ile pompa birimi yıllık maliyet toplamını en az kılacak biçimde doğrusal programlama modeli oluşturulur. Modelin oluşturulması, planı Şekil 3.28'de verilen ana boru hattı örnek alınarak aşağıda açıklanmıştır.

**1. aşama** : Pompa biriminde birim manometrik yükseklik maliyeti

Bu amaçla, önce, Keller yönteminde açıklandığı gibi ilk dört aşama işlemleri yapılır ve pompa biriminin hidrolik güç-yıl (hBG-yıl) başına toplam maliyeti bulunur. Bilindiği üzere bu değer;

$$M_{hBG-yıl} = 183.83 \text{ TL/hBG-yıl}$$

olarak elde edilmiştir. Pompa biriminde birim manometrik yükseklik maliyeti;

$$k_m = \frac{(M_{hBG-yıl})Q}{75} \quad (3.26)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

$k_m$  = Birim manometrik yükseklik maliyeti, TL/m-yıl,

$M_{hBG-yıl}$  = Pompa biriminin hidrolik güç-yıl başına toplam maliyeti, TL/hBG-yıl ve

$Q$  = Sistem debisi, L/s'dir.

Sistem debisi,  $Q = 22.4$  L/s olduğundan, birim manometrik yükseklik maliyeti;

$$k_m = \frac{(M_{hBG-yıl})Q}{75} = \frac{183.83 \times 22.4}{75} = 54.90 \text{ TL/m-yıl}$$

bulunur.

## 2. aşama : Seçenek boru çaplarında birim uzunluk yıllık maliyetleri

Seçenek boru çapları ve birim uzunluk maliyetleri Çizelge 3.11'de verilmiştir. Birim uzunluk yıllık maliyetleri ise Çizelge 3.13'te hesaplanmıştır.

## 3. aşama : Doğrusal programlama modeline esas veriler

Doğrusal programlama modelinin oluşturulmasında kullanılacak veriler, Çizelge 3.14'te gösterilmiştir. Her kolonda yapılan işlemler şöyledir:

- 1. kolona, boru bölümleri yazılmıştır.
- 2. kolona, boru bölümünün uzunluğu yazılmıştır.
- 3. kolona, boru bölümünde iletilecek debi değerleri yazılmıştır.

- 4. kolona, ortalama akış hızının 0.5-2.0 m/s arasında olduğu seçenek boru çapları yazılmıştır. Bu amaçla, Çizelge 3.10'dan yararlanılmıştır. Örneğin, P-A boru bölümünde iletilecek debi,  $Q=22.4$  L/s'dir. Bu debide, 10 atm işletme basınçlı sert PVC borularda, 140 mm dış çapta, ortalama akış hızı,  $V < 2.0$  m/s ve 250 mm dış çapta,  $V > 0.5$  m/s olmaktadır. Bu nedenle, A-C boru bölümünde seçenek boru dış çapları 140, 160, 200, 225 ve 250 mm'dir.

- 5. kolona, her çapta boru hattı birim uzunluğunun maliyetleri Çizelge 3.13'ten alınarak yazılmıştır.

- 6. kolona, her çapta boru hattı birim uzunluğunda oluşan yük kayıpları yazılmıştır. Bu değerler, Şekil 3.30'dan yararlanarak bulunmuştur. Şekilde m/100m cinsinden bulunan yük kayıpları m/m cinsine çevrilmiştir.

Çizelge 3.13. Seçenek boru çaplarında birim uzunluk yıllık maliyetleri

Dış çap (mm)	Maliyet (TL/m)	Faiz oranı, i (%)	Servis ömrü, n (yıl)	Amortisman Faktörü, AF	Yıllık maliyet (TL/m-yıl)
90	6.80	10	35	0.10369	0.71
110	8.40				0.87
125	10.40				1.08
140	13.50				1.40
160	17.70				1.84
200	27.30				2.83
225	32.90				3.41
250	42.70				4.43

Çizelge 3.14. Doğrusal programlama modeline esas veriler ve bulunan boru çapları

Boru bölümü	Uzunluk (m)	Debi (L/s)	Seçenek boru dış çapı (mm)	Birim uzunluk maliyeti (TL/m-yıl)	Yük kayıpları (m/m)	Seçenek boru çapında uzunluk (m)	Bulunan boru dış çapı (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
P-A	190	22.4	140	1.40	0.022	$X_1$	160
			160	1.84	0.011	$X_2$	
			200	2.83	0.004	$X_3$	
			225	3.41	0.002	$X_4$	
			250	4.43	0.001	$X_5$	
A-C	108	17.9	125	1.08	0.025	$X_6$	140
			140	1.40	0.014	$X_7$	
			160	1.84	0.008	$X_8$	
			200	2.83	0.003	$X_9$	
			225	3.41	0.001	$X_{10}$	
C-E	108	8.9	90	0.71	0.032	$X_{11}$	125
			110	0.87	0.012	$X_{12}$	
			125	1.08	0.007	$X_{13}$	
			140	1.40	0.004	$X_{14}$	
			160	1.84	0.002	$X_{15}$	

- 7. kolona, her boru bölümünde seçenek çaplardaki uzunluklar yazılmıştır. Bu değerler bilinmediğinden  $X_1, \dots, X_{15}$  biçiminde gösterilmiştir. Örneğin, P-A boru bölümünde, boru dış çapı, 140, 160, 200, 225 ve 250 mm'den herhangi biri olabileceği gibi, bu boru çaplarının bileşenlerinden de oluşabilir. Bu nedenle, doğrusal programlama modelinde, toplam 190 m olan P-A boru bölümünün  $X_1$  m'si 140 mm,  $X_2$  m'si 160 mm,  $X_3$  m'si 200 mm,  $X_4$  m'si 225 mm ve  $X_5$  m'si 250 mm dış çaplı borularla oluştuğu varsayılmaktadır.

#### 4. aşama : Doğrusal programlama modeli

*Amaç fonksiyonu* : Ana boru hattı çapı, pompa birimi ile ana boru hattı yıllık toplam maliyetlerini en az kılacak biçimde seçildiğinden, amaç fonksiyonu;

$$\text{MIN } M = k_p H_m + \sum_{i=1}^n M_i X_i \quad (3.27)$$

biçiminde yazılabilir. Burada;

- $M$  = Pompa birimi ve ana boru hattının toplam yıllık maliyeti, TL/yıl  
 $k_p$  = Birim manometrik yükseklik maliyeti, TL/m-yıl,  
 $H_m$  = Manometrik yükseklik, m,  
 $k_p H_m$  = Pompa biriminin yıllık toplam maliyeti, TL/yıl  
 $M_i$  = Ana boru hattında, herhangi bir bölümün  $i$ . çaptaki kısmının birim uzunluk maliyeti, TL/m-yıl  
 $X_i$  = Ana boru hattında, herhangi bir bölümün  $i$ . çaptaki kısmının uzunluğu, m ve

$$\sum_{i=1}^n M_i X_i = \text{Ana boru hattının yıllık toplam maliyeti, TL/yıl'dır.}$$

Örnek için amaç fonksiyonu;

$$\text{MIN: } 54.90 H_m + 1.40 X_1 + 1.84 X_2 + 2.83 X_3 + 3.41 X_4 + 4.43 X_5 + 108 X_6 + 1.40 X_7 + 1.84 X_8 + 2.83 X_9 + 3.41 X_{10} + 0.71 X_{11} + 0.87 X_{12} + 1.08 X_{13} + 1.40 X_{14} + 1.84 X_{15}$$

biçiminde yazılır.

**Kısıtlar :** Bu doğrusal programlama modelinde kısıtlar, uzunluk kısıtları, manometrik yükseklik kısıtı ve yük kaybı kısıtlarından oluşur.

a) Uzunluk kısıtları : Herhangi bir boru bölümünde, farklı çaplardaki boru uzunluklarının toplamı, boru bölümünün uzunluğuna eşit olmalıdır. Örnekte, uzunluk kısıtları;

P-A boru bölümü için;

$$(1) \quad X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = 190$$

A-C boru bölümü için;

$$(2) \quad X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} = 108$$

C-E boru bölümü için;

$$(3) \quad X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 108$$

biçiminde yazılır.

b) Manometrik yükseklik kısıtı;

Pompa birimi manometrik yüksekliği, (3.14) nolu eşitlikte verildiği gibi;

$$H_m = h_{de} + h_f + H$$

eşitliği ile bulunur. Doğrusal programlama modelinde manometrik yükseklik kısıtı yazılırken, bu eşitlikteki yük kayıpları ( $h_f$ ) göz önüne alınmaz. Ayrıca,

yükseklik farkı ( $h_x$ ) olarak, ana boru hattının en yüksek noktası ile pompa birimi arasındaki yükseklik farkı dikkate alınır. Örnekte, kuyu dinamik yüksekliği  $h_{dv} = H_d = 40$  m, ana boru hattının en yüksek noktası ile pompa birimi arasındaki yükseklik farkı,  $h_x = 3.70$  m (bayır yukarı) ve ana boru hattında istenen basınç,  $H = 33$  m'dir. Bu değerlere göre manometrik yükseklik kısıtı:

$$H_m \geq H_d - h_x - H \geq 40 - 3.70 - 33$$

$$(4) \quad H_m \geq 75.70$$

biçiminde elde edilir.

e) Yük kayıpları kısıtı;

Manometrik yükseklik;

$$H_m = h_{dv} \pm h_x + h_f + H$$

eşitliği göz önüne alındığında, bu eşitlikte bilinmeyenler, manometrik yükseklik ( $H_m$ ) ve ana boru hattında oluşan toplam yük kayıplarıdır ( $h_f$ ). Buna göre, eşitlik düzenlenirse;

$$H_m - h_f \geq h_{dv} \pm h_x - H \geq 40 - 3.70 - 33$$

yazılabilir. Burada, ana boru hattında oluşan yük kayıpları, Çizelge 3.14'te, 6. kolon değerleri ile 7. kolon değerleri çarpımlarının toplamına eşdeğer olur. Sonuçta, yük kayıpları kısıtı:

$$(5) \quad H_m - 0.022 X_1 - 0.011 X_2 - 0.004 X_3 - 0.002 X_4 - 0.001 X_5 - 0.025 X_6 - 0.014 X_7 - 0.008 X_8 - 0.003 X_9 - 0.001 X_{10} - 0.032 X_{11} - 0.012 X_{12} - 0.007 X_{13} - 0.004 X_{14} - 0.002 X_{15} \geq 76.70$$

olarak yazılır. Görüldüğü gibi, örnek için yazılan doğrusal programlama modeli 16 değişkenli ( $H_m, X_1, \dots, X_{15}$ ) ve 5 kısıtlıdır. Bu model, bilgisayarda çözülerek her boru bölümünün çapı ve manometrik yükseklik değeri bulunur. Doğrusal programlama modelinin çözümü sonucunda elde edilen boru dış çapları, Çizelge 3.11'in 8. kolonuna yazılmıştır. Ayrıca, manometrik yükseklik  $H_m = 81.06$  m  $\approx$  81 m biçiminde elde edilmiştir.

5. aşama : Pompa birimi

Piyasadan, manometrik yüksekliği,  $H_m = 81$  m ve debisi,  $Q = 22.4$  L/s özelliklerindeki, en yüksek pompa randımanına sahip uygun dalgıç tipi pompa seçilir.

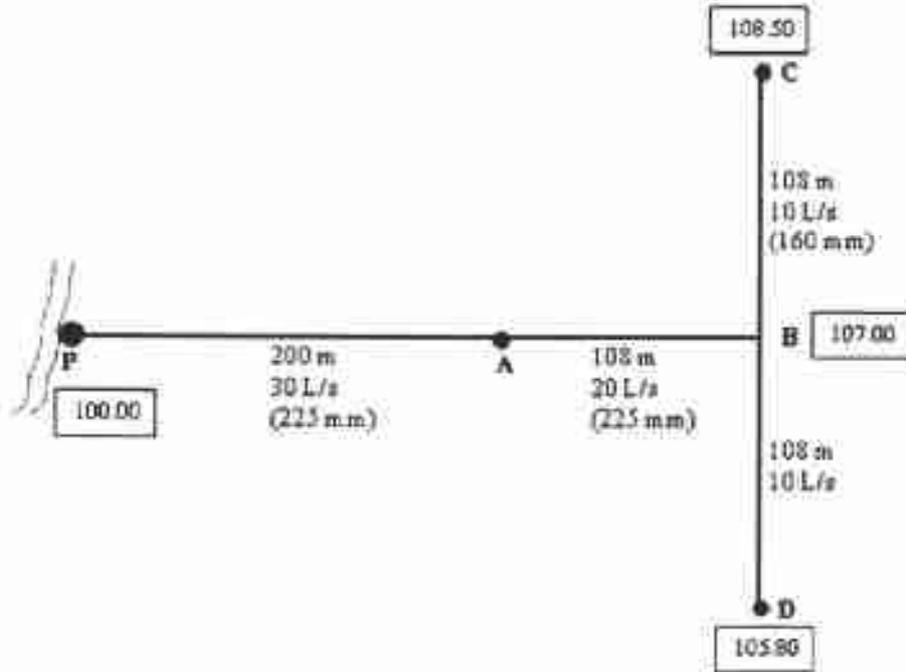
### 3.8.6. Dallı Ana Boru Hatlarında Boru Çapı ve Pompa Birimi

**Keller yöntemiyle çözüm :** Dallı ana boru hatlarının Keller yöntemiyle çözümünde, pompa biriminde en fazla manometrik yükseklik oluşturan hat kritik hat olarak seçilir. Kritik hat, genellikle, en uzak ve en yüksekteki noktayı

pompa birimine bağlayan hattır. Diğer hatlar yan dal durumundadır. Kritik hattın boru çapı, Keller yöntemiyle bilinen biçimde bulunur. Yan dalların boru çapı ise izin verilen yük kayıpları dikkate alınarak saptanır.

Örneğin, planı Şekil 3.31'de verilen dallı ana boru hattı ele alınsın. Tasarımda, kaynak araştırması, uygun yağmurlama başlığının seçilmesi ve lateral boru çapına ilişkin yapılan işlemler sonucunda aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

- Sulanacak alan,  $A = 125$  da
- Su kaynağı akarsudur ve sulama suyu diesel motorlu santrifuj tipi pompa ile alınacaktır.
- Pompa birimi dinamik emme yüksekliği,  $h_w = 4$  m
- Alanda tarımı yapılacak bitkiler içerisinde kritik bitki şeker pancarıdır.
- Mevsimlik toplam sulama suyu gereksinimi,  $d_s = 680$  mm
- Ana boru hattı 10 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulacaktır.
- Lateral boru hattı 6 atm işletme basınçlı sert PE borulardan oluşturulmuş ve dış çapı 75 mm bulunmuştur.
- Ana boru hattında istenen basınç,  $H = 28$  m



Şekil 3.31. Örneğe ilişkin dallı ana boru hattı planı

Pompada en fazla manometrik yükseklik oluşturan hat, en yüksekte ve en uzaktaki C noktasını pompaya bağlayan P-A-B-C hattı kritik hat, B-D hattı ise yan dal durumundadır. Önce, P-A-B-C kritik hattı boru çapı Keller yöntemiyle bulunur.

#### P-A-B-C hattı boru çapı :

1. aşama : Pompanın yıllık çalışma süresi

Sulanacak alan,  $A = 125$  da, sistem debisi,  $Q = 30$  L/s ve mevsimlik toplam sulama suyu gereksinimi  $d_s = 680$  mm'dir.

$$T = \frac{A d_s}{3.6 Q} = \frac{125 \times 680}{3.6 \times 30} = 787 \text{ h}$$

2. aşama : Pompa biriminin fren gücü-saat (fBG-h) başına toplam maliyeti

a) Manometrik yükseklik

P-A-B-C hattı uzunluğu 416 m olduğundan, ana boru hattında oluşan yük kayıpları;

$$h_f = \frac{1.5}{100} \times 416 = 6.24 \text{ m}$$

ve Şekil 3.31'den, pompa birimi ile basma noktası (C noktası) arasındaki yükseklik farkı;

$$h_g = 108.50 - 100.00 = 8.50 \text{ m (bayır yukarı)}$$

bulunmuştur. Dinamik yüksekliği,  $h_{de} = 4$  m ve ana boru hattında istenen basınç,  $H = 28$  m'dir.

$$H_m = h_{de} + h_g + h_f + H = 4 + 8.50 + 6.24 + 28 = 46.74 \text{ m}$$

b) Pompa biriminin fren gücü

Manometrik yükseklik,  $H_m = 46.74$  m ve sistem debisi,  $Q = 30$  L/s'dir. Pompa birimi diesel motoru ile çalıştırılacağından pompa randımanı  $\eta_p = \% 70$  alınmıştır.

$$fBG = \frac{H_m Q}{75 \eta_p} = \frac{46.74 \times 30}{75 \times 0.70} = 26.7 \text{ BG}$$

c) Pompa biriminin tesis masrafları

Piyasa araştırması sonucunda, manometrik yükseklik,  $H_m = 46.74$  m ve debi,  $Q = 30$  L/s özelliklerindeki diesel motorlu santrifüj tipi pompanın tesis masrafları;

$$TM = 3800 \text{ TL}$$

olarak elde edilmiştir.

**d) Pompa biriminin fren gücü (fBG) başına tesis masrafları**

Pompa biriminin tesis masrafları,  $TM = 3800 \text{ TL}$  ve fren gücü,  $fBG = 26.7 \text{ BG}$ 'dir.

$$TM_{\text{BG}} = \frac{TM}{fBG} = \frac{3800}{26.7} = 142.32 \text{ TL / fBG}$$

**e) Pompa birimi servis ömrü**

Çizelge 3.8'den pompa birimi servis ömrü,

$$n = 14 \text{ yıl}$$

**f) Faiz oranı**

Faiz oranı,

$$i = \% 10$$

alınmıştır.

**g) Amortisman faktörü**

Faiz oranı,  $i = \% 10$  ve servis ömrü,  $n = 14$  yıl'dir.

$$AF = \frac{i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}} = \frac{0.10}{1 - \frac{1}{(1+0.10)^{14}}} = 0.13575$$

**h) Pompa biriminin fren gücü-yıl (fBG-yıl) başına sabit masrafları**

Amortisman faktörü,  $AF = 0.13575$  ve pompa biriminin fren gücü başına tesis masrafları,  $TM_{\text{BG}} = 142.32 \text{ TL/fBG}$ 'dir.

$$SM_{\text{BG-yıl}} = (AF)(TM_{\text{BG}}) = 0.13575 \times 142.32 = 19.32 \text{ TL / fBG - yıl}$$

**i) Pompa biriminin fren gücü-saat (fBG-h) başına sabit masrafları**

Pompa biriminin fren gücü-yıl başına sabit masrafları,  $SM_{\text{BG-yıl}} = 19.32 \text{ TL/fBG-yıl}$  ve pompanın yıllık çalışma süresi,  $T = 787 \text{ h}$ 'tir.

$$SM_{\text{BG-h}} = \frac{SM_{\text{BG-yıl}}}{T} = \frac{19.32}{787} = 0.02 \text{ TL / fBG - h}$$

**j) Pompa biriminin fren gücü-saat (fBG-h) başına enerji masrafları**

Pompa diesel motoru ile çalıştırılacağından (3.21) nolu eşitlik kullanılmıştır. Motorinin birim fiyatı,  $P = 2.50 \text{ TL/L}$ 'dir.

$$EM_{fBG-h} = 0.27P = 0.27 \times 2.50 = 0.68 \text{ TL / fBG-h}$$

k) Pompa biriminin fren gücü-saat (fBG-h) başına bakım masrafları

Pompa diesel motoru ile çalıştırılacağından, enerji masraflarının % 40'ı alınmıştır.

$$BM_{fBG-h} = 0.40 EM_{fBG-h} = 0.40 \times 0.68 = 0.27 \text{ TL / fBG-h}$$

l) Pompa biriminin fren gücü-saat (fBG-h) başına toplam maliyeti

$$\begin{aligned} M_{fBG-h} &= SM_{fBG-h} + EM_{fBG-h} + BM_{fBG-h} \\ &= 0.02 + 0.68 + 0.27 = 0.97 \text{ TL / fBG-h} \end{aligned}$$

3. aşama : Pompa biriminin fren gücü-yıl (fBG-yıl) başına toplam maliyeti

$$M_{fBG-yıl} = T(M_{fBG-h}) = 787 \times 0.97 = 763.39 \text{ TL / fBG-yıl}$$

4. aşama : Pompa biriminin hidrolik güç-yıl (hBG-yıl) başına toplam maliyeti

$$M_{hBG-yıl} = \frac{M_{fBG-yıl}}{\eta_p} = \frac{763.39}{0.70} = 1090.56 \text{ TL / hBG-yıl}$$

5. aşama : P-A-B-C hattı boru çapı

P-A-B-C hattı boru çapının saptanmasına ilişkin işlemler Çizelge 3.15 üzerinde yapılmıştır. Bu hatta iletilecek debi değerleri 10-30 L/s arasında olduğundan ve ana boru hattı 10 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulacağından, ortalama akış hızının 0.5-2.0 m/s arasında olduğu seçenек boru dış çapları 90, 110, 125, 140, 160, 200, 225, 250 ve 280 mm'dir.

Seçenек boru çaplarında, 100 m boru hattı uzunluğunun maliyetleri Çizelge 3.16'da verilmiştir.

Ana boru hattı sabit ve gömülü olduğundan ve sert PVC borulardan oluşturulduğundan, servis ömrü  $n = 35$  yıl, bunun yanında faiz oranı,  $i = \% 10$  alınmıştır. Bu değerler için amortisman faktörü,  $AF = 0.10369$  bulunmuştur.

Ana boru hattı, 10 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulacağı için, kritik debiler, Şekil 3.30'daki diyagramdan bulunmuştur.

Sonuç olarak, P-A-B-C kritik hattında P-A boru bölümü dış çapı 225 mm, A-B boru bölümünün dış çapı 200 ya da 225 mm (bu örnekte 225 mm alınmıştır) ve B-C boru bölümünün dış çapı ise 160 mm olarak elde edilmiştir. Bu çap değerleri Şekil 3.31'deki plan üzerine parantez içerisinde yazılmıştır.

Çizelge 3.15: Döflü ana boru hattına ilişkin örnekler P-A-B-C hattı için kritik debisi değerleri

	90	110	125	140	160	200	225	250	300
a) Boru dış çapı (mm)									
b) 100 m boru uzunluğunda materyal (TL/100 m)	680	840	1.040	1.330	1.770	2.730	3.200	4.270	4.290
c) Arızalık boru çapları arasındaki maliyet farkı (TL/100 m)	160	200	310	420	560	960	1060	1.000	
d) Boru hattı servisi ömrü, s (yıl)	35	35	35	35	35	35	35	35	35
e) Faz oranı, % (r)									
f) Amortisman faktörü, AF	0.10369	0.10269	0.10169	0.10069	0.10069	0.10069	0.10069	0.10069	0.10369
g) Arızalık boru çapları arasındaki yıllık maliyet farkı (TL/100 m) (1.50/35)	16.29	20.24	32.14	43.25	56.97	96.07	101.62	105.76	
h) Bir normal gereç boru çapının eklenmiş oluşturduğu toplamda gerçekleştirilen işin toplamda gerçekleştirilen işin (B/C) oranı (B/C)	0.015	0.019	0.029	0.045	0.061	0.101	0.103	0.107	0.107
i) Bir normal gereç boru çapının eklenmiş oluşturduğu işin toplamda gerçekleştirilen işin oranı (100 m) (250/300)	0.04	0.05	0.07	0.10	0.13	0.21	0.23	0.24	
j) Kritik debisi, Q (L/s)				6.0	12.0	20.0	30.0	39.0	51.0

Çizelge 3.16. Örnek için ana boru hattı birim uzunluk maliyetleri

Dış çap (mm)	Boru hattı maliyeti	
	TL/m	TL/100 m
90	6.80	680
110	8.40	840
125	10.40	1 040
140	13.50	1 350
160	17.70	1 770
200	27.30	2 730
225	32.90	3 290
250	42.70	4 270
280	52.90	5 290

#### 6. aşama : Pompa birimi

Dalı ana boru hatlarında pompa birimi, kritik hat göz önüne alınarak seçilir.

##### a) P-A-B-C kritik hatında oluşan yük kayıpları

P-A boru bölümünde, debi,  $Q = 30$  L/s, boru hattı uzunluğu,  $L = 200$  m ve boru dış çapı 225 mm olduğundan, Şekil 3.30'dan yararlanarak,

$$h_{f_{P-A}} = \frac{0.36}{100} \times 200 = 0.72 \text{ m}$$

A-B boru bölümünde, debi,  $Q = 20$  L/s, boru hattı uzunluğu,  $L = 108$  m ve boru dış çapı 225 mm olduğundan,

$$h_{f_{A-B}} = \frac{0.17}{100} \times 108 = 0.18 \text{ m}$$

B-C boru bölümünde, debi,  $Q = 10$  L/s, boru hattı uzunluğu,  $L = 108$  m ve boru dış çapı 160 mm olduğundan,

$$h_{f_{B-C}} = \frac{0.26}{100} \times 108 = 0.28 \text{ m}$$

ve P-A-B-C hatında oluşan yük kayıpları;

$$h_{f_{P-C}} = h_{f_{P-A}} + h_{f_{A-B}} + h_{f_{B-C}} = 0.72 + 0.18 + 0.28 = 1.18 \text{ m}$$

bulunur.

**b) Manometrik yükseklik**

Örnekte, dinamik emme yüksekliği,  $h_{de} = 4$  m, kritik hatta C noktası ile pompa birimi arasındaki yükseklik farkı,  $h_{g\ P-C} = 8.50$  m (bayır yukarı), kritik hatta oluşan yük kayıpları,  $h_{f\ P-C} = 1.18$  m ve ana boru hattında istenen basınç  $H = 28$  m olduğundan, manometrik yükseklik;

$$H_m = h_{de} \pm h_{g\ P-C} + h_{f\ P-C} + H = 4 + 8.50 + 1.18 + 28 = 41.68 \text{ m}$$

bulunur.

**c) Pompa birimi**

Piyasadan, manometrik yüksekliği,  $H_m = 41.68$  m ve debisi,  $Q = 30$  L/s özelliklerindeki, en yüksek pompa randimanına sahip uygun diesel motorlu, yatay milli, santrifüj tipi pompa seçilir.

**B-D dalı boru çapı :** Dalı ana boru hatlarında, kritik hatın boru çapı Keller yöntemiyle bulunduktan sonra, yan dalların boru çapı bulunurken, her yan dalda izin verilen yük kayıpları saptanır ve bu izin verilen yük kayıplarını geçmeyecek kadar yük kaybı oluşturan boru çapı seçilir. İzin verilen yük kayıplarını belirlemek için ise, yan dal başlangıcında istenen basınç değeri hesaplanır. Şekil 3.31'deki B-D dalının boru çapını bulmak için yapılan işlemler aşağıda verilmiştir.

**I. aşama : B noktasında istenen basınç**

P-A-B-C kritik hattı ile B-C yan dalının ortak noktası olan B noktasında istenen basınç, C noktasındaki basınca, B-C boru bölümündeki yük kayıplarının ( $h_{f\ B-C}$ ) eklenmesi ve B ile C noktaları arasındaki yükseklik farkı ( $h_{g\ B-C}$ ) ile düzeltilmesi sonucunda bulunur.

$$H_B = H_C + h_{f\ B-C} \pm h_{g\ B-C}$$

Burada, C noktasındaki basınç, ana boru hattında istenen basınca eşdeğerdir ve  $H_C = H = 28$  m'dir. B-C hattında oluşan yük kayıpları, boru dış çapı 160 mm, debi,  $Q = 10$  L/s ve uzunluk,  $L = 108$  m için Şekil 3.30'dan;

$$h_{f\ B-C} = \frac{0.26}{100} \times 108 = 0.28 \text{ m}$$

B ile C noktaları arasındaki yükseklik farkı;

$$h_{g\ B-C} = 108.50 - 107.00 = 1.50 \text{ m (bayır yukarı)}$$

ve B noktasında istenen basınç;

$$H_B = H_C + h_{f\ B-C} \pm h_{g\ B-C} = 28 + 0.28 + 1.50 = 29.78 \text{ m}$$

bulunur.

**2. aşama :** B-D yan dalında izin verilen yük kayıpları

Benzer biçimde, B noktasında istenen basınç, D noktasından başlayarak yazılırsa;

$$H_B = H_D + h_{fB-D} \pm h_{zB-D}$$

Bu eşitlikte, D noktasındaki basınç ta, ana boru hattında istenen basınca eşdeğerdir ve  $H_D = H = 28$  m'dir. B ile D noktaları arasındaki yükseklik farkı;

$$h_{zB-D} = 107.00 - 105.80 = 1.20 \text{ m (bayır aşağı)}$$

ve B-D hattında izin verilen yük kayıpları;

$$H_B = H_D + h_{fB-D} \pm h_{zB-D}$$

$$29.78 = 28 + h_{fB-D} - 1.20$$

$$h_{fB-D} = 2.98 \text{ m}$$

bulunur.

**3. aşama :** B-D yan dalı boru çapı

B-D yan dalında izin verilen yük kayıpları,  $h_{fB-D} = 2.98$  m olduğundan, bu yük kayıplarını aşmayacak boru çapı seçilir.

İşleme, ana boru hattında kullanılabilen en küçük dış çap olan 90 mm ile başlanır. Bu koşulda, B-D hattında oluşan yük kayıpları, boru dış çapı 90 mm, debi,  $Q = 10$  L/s ve uzunluk,  $L = 108$  m için Şekil 3.29'dan,

$$h_f = \frac{4.0}{100} \times 108 = 4.32 \text{ m}$$

bulunur. Bu değer, izin verilen yük kayıplarından büyük olduğundan uygun değildir. Boru dış çapı 110 mm alındığında yük kayıpları;

$$h_f = \frac{1.5}{100} \times 108 = 1.62 \text{ m}$$

olarak elde edilir. Bu değer, izin verilen yük kayıplarından küçük olduğu için 110 mm dış çap uygundur.

Ancak, B-D boru hattının tamamı, 110 mm dış çaplı borulardan oluşturulursa, yük kayıpları 1.62 m olmaktadır. Oysa, izi verilen yük kayıpları 2.98 m'dir. Aradaki,  $\Delta h_f = 2.98 - 1.62 = 1.36$  m yük kayıpları farkı, B-D boru hattında, D noktasından başlayarak belirli uzunluğun dış çapını 90 mm'ye

düşürme olanakları sağlar. B-D hattında iletilen debi,  $Q = 10$  L/s için Şekil 3.30'dan, 90-110 mm dış çaplar arasındaki yük kayıpları farkı;

$$\Delta h_f = 2.5 \text{ m}/100 \text{ m}$$

bulunur. 2.5 m yük kayıpları farkı, 100 m boru uzunluğunda olduğu için 1.36 m yük kayıpları farkı 54 m boru uzunluğunda meydana gelir. Bu nedenle, B-D hattının son 54 m'si 90 mm ve artakalan 54 m'si 110 mm dış çaplı borulardan oluşturulur.

Sonuçta, örnek olarak ele alınan dallı ana boru hattında, farklı boru bölümlerinin çapları Çizelge 3.17'de verilmiştir.

**Doğrusal programlama modeli ile çözüm :** Örnek olarak alınan ve planı Şekil 3.31'de verilen dallı ana boru hattının doğrusal programlama modeli ile çözümü aşağıda açıklanmıştır.

**1. aşama :** Pompa biriminde birim manometrik yükseklik maliyeti

Bu amaçla, önce, P-A-B-C kritik hattı dikkate alınarak, Keller yöntemindeki ilk dört aşama işlemleri yapılır ve pompa biriminin hidrolik güç-yıl (hBG-yıl) başına toplam maliyeti;

$$M_{hBG-yıl} = 1090.56 \text{ TL hBG-yıl}$$

olarak bulunur. Sistem debisi,  $Q = 30$  L/s olduğundan, pompa biriminde, birim manometrik yükseklik maliyeti;

$$k_p = \frac{(M_{hBG-yıl})Q}{75} = \frac{1090.56 \times 30}{75} = 436.22 \text{ TL m-yıl}$$

biçiminde elde edilir.

**2. aşama :** Seçenek boru çaplarında birim uzunluk yıllık maliyetleri

Seçenek boru çaplarında, birim uzunluk yıllık maliyetleri, Çizelge 3.18'de verilmiştir.

Çizelge 3.17. Örneğe ilişkin dallı ana boru hattı çapları

Boru bölümü	Debi, Q (L/s)	Dış çap (mm)	Uzunluk (m)
P-A	30	225	200
A-B	20	225	108
B-C	10	160	108
C-D	10	110	54
		90	54

Çizelge 3.18. Dalı ana boru hattı için seçenek boru çaplarında birim uzunluk yıllık maliyetleri

Dış çap (mm)	Maliyet (TL/m)	Faiz oranı, i (%)	Servis ömrü, n (yıl)	Amortisman Faktörü, AF	Yıllık maliyet (TL/m-yıl)
90	6.80	10	35	0.10369	0.71
110	8.40				0.87
125	10.40				1.08
140	13.50				1.40
160	17.70				1.84
200	27.30				2.83
225	32.90				3.41
250	42.70				4.43
280	52.90				5.49

### 3. aşama : Doğrusal programlama modeline esas veriler

Doğrusal programlama modelinin oluşturulmasında kullanılacak veriler, Çizelge 3.19'da gösterilmiştir.

### 4. aşama : Doğrusal programlama modeli

#### Amac fonksiyonu :

$$MIN \ 436.22 H_m - 1.84 X_1 - 2.83 X_2 - 3.41 X_3 - 4.43 X_4 - 3.49 X_5 - 1.08 X_6 - 1.40 X_7 - 1.84 X_8 - 2.83 X_9 - 3.41 X_{10} - 4.43 X_{11} - 0.71 X_{12} - 0.87 X_{13} - 1.08 X_{14} - 1.40 X_{15} - 1.84 X_{16} - 0.71 X_{17} - 0.87 X_{18} - 1.08 X_{19} - 1.40 X_{20} - 1.84 X_{21}$$

#### Kısıtlar :

##### a) Uzunluk kısıtları

P-A boru bölümü için;

$$(1) \ X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = 200$$

A-B boru bölümü için;

$$(2) \ X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} = 108$$

B-C boru bölümü için;

$$(3) \ X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} = 108$$

B-D boru bölümü için;

$$(4) \ X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{20} + X_{21} = 108$$

Çizelge 3.19. Doğrusal programlama modeline esas veriler ve bulunan boru çapları

Boru bölümü	Uzunluk (m)	Debi (L/s)	Seçenek boru dış çapı (mm)	Birim uzunluk maliyeti (TL/m-yıl)	Yük kayıpları (m/m)	Seçenek boru çapında uzunluk (m)	Bulunan boru dış çapı (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
P-A	200	30	160	1.84	0.019	$X_1$	225
			200	2.83	0.006	$X_2$	
			225	3.41	0.004	$X_3$	
			250	4.43	0.002	$X_4$	
			280	5.49	0.001	$X_5$	
A-B	108	20	125	1.08	0.030	$X_6$	200
			140	1.40	0.017	$X_7$	
			160	1.84	0.009	$X_8$	
			200	2.83	0.003	$X_9$	
			225	3.41	0.002	$X_{10}$	
B-C	108	10	90	0.71	0.040	$X_{11}$	160
			110	0.87	0.015	$X_{12}$	
			125	1.08	0.008	$X_{13}$	
			140	1.40	0.005	$X_{14}$	
			160	1.84	0.002	$X_{15}$	
B-D	108	10	90	0.71	0.040	$X_{16}$	110 (56 m) 90 (52 m)
			110	0.87	0.015	$X_{17}$	
			125	1.08	0.008	$X_{18}$	
			140	1.40	0.005	$X_{19}$	
			160	1.84	0.002	$X_{20}$	

**b) Manometrik yükseklik kısıtı;**

Örnekte, dinamik emme yüksekliği  $h_{de} = 4$  m, ana boru hattının en yüksek noktası ile pompa birimi arasındaki yükseklik farkı,  $h_p = 8.50$  m (bayır yukarı) ve ana boru hattında istenen basınç,  $H = 28$  m'dir. Bu değerlere göre manometrik yükseklik kısıtı;

$$H_m \geq H_d - h_p - H \geq 4 - 8.50 - 28$$

(3)  $H_m \geq 40.50$

c) Yük kayıpları kısıtı;

Burada, yük kayıpları kısıtı, hem P-A-B-C hem de P-A-B-D hattı için ayrı yazılır.

P-A-B-C hattı için;

$$H_m = h_{de} \pm h_g + h_f + H$$

$$H_m - h_{fP-C} \geq h_{de} \pm h_{gP-C} + H \geq 4 - 8,50 = 28$$

$$(6) \quad H_m - 0,019 X_1 - 0,006 X_2 - 0,004 X_3 - 0,002 X_4 - 0,001 X_5 - 0,030 X_6 - 0,017 X_7 - 0,009 X_8 - 0,003 X_9 - 0,002 X_{10} - 0,001 X_{11} - 0,040 X_{12} - 0,015 X_{13} - 0,008 X_{14} - 0,005 X_{15} - 0,002 X_{16} \geq 40,50$$

P-A-B-D hattı için;

$$H_m = h_{de} \pm h_g + h_f + H$$

$$H_m - h_{fP-D} \geq h_{de} \pm h_{gP-D} + H \geq 4 - 5,80 = 28$$

$$(7) \quad H_m - 0,019 X_1 - 0,006 X_2 - 0,004 X_3 - 0,002 X_4 - 0,001 X_5 - 0,030 X_6 - 0,017 X_7 - 0,009 X_8 - 0,003 X_9 - 0,002 X_{10} - 0,001 X_{11} - 0,040 X_{12} - 0,015 X_{13} - 0,008 X_{14} - 0,005 X_{15} - 0,002 X_{16} \geq 37,80$$

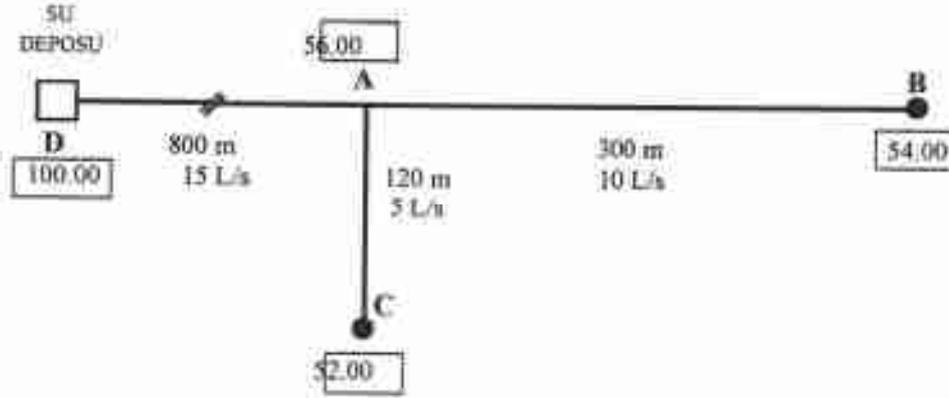
Doğrusal programlama modelinin bilgisayarla çözümü sonucunda elde edilen boru dış çapları, Çizelge 3.19'un 8. kolonuna yazılmıştır. Ayrıca, manometrik yükseklik,  $H_m = 41,83$  m bulunmuştur. Doğrusal programlama modeli ve Keller yöntemi ile çözümde boru çaplarındaki farklılık yük kayıplarının yuvarlaklaştırılmasından kaynaklanmaktadır.

### 3.8.7. Sistem Basıncının Yerçekimiyle Sağlanması Koşulunda Ana Boru Çapı

Gerekli sistem giriş basıncının, dolayısıyla da işletme basıncının yerçekimi ile sağlandığı yağmurlama sulama sistemlerinde, ana boru çapının saptanması, bir önceki bölümde açıklanan, dallı ana boru hatlarında yan dal boru çapının saptanması ile aynıdır. Burada da, ana boru hattı (ya da seçilen kritik hat) boyunca oluşan yük kayıpları, izin verilen yük kayıplarını aşmayacak biçimde boru çapı seçilir. Konuya ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir.

**Örnek :**

Planı Şekil 3.32'de verilen ana boru hattı ele alınacaktır. Şekilden izleneceği gibi, yağmurlama sistemine sulama suyu yüksekteki bir su deposundan alınmaktadır. Depo su çıkışının (ana boru hattı başlangıcının) kotu 100 m'dir. Gerekli olan diğer veriler şöyledir.



Şekil 3.32. Örneğe ilişkin yağmurlama sulama sistemi ana boru hattı planı

- Ana boru hattı, 10 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulacaktır.
- Lateraller, 6 atm işletme basınçlı sert PE borulardan oluşturulmuş ve lateral boru dış çapı 63 mm bulunmuştur.
- Ana boru hattında istenen basınç,  $H = 36$  m'dir.

Örnekteki ana boru hattı dallı olduğundan, önce kritik hat belirlenir ve bu hattın boru çapı bulunur. Kritik hat, en uzak ve en yüksekteki noktayı depoya bağlayan hattır. Bu örnekte, her ne kadar A noktasının kotu, B noktasının kotundan 2 m daha yüksekte olsa da, A-B boru bölümünde oluşacak yük kayıplarının 2 m'yi geçeceği yaklaşımla, kritik hat olarak D-A-B hattı alınmıştır.

#### D-A-B hattı boru çapı :

1. aşama : D-A-B hattında izin verilen yük kayıpları:

D-A-B hattında yükseklik farkı, bu boru hattında oluşan yük kayıpları ile ana boru hattında istene basıncın toplamına eşit olmalıdır.

$$h_{gD-B} = h_{fD-B} + H$$

Ana boru hattında istenen basınç,  $H = 36$  m'dir. D ile B noktaları arasındaki yükseklik farkı,

$$h_{gD-B} = 100.00 - 54.00 = 46.00 \text{ m}$$

ve sonuçta, D-B hattında izin verilen yük kayıpları:

$$h_{fD-B} = h_{sD-B} - H = 46.00 - 36.00 = 10.00 \text{ m}$$

bulunur.

## 2. aşama : D-A-B hattı boru çapı

D-A-B hattında izin verilen yük kayıpları,  $h_{fD-B} = 10.00 \text{ m}$  olduğundan, bu yük kayıplarını aşmayacak boru çapı seçilir.

Çizelge 3.7'den yararlanılarak, ortalama akış hızının  $2 \text{ m/s}$ 'yi geçmediği en küçük boru dış çapının D-A boru bölümünde  $110 \text{ mm}$  ve A-B boru bölümünde  $90 \text{ mm}$  olduğu bulunur. Bu boru bölümlerinde, sözü edilen en küçük dış çaplar seçildiğinde, Şekil 3.30'daki yük kayıpları diyagramından yararlanarak, D-A-B hattında oluşan yük kayıpları;

$$h_f = \frac{3.20}{100} \times 800 + \frac{4.00}{100} \times 300 = 37.60 \text{ m}$$

bulunur. Bu değer izin verilen yük kayıplarından büyük olduğu için uygun değildir. İşleme boru çapları artırılarak devam edilir. Benzer yaklaşımlar sonucunda, D-A ve A-B boru bölümlerinin her ikisinin de dış çapı  $140 \text{ mm}$  seçilirse, D-A-B hattında oluşan yük kayıpları;

$$h_f = \frac{1.00}{100} \times 800 + \frac{0.47}{100} \times 300 = 9.41 \text{ m}$$

olarak elde edilir. Bu değer, izin verilen yük kayıplarından küçük olduğu için  $140 \text{ mm}$  dış çap uygundur.

Ancak,  $10.00 - 9.41 = 0.59 \text{ m}$  yük kayıpları farkını giderecek biçimde, A-B boru bölümünün bir kısmının dış çapını  $140 \text{ mm}$ 'den  $125 \text{ mm}$ 'ye düşürmek mümkündür. A-B boru bölümünde iletilen debi,  $Q = 10 \text{ L/s}$  için Şekil 3.30'dan,  $125\text{-}140 \text{ mm}$  dış çaplar arasındaki yük kayıpları farkı;

$$\Delta h_f = 0.35 \text{ m} / 100 \text{ m}$$

bulunur.  $0.35 \text{ m}$  yük kayıpları farkı,  $100 \text{ m}$  boru uzunluğunda olduğu için  $0.59 \text{ m}$  yük kayıpları farkı  $169 \text{ m}$  boru uzunluğunda meydana gelir. Bu nedenle, A-B boru bölümünün  $169 \text{ m}$ 'si  $125 \text{ mm}$  ve artakalan  $131 \text{ m}$ 'si  $140 \text{ mm}$  dış çaplı borulardan oluşturulur.

## A-C dalı boru çapı :

### 1. aşama : A noktasında istenen basınç

$$H_A = H_B + h_{fA-B} \pm h_{sA-B}$$

Burada, B noktasındaki basınç, ana boru hattında istenen basınca eşdeğerdir ve  $H_B = H = 36$  m'dir. A-B hattında oluşan yük kayıpları, Şekil 3.30'dan yararlanılarak,

$$h_{f_{A-B}} = \frac{0.47}{100} \times 131 + \frac{0.82}{100} \times 169 = 2.00 \text{ m}$$

A ile B noktaları arasındaki yükseklik farkı,

$$h_{e_{A-B}} = 56.00 - 54.00 = 2.00 \text{ m (bayır aşağı)}$$

ve A noktasında istenen basınç,

$$H_A = 36 + 2.00 - 2.00 = 36 \text{ m}$$

bulunur.

**2. aşama :** A-C yan dalında izin verilen yük kayıpları

Benzer biçimde, A noktasında istenen basınç, C noktasından başlayarak yazılırsa,

$$H_A = H_C + h_{f_{A-C}} \pm h_{e_{A-C}}$$

Burada,  $H_C = H = 36$  m,  $h_{e_{A-C}} = 56.00 - 52.00 = 4.00$  m'dir (bayır aşağı) ve A-C hattında izin verilen yük kayıpları,

$$36 = 36 + h_{f_{A-C}} - 4.00$$

$$h_{f_{A-C}} = 4.00 \text{ m}$$

bulunur.

**3. aşama :** A-C yan dalı boru çapı

A-C boru bölümünün dış çapı 75 mm seçilirse, bu boru bölümünde oluşan yük kayıpları, Şekil 3.30'dan,

$$h_f = \frac{2.70}{100} \times 120 = 3.24 \text{ m}$$

bulunur. Bu değer, izin verilen yük kayıplarından küçük olduğu için uygundur. Burada da,  $4.00 - 3.24 = 0.76$  m yük kayıpları farkını giderecek biçimde işlem yapılırsa, A-C boru bölümünün son 21 m'sinin dış çapı 63 mm'ye düşürülür.

Sonuçta, örnek olarak ele alınan ana boru hattında, farklı boru bölümlerinin çapları Çizelge 3.20'de verilmiştir.

Çizelge 3.20. Örneğe ilişkin ana boru hattı çapları

Boru bölümü	Debi, Q (L/s)	Dış çap (mm)	Uzunluk (m)
D-A	15	140	800
A-B	10	140	131
		125	169
A-C	5	75	99
		63	21

**Doğrusal programlama modeli ile çözüm :** Sistem basıncının yerçekimi ile sağlandığı yağmurlama sulama sistemlerinde, ana boru hattının doğrusal programlama modeli kullanarak saptanmasında, daha önce açıklanan işlemler benzer biçimde yapılır. Yalnız, pompa birimi bulunmadığı için manometrik yükseklik kısıtı söz konusu olmaz.

Örnek olarak alınan ve planı Şekil 3.32'de verilen ana boru hattının doğrusal programlama modeli ile çözümüne ilişkin, seçenek boru dış çaplarında birim uzunluk maliyetleri Çizelge 3.21'de ve doğrusal programlama modeline esas veriler Çizelge 3.22'de verilmiş, doğrusal programlama modelinin oluşturulması aşağıda açıklanmıştır.

**Amaç fonksiyonu :** Ana boru hattı toplam maliyeti minimum olmalıdır.

$$\begin{aligned} \text{MIN } & 0.87 X_1 + 1.08 X_2 + 1.40 X_3 + 1.84 X_4 + 2.83 X_5 + 0.71 X_6 + 0.87 X_7 \\ & + 1.08 X_8 + 1.40 X_9 + 1.84 X_{10} + 0.37 X_{11} + 0.49 X_{12} + 0.71 X_{13} + 0.87 \\ & X_{14} + 1.08 X_{15} \end{aligned}$$

Çizelge 3.21. Dalıt ana boru hattı için seçenek boru çaplarında birim uzunluk yıllık maliyetleri

Dış çap (mm)	Maliyet (TL/m)	Faiz oranı, i (%)	Servis ömrü, n (yıl)	Amortisman Faktörü, AF	Yıllık maliyet (TL/m-yıl)
63	3.60	10	35	0.10369	0.37
75	4.70				0.49
90	6.80				0.71
110	8.40				0.87
125	10.40				1.08
140	13.50				1.40
160	17.70				1.84
200	27.30				2.83

Çizelge 3.22. Örneğe ilişkin doğrusal programlama modeline esas veriler ve bulunan boru çapları

Boru bölümü	Uzunluk (m)	Debi (L/s)	Seçenek boru dış çapı (mm)	Birim uzunluk maliyeti (TL/m-yıl)	Yük kayıpları (m/m)	Seçenek boru çapında uzunluk (m)	Bulunan boru dış çapı (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
D-A	800	15	110	0.87	0.032	$X_1$	160
			125	1.08	0.018	$X_2$	(80 m)
			140	1.40	0.010	$X_3$	140
			160	1.84	0.005	$X_4$	(720 m)
			200	2.83	0.002	$X_5$	
A-B	300	10	90	0.71	0.040	$X_6$	125
			110	0.87	0.015	$X_7$	
			125	1.08	0.008	$X_8$	
			140	1.40	0.005	$X_9$	
			160	1.84	0.002	$X_{10}$	
A-C	120	5	63	0.37	0.064	$X_{11}$	75
			75	0.49	0.027	$X_{12}$	(89 m)
			90	0.71	0.011	$X_{13}$	63
			110	0.87	0.004	$X_{14}$	(31 m)
			125	1.08	0.002	$X_{15}$	

**Kısıtlar :**

**a) Uzunluk kısıtları**

- (1)  $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = 800$   
(2)  $X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} = 300$   
(3)  $X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 120$

**b) Yük kaybı kısıtları:**

Sistem basıncının yerçekimi ile sağlandığı yağmurlama sulama sistemlerinde, ana boru hattının herhangi bir boru bölümündeki yükseklik farkı, en az, o boru bölümünde oluşan yük kayıpları ile ana boru hattında istenen basıncın toplamı kadar olmalıdır.

$$h_x \geq h_y - H$$

$$h_y \leq h_x - H$$

D-A boru bölümü için;

$$h_{fD-A} \leq h_{gD-A} - H \leq 44 - 36 \leq 8$$

$$(4) \quad 0.032 X_1 - 0.018 X_2 - 0.010 X_3 - 0.005 X_4 - 0.002 X_5 \leq 8$$

D-A-B hattı için;

$$h_{fD-B} \leq h_{gD-B} - H \leq 46 - 36 \leq 10$$

$$(5) \quad 0.032 X_1 - 0.018 X_2 - 0.010 X_3 - 0.005 X_4 - 0.002 X_5 - 0.040 X_6 + 0.015 X_7 - 0.008 X_8 - 0.005 X_9 - 0.002 X_{10} \leq 10$$

D-A-C hattı için;

$$h_{fD-C} \leq h_{gD-C} - H \leq 48 - 36 \leq 12$$

$$(6) \quad 0.032 X_1 - 0.018 X_2 - 0.010 X_3 - 0.005 X_4 - 0.002 X_5 - 0.064 X_{11} - 0.027 X_{12} - 0.011 X_{13} - 0.004 X_{14} - 0.002 X_{15} \leq 12$$

Doğrusal programlama modelinin bilgisayarla çözümü sonucunda elde edilen boru dış çapları, Çizelge 3.22'nin 8. kolonuna yazılmıştır. Önceki çözüme oranla boru çaplarındaki farklılık yük kayıplarının yuvarlaklaştırılmasından kaynaklanmaktadır.

### 3.9. TOPLU YAĞMURLAMA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI

Çok sayıda tarım işletmesinin bulunduğu büyük alanlara hizmet götüren yağmurlama sulama sistemlerine toplu yağmurlama sulama sistemi adı verilir. Toplu sistemlerde, sulama suyu, her tarım işletmesine kadar basınçlı boru ağı ile iletilir. Basınçlı boru hatları üzerine, tarım işletmelerine su verecek hidrant ya da vanalar yerleştirilir. Çiftçi, işletmesine ait bireysel yağmurlama sulama sisteminin ana boru hattını, kendisine ayrılan hidrant ya da vanaya bağlar ve sulama yapar. Tarım işletmelerindeki bireysel yağmurlama sistemleri genellikle portatif ya da yarı sabit sistem biçimindedir.

#### 3.9.1. Toplu Yağmurlama Sulama Sistemlerinin İşletilmesi Yöntemleri

Uygulamada, toplu yağmurlama sulama sistemleri, **istek** ya da **nübet** (rotasyon) yöntemine göre işletilirler.

**İstek yönteminde**, her tarım işletmesine verilecek suyun basıncı ve debisinin çok iyi bir biçimde denetlenmesi gerektiğinden, tarım işletmelerine su almada hidrant kullanılır. Vanalar bu amaç için uygun olmaz. Su dağıtım ağında sürekli olarak su bulundurulur ve çiftçi, istediği zaman, kendine ayrılan hidranta kullanarak sulama yapmada bütünüyle serbesttir.

**Nöbet yönteminde** ise, proje alanında bulunan tarım işletmelerine, belirli düzen içerisinde sıra ile su verilir. Sulama aralığı, genellikle, sulama sezonu boyunca sabittir. Yöntemin uygulanabilmesi için, her tarım işletmesinin su kullanma tarihinin gün ve bazen saatlik duyarlılıkta bilinmesi gerekir. Su dağıtım açısından tarım işletmelerine su alınmasında genellikle hidrant kullanılır. Ancak, işletme sayısının fazla olmadığı proje alanlarında bu amaçla varsa da kullanılabilir.

Toplu yağmurlama sulama sistemlerinin istek yöntemine göre işletilmesinin, nöbet yöntemine olan üstünlükleri şöylece sıralanabilir.

1) İstek yönteminde, çiftçilerin kullandığı su miktarı, hidrantlar üzerine yerleştirilen su sayaçları ile ölçülür ve geri ödeme, birim su hacmi üzerinden yapılır. Ayrıca, hidrantların üzerine debi limitörleri konarak, çiftçinin gereksinim duyduğu sudan fazlasını alması engellenir. Bu nedenlerle, çiftçiler kontrollü sulama yaparlar ve proje alanında aşırı su kullanımı engellenir ya da düşük düzeyde olur. Nöbet yönteminde geri ödeme, su dağıtım ağı üzerinde hidrantlar kullanılırsa, istek yönteminde olduğu gibidir. Ancak, su dağıtım ağına vanaların kullanılması durumunda geri ödeme, belirli bitki için birim alan üzerinden yapılır. Sulama aralığı sabit olduğundan, çiftçiler, bazı dönemlerde bitki su gereksinimini karşılamayabilirler, bazı dönemlerde ise, sulama sırası geldiği ve bir hak olduğu için aşırı su kullanabilirler.

2) İstek yönteminde sulama, sulamanın tamamlanacağı gün sayısına yayılarak tamamlanır. Bu nedenle, tarım işletmelerindeki bireysel sistemlerde aynı anda daha az sayıda lateral boru hattı çalıştırılır ve dolayısıyla bireysel sistem debileri düşük olur. Bu da bireysel sistem maliyetini düşürür. Nöbet yönteminde, her tarım işletmesinde sulamanın olanaklar ölçüsünde kısa sürede tamamlanması esastır. İdeali, her tarım işletmesinde sulamanın bir günde tamamlanmasıdır. Ancak, proje alanında, nispeten büyük tarım işletmelerinde, sulamanın tamamlanması bir günden daha fazla süre alabilir. Tarım işletmeleri arasında, sulamanın tamamlanacağı gün sayısı açısından çeşitlilik ortaya çıkar. Bu da işletmeyi güçleştirir. Ayrıca, sulamanın kısa sürede tamamlanması, aynı anda çalıştırılacak lateral boru hattı sayısını artırır ve bireysel sistem maliyeti çok yüksek olur.

3) Nöbet yönteminde, işletmede esneklik yoktur. Herhangi bir tarım işletmesindeki sulamanın, kendine ayrılan süre içerisinde yapılması zorunluluğu vardır. Tarım işletmesinde o sürede sulama yapılamaması sorun yaratır. İstek yönteminde, çiftçi su kullanmada serbest olduğundan işletme son derece kolaydır.

4) İstek yönteminin, nöbet yöntemine göre tek sakıncası ise, sulamanın daha fazla güne yayılması nedeniyle, çiftçilerin sulamaya daha çok zaman ayırmaları zorunluluğudur.

Yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı, toplu yağmurlama sulama sistemlerinin istek yöntemine göre işletilmesi daha uygun olmakta, nöbet yöntemi, ancak, tarım işletmesi sayısının az olduğu proje alanlarında uygulanabilmektedir.

### 3.9.2. Sulama Hidrantları ve Almaçlar

Toplu yağmurlama sulama sistemlerinde, basınçlı boru ağı üzerine yerleştirilen ve tarım işletmelerindeki bireysel yağmurlama sulama sistemlerine su alınan araçlara hidrant adı verilmektedir. Hidrantlar pahalı araçlar olduklarından, bir hidrantın birden fazla tarım işletmesine hizmet etmesi söz konusudur. Bu nedenle, hidrantların üzerine almaçlar (prizler) yerleştirilir. Bir hidrant üzerinde 1, 2, 3 ya da 4 almaç olabilir. Bu durumda, her tarım işletmesine bir almaç ayrılır ve çiftçi, kendine ayrılan almaçtan yararlanarak sulama yapar.

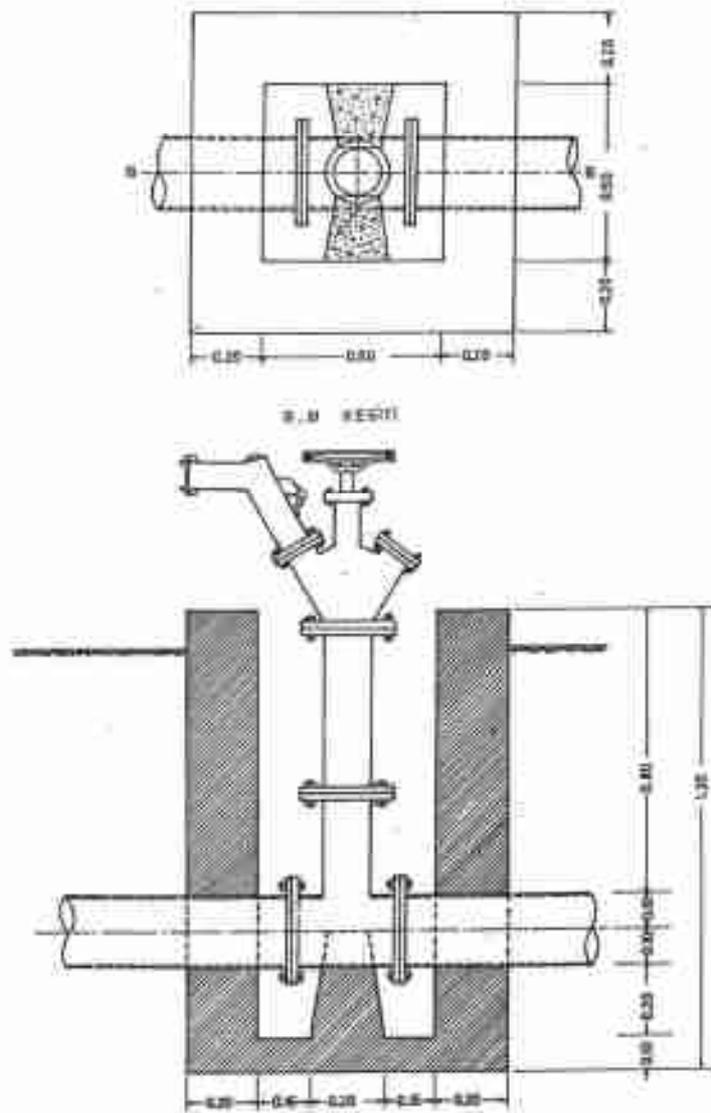
Tipik bir sulama hidrantının kesiti Şekil 3.33'te görülmektedir. Sulama hidrantı, genel olarak gövde ve almaçlardan oluşur. Gövde, aslında bağlantı tabanı bulunan bir vana'dır. Gövde üzerindeki almaçlar aşağıdaki unsurları kapsar:

- 1) Tarım işletmesine ait bireysel yağmurlama sulama sistemi ana boru hattının bağlanmasını sağlayan orifis ve bağlantı ağızı,
- 2) Almaçı açıp kapamayı sağlayan vana ya da orifise takılan kör tapa,
- 3) Tarım işletmesine, öngörülen debide suyun alınmasını sağlayan debi limitörü,
- 4) Almaç çıkışında sabit basınç sağlayan basınç regülatörü ve
- 5) Kullanılan su hacmini ölçen su sayacı.

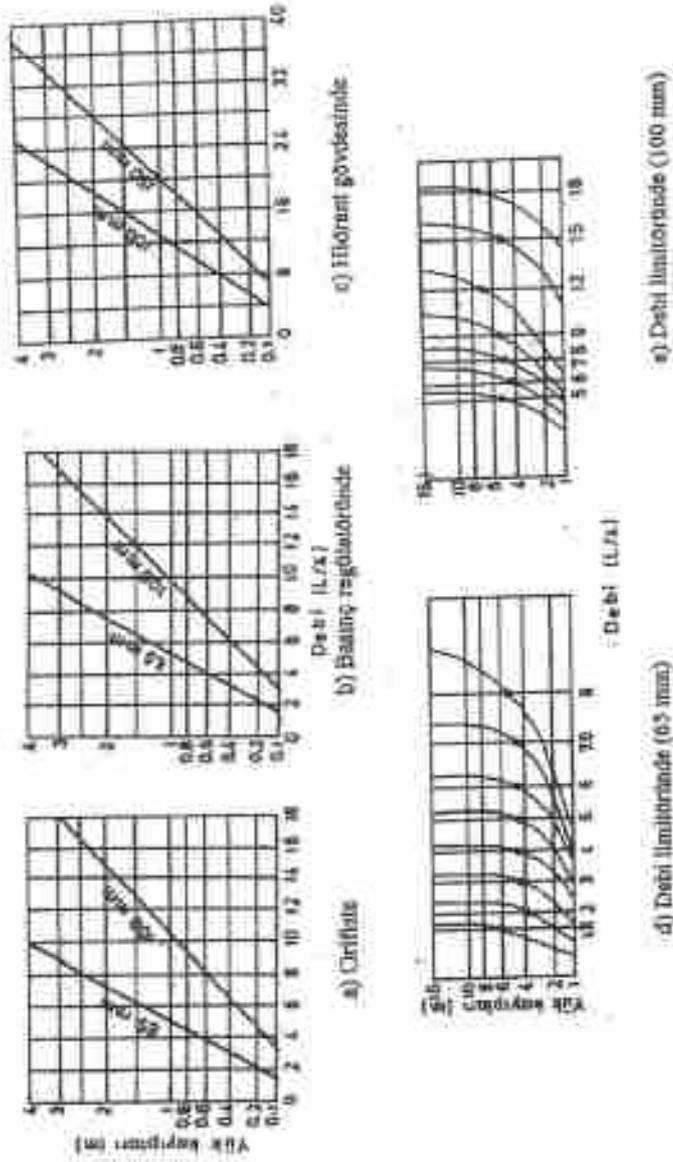
Uygulamada, almaç çıkış basınçları, genellikle, 0.5 atm'in katları biçiminde, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 atm, ..... ve almaç debileri 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.5, 9.0, 12.0, 15.0 ve 18.0 L/s olacak biçimde standart değerlerdedir.

Sulama hidrantlarının gövde çapı 100 mm (4") ve 150 mm (6"), almaçların çapı ise 65 mm (2.5") ve 100 mm (4") olmaktadır. Uygulamada, almaç debisinin 9 L/s değerine kadar 65 mm, 9 L/s'nin üzerinde 100 mm çaplı almaçlar, hidrant debisinin 25 L/s değerine kadar gövde çapı 100 mm ve 25 L/s'nin üzerinde gövde çapı 150 mm olan hidrantlar kullanılmaktadır.

Sulama hidrantı üreten her kuruluş, hidrant gövdesinde ve almaçın değişik unsurlarında oluşan yük kayıplarını da kapsayan hidrant teknik özelliklerini kullanıcıya vermekle yükümlüdür. Bu yük kayıplarına ilişkin diyagramlar, örnek olmak üzere, Şekil 3.34'te verilmiştir.



Sekil 3.33. Salama hidranti kesiti



Şekil 3.34. Hidrant yük kayıpları

### 3.9.3. Hidrant Yerlerinin Seçilmesi ve Su Dağıtım Ağının Oluşturulması

Toplu yağmurlama sulama sistemlerinde, en önemli konulardan biri uygun hidrant yerlerinin belirlenmesidir. Bunun için şu konulara özen gösterilir.

- 1) Prensip olarak, her tarım işletmesine bir almaç ayrılır. Ancak, çok küçük tarım işletmelerinin olduğu proje alanlarında birden fazla tarım işletmesine bir almaç ayrılacağı gibi, büyük tarım işletmelerine birden fazla almaç ayrılabilir.
- 2) Hidrantlar, olanaklar ölçüsünde, çok almaçlı olmalı ve bir hidrant birden fazla tarım işletmesine hizmet etmelidir.
- 3) Zorunlu kalmadıkça, hidrantlar tarım işletmelerinin ortak sınırlarına yerleştirilmeli, işletme içerisine yerleştirmekten kaçınılmalıdır.
- 4) Hidrantlar, tarım işletmelerindeki bireysel yağmurlama sulama sistemlerinin uygun tertibine olanak sağlayan yerlere yerleştirilmelidir.

Hidrant yerleri belirlendikten sonra, hidrantları en kısa yoldan su kaynağına bağlayan su dağıtım ağı oluşturulur. Bu işlemde, su dağıtım ağına ait boru hatlarının, tarım işletmeleri sınırlarından geçirilmesine özen gösterilir.

Planlama haritası üzerinde hidrant yerleri ve su dağıtım ağı belirlendikten sonra, proje alanında seçilen hidrant yerleri ve boru hatlarının güzergahları denetlenmeli, gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra sistem tasarımına başlanmalıdır.

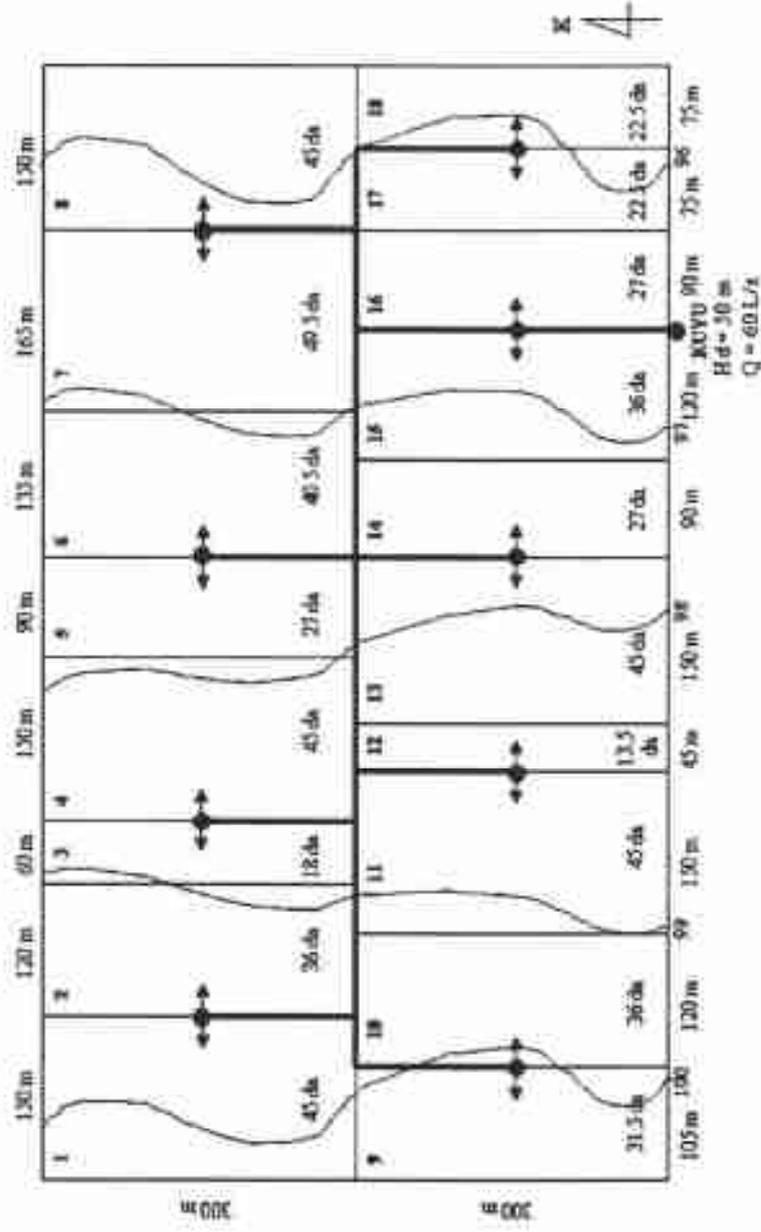
### 3.9.4. Toplu Yağmurlama Sulama Sistemi Örnek Tasarım

Planlama haritası Şekil 3.35'te verilen ve toplam 18 tarım işletmesinden oluşan proje alanı göz önüne alınacaktır. İşletme büyüklükleri plan üzerine yazılmıştır. Su kaynağı, debisi,  $Q = 60$  L/s ve dinamik yüksekliği,  $H_d = 50$  m olan derin kuyudur. Alanda elektrik enerjisi vardır ve su dalgıç tipi pompa ile alınacaktır. Tasarım aşamaları aşağıda verilmiştir.

**İstek yöntemine göre tasarım :**

**1. aşama :** Hidrant yerlerinin seçilmesi ve su dağıtım ağının oluşturulması

Planda, boyutları 300 x 150 m (45 da) olan 1 nolu tarım işletmesi ele alınırsa, bu işletmedeki bireysel yağmurlama sulama sistemi için en uygun su alma yeri uzun kenarın ortasıdır. Bu durumda, bireysel sistem ana boru hattı, kısa kenar boyunca ve arazi ortasına düşenecek ve ana boru hattı laterallere iki yönde hizmet edecektir. Lateraller eğimsiz ve uzunluğu 150 m, ana boru hattı uzunluğu 150 m olacaktır. Bireysel sistemin bu tertibi, yağmurlama sulama



Şekil 3.35. Proje alanı planlama haritası ve su dağıtım ağı.

sistemlerinin tertiplenmesi ilkelerine uygun, maliyeti en düşük ve işletilmesi en kolay tertip biçimidir. Benzer biçimde, 2 nolu tarım işletmesi ele alındığında, bu işletme için de en uygun su alma yerinin uzun kenarın ortası olduğu ve 1 nolu işletmedeki gibi bireysel sistem tertibinin yapılacağı görülür. Buna göre, 1 ve 2 nolu tarım işletmelerinin ortak sınırının ortasına iki almaçlı bir hidrant yerleştirmek ve almaların birini 1 nolu işletmeye, diğerini 2 nolu işletmeye ayırmak en uygun çözümdür. Benzer yaklaşımlar yapılarak, seçilen diğer hidrantların yerleri ve boru hatları tarım işletmelerinin sınırlarından geçecek biçimde, hidrantları en kısa yoldan su kaynağına bağlayan su dağıtım ağı Şekil 3.35'teki planlama haritası üzerinde gösterilmiştir.

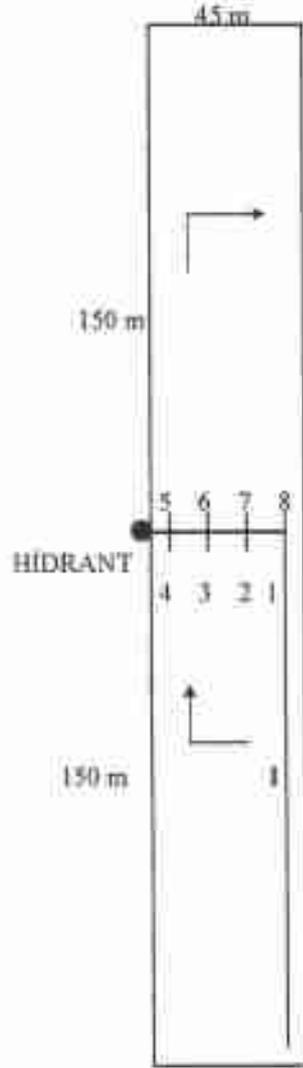
## 2. aşama : Almaç debilerinin saptanması

Proje alanında herhangi bir işletmeye su veren almaların debisi, o işletmedeki bireysel sistemin kapasitesine eşdeğer olmalıdır. Bu amaçla, proje alanındaki her tarım işletmesine ait bireysel yağmurlama sulama sisteminin tasarımı yapılır ve sistem kapasitesi belirlenir. Bu konu, önceki bölümlerde ayrıntıları ile verilmiştir.

Ancak, toplu yağmurlama sulama sistemlerinin kurulacağı proje alanlarında, çok sayıda ve farklı büyüklükte tarım işletmeleri söz konusu olur. Bu koşullarda, her tarım işletmesi için bireysel sistem tasarımı yaparak almaç debilerinin saptanması uzun zaman alır. Bunun yerine, tarım işletmeleri, 0-5 da, 5-10 da, 10-20 da, 20-50 da, 50-100 da ve 100 da'dan büyük olacak biçimde büyüklük gruplarına ayrılır. Her büyüklük grubunu temsil edecek bir tarım işletmesinde bireysel sistem tasarımı yapılır ve sistem kapasitesi elde edilir. Bireysel sistem kapasitesi, tasarım yapılan işletmenin alanına bölünür ve birim alan sistem kapasitesi elde edilir. Bu değer, göz önüne alınan büyüklük grubundaki tarım işletmelerinin alanı ile çarpılarak her tarım işletmesi için bireysel sistem kapasiteleri elde edilir. Bu işlem, her büyüklük grubu için tekrarlanır.

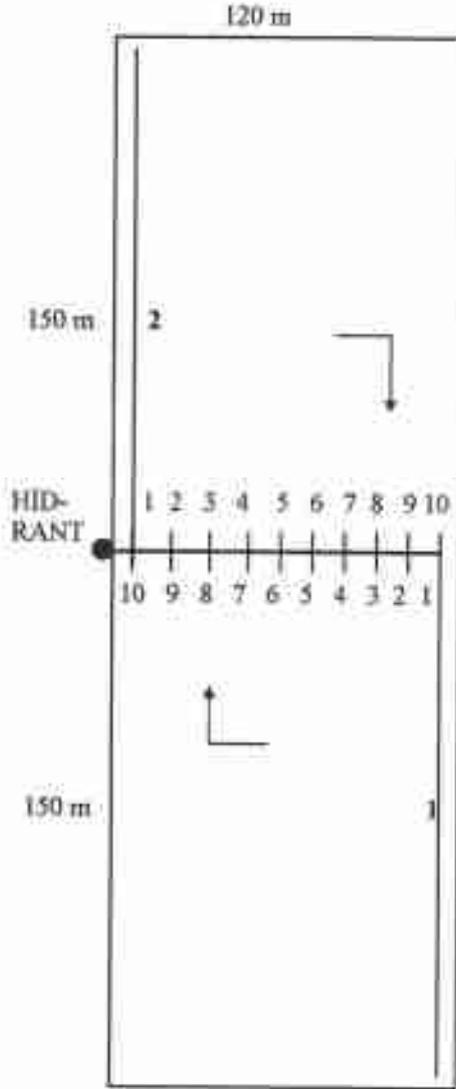
Örnek olarak ele alınan proje alanında tarım işletmeleri, 10-20 da ve 20-50 da büyüklük grupları içerisine girmektedir. 10-20 da büyüklük grubu için 12 nolu tarım işletmesi, 20-50 da büyüklük grubu için 2 nolu tarım işletmesi seçilmiştir. Bu tarım işletmeleri için bireysel sistem tasarımları yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 3.36 ve 3.37'de gösterilmiştir. Bu büyüklük grupları için hesaplanan birim alan sistem debileri ise Çizelge 3.23'te verilmiştir. Görüldüğü gibi, bireysel sistem debileri, 10-20 da büyüklük grubu için  $q_a = 0.200$  L/s'da ve 20-50 da büyüklük grubu için  $q_a = 0.147$  L/s'da biçiminde elde edilmiştir.

Proje alanındaki her tarım işletmesi için, birim alan sistem debileri, işletme alanı ile çarpılarak hesaplanan bireysel sistem debileri ise Çizelge 3.24'te görülmektedir. Uygulamada, standart almaç debileri 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.5, ..... L/s olduğundan, hesaplanan bireysel sistem kapasitesine en



- Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı,  $d_s = 102,8 \text{ mm}$
- Sulama aralığı,  $SA = 12 \text{ gün}$
- Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı:  
 $F = 8 \text{ gün}$
- İşletme basıncı,  $h_s = 20 \text{ m}$
- Başlık debisi,  $q = 0,74 \text{ m}^3/\text{h}$
- Başlık tertip aralıkları,  $S_x \times S_y = 12 \times 12 \text{ m}$
- Sulama süresi,  $T_s = 20 \text{ h}$
- Gerekli lateral sayısı, 1 adet
- Lateral üzerinde başlık sayısı,  $n = 13$  adet
- Lateral debisi,  $Q_l = 9,6 \text{ m}^3/\text{h}$
- Sistem kapasitesi,  $Q = 2,7 \text{ L/s}$
- Ana ve lateral boru hatları 6 atm işletme basıncı, 63 mm dış çaplı sert PE borulardan oluşturulacaktır.
- Ana boru giriş basıncı,  $H_a = 24,73 \text{ m}$

Şekil 3.36. 12 nolu tarım işletmesinde bireysel sistem tertibi ve tasarım sonuçları.



- Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı,  $d_s = 102.8$  mm
- Sulama aralığı,  $SA = 12$  gün
- Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı,  $F = 10$  gün
- İşletme basıncı,  $h_s = 20$  m
- Başlık debisi,  $q = 0.74$  m<sup>3</sup>/h
- Başlık terzif aralıkları,  $S_1 \times S_2 = 12 \times 12$  m
- Sulama süresi,  $T_s = 20$  h
- Gerekli lateral sayısı, 2 adet
- Lateral üzerinde başlık sayısı,  $n = 13$  adet
- Lateral debisi,  $Q_2 = 9.6$  m<sup>3</sup>/h
- Sistem kapasitesi,  $Q = 5.3$  L/s
- Lateral boru hatları 6 atm işletme basıncı, 63 mm dış çaplı sert PE borulardan oluşturulacaktır.
- Ana boru hattı 6 atm işletme basıncı, 90 mm dış çaplı sert PE borulardan oluşturulacaktır.
- Ana boru giriş basıncı,  $H_s = 24.51$  m

Şekil 3.37. 2 nolu tarım işletmesinde bireysel sistem tertibi ve tasarım sonuçları

Çizelge 3.23. Proje alanında birim alan sistem debileri

Büyükük grubu (da)	İşletme no	İşletme alanı, A (da)	Bireysel sistem kapasitesi, Q (L/s)	Birim alan sistem debisi, $q_a = Q/A$ (L/s/da)
10-20	12	13.5	2.7	0.200
20-50	2	36	5.3	0.147

Çizelge 3.24. Proje alanında bireysel sistem kapasiteleri ve seçilen almaç debileri

İşletme no	Alan, A (da)	Birim alan sistem debisi, $q_a$ (L/s/da)	Bireysel sistem debisi, $Q = q_a A$ (L/s)	Almaç debisi, $q_m$ (L/s)
1	45	0.147	6.6	6
2	36	0.147	5.3	5
3	18	0.200	3.6	4
4	45	0.147	6.6	6
5	27	0.147	4.0	4
6	40.5	0.147	6.0	6
7	49.5	0.147	7.3	7.5
8	45	0.147	6.6	6
9	31.5	0.147	4.6	5
10	36	0.147	5.3	5
11	45	0.147	6.6	6
12	13.5	0.200	2.7	3
13	45	0.147	6.6	6
14	27	0.147	4.0	4
15	36	0.147	5.3	5
16	27	0.147	4.0	4
17	22.5	0.147	3.3	3
18	22.5	0.147	3.3	3

yakın almaç debisi seçilmiş ve Çizelge'nin son kolonuna yazılmıştır. Görüldüğü gibi, proje alanında, tarım işletmelerine ayrılan almaçların debileri, işletme büyüklüğüne bağlı olarak 3.0-7.5 L/s arasında değişmektedir.

### 3. aşama : Boru ağı bölümlerinde iletilecek debinin saptanması

İstek yöntemine göre işletilen toplu yağmurlama sulama sistemlerinde, çiftçilerin istedikleri zamanda sulama yapması serbest olduğundan, proje

alanında tüm tarım işletmelerinin aynı anda sulama yapması, diğer bir anlatımla, alandaki tüm almaçların aynı anda açık olma olasılığı çok düşüktür. Bu nedenle, her boru bölümünün hizmet ettiği almaçlar içerisinde, aynı anda açık olma olasılığı bulunan almaç sayısı belirli olasılığa göre tahmin edilir ve bu almaçların toplam debisi o boru bölümünde iletilecek debi değerini verir.

Su dağıtım ağının planı, ayrıca, Şekil 3.38'de verilmiş, hidrantlar ve su ayırım noktaları numaralandırılmış, almaç debileri ve boru bölümlerinin uzunlukları plan üzerine yazılmıştır.

Su dağıtım ağının farklı boru bölümlerinde iletilecek debi değerlerinin bulunmak için yapılan işlemler aşağıda açıklanmış ve sonuçlar Çizelge 3.25'te verilmiştir.

**1. kolon :** Uçtan su kaynağına doğru boru bölümleri yazılır.

**2. kolon :** Her boru bölümünün hizmet ettiği alan yazılır. Örneğin, 1-3 boru bölümü, 1 nolu hidranta su iletmekte ve 9 ile 10 nolu tarım işletmelerine hizmet etmektedir. Bu işletmelerin toplam alanı,  $A = 67.5$  da = 6.75 ha'dır. Benzer biçimde, 3-5 boru bölümü ise, 1 ve 2 nolu hidrantlara su iletmekte, 1, 2, 9 ve 10 nolu tarım işletmelerine hizmet etmektedir. Bu işletmelerin toplam alanı,  $A = 148.5$  da = 14.85 ha'dır.

**3. kolon :** Kuramsal debi değerleri hesaplanarak yazılır. Kuramsal debi;

$$Q_k = q_{max} A \quad (3.27)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

$Q_k$  = Kuramsal debi, L/s,

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

$A$  = Boru bölümünün hizmet ettiği alan (2. kolon değerleri), ha'dır.

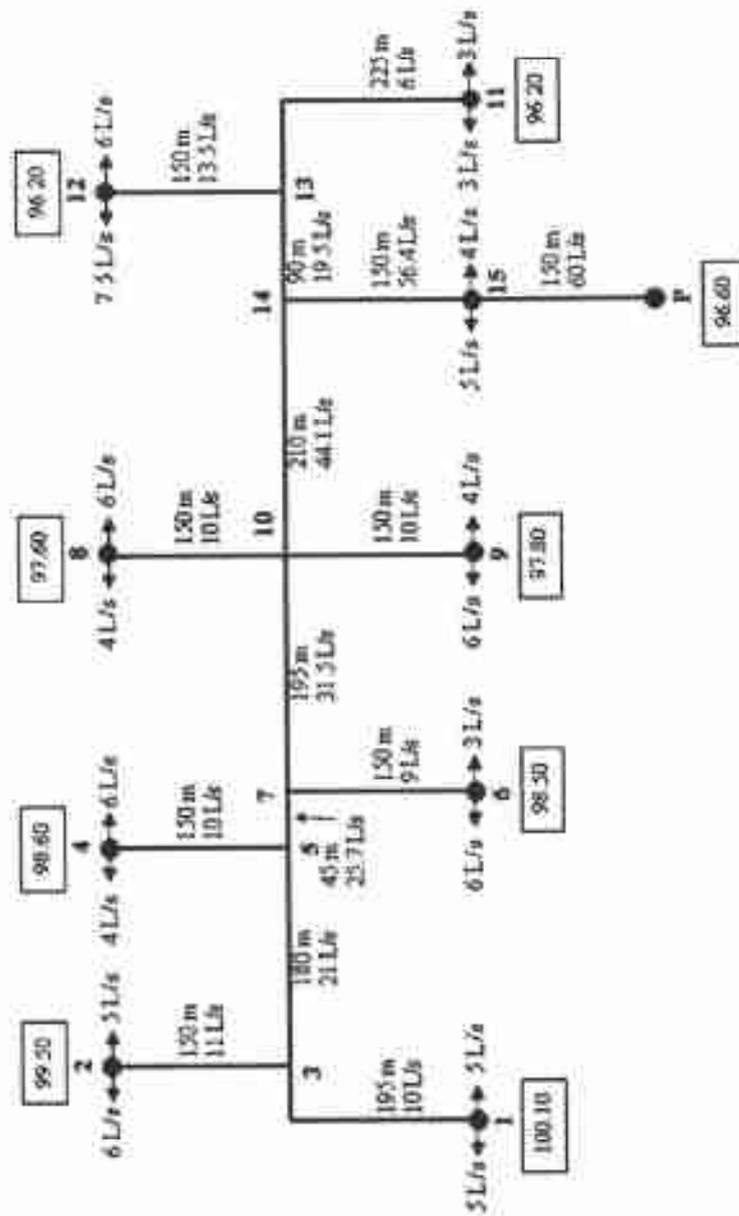
Eşitlikteki maksimum sulama modülünü elde etmek için, proje alanında tarımı öngörülen bitki desenine göre, sulama sezonu boyunca her aya ilişkin sulama modülleri, 24 l/gün esas alınarak hesaplanır ve en çok sulama suyuna gereksinim duyulan aya ilişkin sulama modülü göz önüne alınır. Verilen örnek için bu değer,  $q_{max} = 0.6$  L/s/ha olarak hesaplanmıştır. Örneğin, 1-3 boru bölümü için;

$$Q_k = q_{max} A = 0.6 \times 6.75 = 4.1 \text{ L/s}$$

ve 15-P boru bölümü için;

$$Q_k = q_{max} A = 0.6 \times 61.20 = 36.7 \text{ L/s}$$

bulunur.



Şekil 3.38. Su dağıtım ağı planı

Çizelge 3.25. İstik yönesimine göre su dağıtım ağının farklı boru bölümlerinde iletilecek debi değerleri

Boru bölümü	Sulanan alan, $A$ (ha)	Kuramsal debi, $Q_k$ (L/s)	Almaç sayı/si, $n_i$ (adet)						Toplam almaç debisi, $Q_a$ (L/s)	$p$ değeri	Boru bölümünde iletilecek debi, $Q$ (L/s)	
			(4)								Düzeltilmiş	Hesaplanan
			3 L/s	4 L/s	5 L/s	6 L/s	7.5 L/s	7.5 L/s				
(1)	(2)	(3)	(4)						(5)	(6)	(7)	
1-3	6.75	4.1	-	-	2	-	-	-	10	-	10	10
2-3	8.10	4.9	-	-	1	1	-	-	11	-	11	11
3-5	14.85	8.9	-	-	3	1	-	-	21	-	21	21
4-5	6.30	3.8	-	1	-	1	-	-	10	-	10	10
5-7	21.15	12.7	-	1	3	2	-	-	31	0.492	25.7	25.7
6-7	5.85	3.5	1	-	-	1	-	-	9	-	9	9
7-10	27.00	16.2	1	1	3	3	-	-	40	0.486	31.3	31.3
8-10	6.75	4.1	-	1	-	1	-	-	10	-	10	10
9-10	7.20	4.3	-	1	-	1	-	-	10	-	10	10
10-14	40.95	24.6	1	3	3	5	-	-	60	0.492	44.1	44.1
11-13	4.50	2.7	2	-	-	-	-	-	6	-	6	6
12-13	9.45	5.7	-	-	-	1	1	1	13.5	-	13.5	13.5
13-14	13.95	8.4	2	-	-	1	1	1	19.5	-	19.5	19.5
14-15	54.90	32.9	3	3	3	6	6	1	79.5	0.497	56.4	56.4
15-P	61.20	36.7	3	4	4	6	6	1	88.5	0.498	61.8	60

**4. kolon :** Her boru bölümünün su ilettiği hidrantlar üzerinde, farklı debideki almaçların sayıları yazılır. Örneğin, 1-3 boru bölümü 1 nolu hidranta su iletir. Bu hidrant üzerinde 2 adet 5 L/s debili almaç vardır. 7-10 boru bölümü ise, 1, 2, 4 ve 6 nolu hidrantlara su verir. Bu hidrantlar üzerinde, 1 adet 3 L/s, 1 adet 4 L/s, 3 adet 5 L/s ve 3 adet 6 L/s debili almaç bulunmaktadır.

**5. kolon :** Her boru bölümünün su ilettiği hidrantlardaki almaçların toplam debileri yazılır. Örneğin, 1-3 boru bölümünün su ilettiği 1 nolu hidrant üzerinde 2 adet 5 L/s debili almaç vardır ve toplam almaç debisi,  $Q_s = 10 \text{ L/s}$ 'dir.

**6. kolon :** Her boru bölümünün su ilettiği hidrantlar üzerindeki almaçlardan her birinin açık olma olasılığı hesaplanır. Bu değer,

$$p = \frac{Q_i}{rQ_s} \quad (3.28)$$

eşitliği ile bulunur. Eşitlikte,

$p$  = Boru bölümünün hizmet ettiği almaçlardan her birinin açık olma olasılığı,

$Q_i$  = Kuramsal debi (3. kolon değerleri), L/s,

$r$  = Günlük sulama oranı ve

$Q_s$  = Toplam almaç debisi (5. kolon değerleri), L/s'dir.

Proje alanına sulama suyu dalgıç tipi pompa ile alınacağından, günlük sulama süresi 20 h alınmıştır. Oysa, sulama modülü, 24 h/gün esasına göre hesaplanır. Bu nedenle, kuramsal debi günlük sulama oranı ile düzeltilir. Örnek için bu değer,

$$r = \frac{20}{24} = 0.833$$

olarak alınmıştır.

Buradaki  $p$  değerleri, almaç sayısı 4'ten fazla olan boru bölümleri için hesaplanır. Almaç sayısı 4 ve daha az olduğunda, almaçların hepsinin açık olacağı yaklaşımı yapılır. Örneğin, 1-3 boru bölümünde almaç sayısı 2'dir ve 4'ten az olduğundan  $p$  değeri hesaplanmamıştır. 5-7 boru bölümünde ise almaç sayısı 6 olduğundan, bu boru bölümü için,

$$p = \frac{Q_i}{rQ_s} = \frac{12.7}{0.833 \times 31} = 0.492$$

bulunur.

**7. kolon :** Su dağıtım ağının farklı boru bölümlerinde iletilecek debi değerleri saptanır. Boru bölümünün su ilettiği almaç sayısı 4 ve daha az olduğunda, boru

bölümünde iletilecek debi değeri, toplam almaç debisine (5. kolon değeri) eşit alınır. Örneğin, 1-3 boru bölümü 2 adet almaça hizmet etmektedir ve bu boru bölümünde iletilecek debi değeri,

$$Q = Q_a = 10 \text{ L/s}$$

olur.

Boru bölümünün hizmet ettiği almaç sayısı 4'ten fazla olduğunda, boru bölümünde iletilecek debi değeri,

$$Q = \frac{Q_i}{r} + U(P) \left[ p(1-p) \sum_{a=1}^k n_a q_a^2 \right]^{1/2} \quad (3.29)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte,

- $Q$  = Boru bölümünde iletilecek debi, L/s,
- $Q_i$  = Kuramsal debi (3.kolon değerleri), L/s,
- $r$  = Günlük sulama oranı,
- $U(P)$  = İşletim niteliği katsayısı,
- $p$  = Boru bölümünün hizmet ettiği her bir almaçın açık olma olasılığı (6. kolon değerleri),
- $n_a$  = Boru bölümünün hizmet ettiği almaçlardan aynı debiye sahip olanların sayısı, adet ve
- $q_a$  = Almaç debisi, L/s'dir.

Toplu yağmurlama sulama sistemleri istek yöntemine göre işletildiğinde, sistemin tam olarak (% 100) başarılı çalışmasının koşulu, tüm almaçların aynı anda açık olacağı yaklaşımıyla, her boru bölümünün, hizmet ettiği almaçların toplam debisi kadar su ileticeği boru çapının seçilmesidir. Bu, sistem debisini ve sistem maliyetini önemli düzeyde artırır. Oysa, proje alanında tüm tarım işletmelerinde aynı anda sulama yapılması pek söz konusu olmaz. Diğer bir anlatımla, alandaki bazı almaçlar kapalı olur. Dolayısıyla, sistem tasarımı yapılırken, aynı anda sulama yapacak işletme sayısı tahmin edilir ve sistem unsurları bu esasa göre boyutlandırılır. Böylelikle, sistem debisi ve sistem maliyeti gereksiz yere artırılmamış olur. Aynı anda sulama yapacak işletme sayısı belirlenirken, sistemin % 95 ya da % 99 olasılıkla başarılı olarak çalışacağı, diğer bir anlatımla, sistemin % 5 ya da % 1 olasılıkla başarısız olacağı koşulu göz önüne alınır. Su kaynağı yeterli ise, sistemin % 99 olasılıkla başarılı çalışacağı esastır. Bu durumda, işletim niteliği katsayısı  $U(P) = 2.324$  olur. Su kaynağı kısıtlı ise, sistemin % 95 olasılıkla başarılı çalışacağı esasına göre tasarım yapılır. Bu durumda ise, işletim niteliği katsayısı  $U(P) = 1.645$ 'tir.

Verilen örnekte, kısıtlı su kaynağı koşulları (sistemin % 95 olasılıkla başarılı çalışması) koşulu göz önüne alınmıştır (işletim niteliği katsayısı  $U(P) = 1.645$ ). Buna göre, örneğin, 5-7 boru bölümünde iletilecek debi değeri,

$$\begin{aligned}
Q &= \frac{Q_A}{r} + U(P) \left[ p(1-p) \sum_{i=1}^k n_i q_{wi}^2 \right]^{1/2} \\
&= \frac{12.7}{0.833} + 1.645 \times \left[ 0.492 \times 0.508 \times (1 \times 4^2 + 3 \times 5^2 + 2 \times 6^2) \right]^{1/2} \\
&= 25.7 \text{ L/s}
\end{aligned}$$

bulunur.

Su dağıtım ağındaki tüm boru bölümlerinde iletilecek debi değerleri hesaplanmış ve Çizelge 3.25'in 7. kolonuna yazılmıştır.

Bazı koşullarda, ilk aşamada hesaplanan debi değerlerini düzeltmek gerekebilir. Çünkü, belirli bir boru bölümü için hesaplanan debi, o boru bölümünün hizmet ettiği alanların toplam debisinden daha büyük, yine, su akış yönünde, belirli bir boru bölümünün debisi, sonraki boru bölümünün debisinden küçük olmamalıdır. Hesaplamalar sonucu bulunan debi değerlerinde, bu koşullar oluşursa, hesaplanan değerler düzeltilir. Bu örnekte, proje alanı için ihtiyaç duyulan suyun debisi 61.8 L/s'dir. Su kaynağı debisi 60 L/s olduğu için, bulunan 61.8 L/s, 60 L/s'ye düzeltilmiştir.

**4. aşama :** Su dağıtım ağında istenen basınç

**a) Almaç çıkış basıncı**

Hidrant üzerindeki almaçların çıkış basıncı, proje alanında tarım işletmelerine kurulan bireysel yağmurlama sistemlerinde, ana boru hattı girişinde istenen basınca eşit olmalıdır. Şekil 3.36 ve 3.37'den izleneceği gibi, ana boru giriş basıncı, 12 nolu tarım işletmesinde 24.73 m ve 2 nolu tarım işletmesinde 24.51 m'dir. Dolayısıyla, sözü edilen tarım işletmelerine ayrılmış olan almaçların çıkış basınçları en az bu değerler kadar olmalıdır. Ancak, almaç üzerindeki basınç regülatörlerinin çıkış basınçları 0.5 atmosferin katları biçiminde üretildiğinden, bu tarım işletmelerinde basınç regülatörü çıkış basıncı, diğer bir anlatımla, almaç çıkış basıncı 2.5 atm olacaktır. Bu nedenle, tasarımda almaç çıkış basıncı;

$$H_a = 2.5 \text{ atm} = 25 \text{ m}$$

almıştır.

**b) Hidrant yük kayıpları**

Proje alanında en yüksek almaç debisi  $q_a = 7.5 \text{ L/s}$  ve en yüksek hidrant debisi  $Q_A = 13.5 \text{ L/s}$ 'dir (12 nolu hidrant). Buna göre, alandaki tüm hidrantların gövde çapı 100 mm ve almaç çapı 65 mm olacaktır. Bu değerlerden ve Şekil 3.34'ten yararlanarak hidrant yük kayıpları;

- Orifiste ( $q_a = 7.5 \text{ L/s}$ )	: 2.50 m
- Basınç regülatöründe ( $q_a = 7.5 \text{ L/s}$ )	: 2.00 m
- Debi limitöründe ( $q_a = 7.5 \text{ L/s}$ )	: 5.00 m
- Hidrant gövdesinde ( $Q_b = 13.5 \text{ L/s}$ )	: 0.50 m
	<hr/>
	$h_{ca} = 10.00 \text{ m}$

biçiminde elde edilmiştir.

c) Su dağıtım ağında istenen basınç

Su dağıtım ağında istenen basınç, almaç çıkış basıncına, hidrant yük kayıpları eklenerek bulunur.

$$H = H_a + h_{rt} = 25 + 10 = 35 \text{ m}$$

**5. aşama :** Su dağıtım ağı boru çapları ve pompa özelliklerinin belirlenmesi

Verilen örnek için bulunan debi değerleri, ayrıca, Şekil 3.38'deki su dağıtım ağı planı üzerine yazılmıştır. Bundan sonra, önceki bölümlerde ayrıntıları ile verildiği gibi, bir doğrusal programlama modeli oluşturulur ve model çözülerek her boru bölümünün çapı ve pompa biriminin özellikleri saptanır.

**Nöbet yöntemine göre tasarım :**

**1. aşama :** Hidrant yerlerinin seçilmesi ve su dağıtım ağının oluşturulması

Nöbet yönteminde de, hidrant yerlerinin seçilmesi ve su dağıtım ağının oluşturulması, istek yönteminde açıklandığı biçimde yapılır ve Şekil 3.35'te gösterildiği gibi su dağıtım ağı elde edilir.

**2. aşama :** Almaç debilerinin saptanması

Nöbet yönteminde temel ilke, proje alanındaki her tarım işletmesinde, sulamanın tamamlanacağı gün sayısının olanaklar ölçüsünde düşük tutulmasıdır. İdeali, her tarım işletmesinde sulamanın bir günde tamamlanmasıdır. Ancak bu koşulda, her tarım işletmesinde, çoğunlukla, lateral durak sayısı kadar lateral boru hattının aynı anda çalıştırılması sorunuyla karşılaşılır. Bu, bireysel sistem debisini ve sistem maliyetini çok önemli boyutlarda artırır. Ayrıca, toplu yağmurlama sulama sistemlerinde, almaç debisinin  $18 \text{ L/s}$ 'yi geçmesi pek istenmez. Aksi durumda, almaç çapı ve hidrant gövde çapı çok artar ve özel hidrant ve almaçların kullanılmasını gerektirir. Sonuç olarak, tarım işletmelerinde, işletme büyüklüğüne bağlı olarak sulamanın bir gün yerine birkaç günde tamamlanması söz konusu olabilir.

Diğer yandan, proje alanında, işletme büyüklükleri farklı olacağından, sulamanın tamamlanacağı gün sayıları da farklı olacaktır. Bu koşul göz önüne alınarak yapılacak işletmede, gerek işletme planlarının hazırlanması, gerekse

sistemin işletilmesi çok karmaşık ve güç olur. Ayrıca tasarımda, bireysel sistem debilerini saptamak için her tarım işletmesinde, sistem tertibinin ayrı yapılması gerekir. Bu ise, özellikle işletme sayısının fazla olduğu proje alanlarında çok zaman alır. Bunun yerine, proje alanındaki her tarım işletmesinde sulamanın tamamlanacağı gün sayısını aynı değerde almak, hem tasarımı, hem de işletmeyi kolaylaştırdığından, daha doğru olabilir.

Bu aşamada, proje alanında sulamanın tamamlanacağı gün sayısına, koşullar gözden geçirilerek, işletme sahipleri ile birlikte karar verilir.

Verilen örnekte, tüm tarım işletmelerinde sulamanın  $F = 4$  günde tamamlanmasına karar verilmiştir. 10-20 da büyüklük grubu için 12 nolu tarım işletmesi ve 20-50 da büyüklük grubu için 2 nolu tarım işletmesi için bireysel sistem tasarımları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.39 ve 3.40'ta gösterilmiştir. Bu büyüklük grupları için hesaplanan birim alan sistem debileri, Çizelge 3.26'da verilmiştir. Görüldüğü gibi, bireysel sistem debileri, 10-20 da büyüklük grubu için  $q_n = 0.393$  L/s'da ve 20-50 da büyüklük grubu için  $q_n = 0.369$  L/s'da biçiminde elde edilmiştir.

Proje alanındaki her tarım işletmesi için, birim alan sistem debileri işletme alanı ile çarpılarak hesaplanan bireysel sistem debileri, Çizelge 3.27'de görülmektedir. Uygulamada, standart almaç debileri 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.5, 9.0 L/s, 12.0 L/s, 15.0 L/s ve 18.0 L/s olduğundan, hesaplanan bireysel sistem kapasitesine en yakın almaç debisi seçilmiş ve Çizelge'nin son kolonuna yazılmıştır. Görüldüğü gibi, proje alanında, tarım işletmelerine ayrılan almaçların debileri, işletme büyüklüğüne bağlı olarak 5.0-18.0 L/s arasında değişmektedir.

### 3. aşama : Boru ağı bölümlerinde iletilecek debinin saptanması

Nöbet yöntemine göre işletilen toplu yağmurlama sulama sistemlerinde, çiftçilerin kendilerine ayrılan günlerde sulama yapması zorunlu olduğundan, öncelikle, bir işletme planı hazırlanır. Bu amaçla, proje alanındaki tarım işletmeleri,

$$n = \frac{SA}{F} \quad (3.30)$$

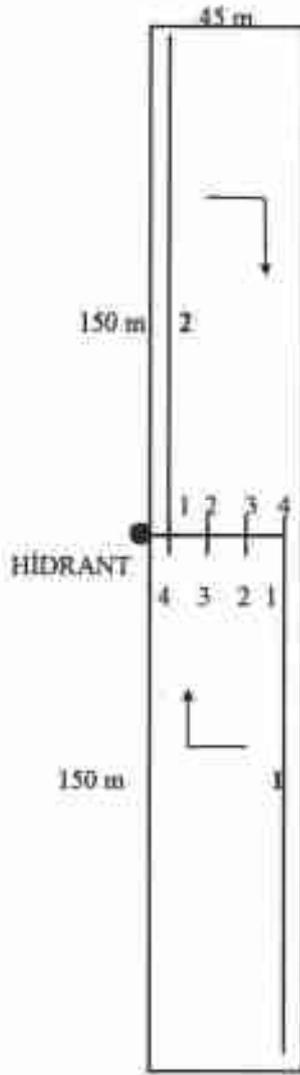
eşitliğinden yararlanarak gruplandırılır. Eşitlikte;

$n$  = Proje alanında tarım işletmeleri grup sayısı, adet.

$SA$  = Proje sulama aralığı, gün ve

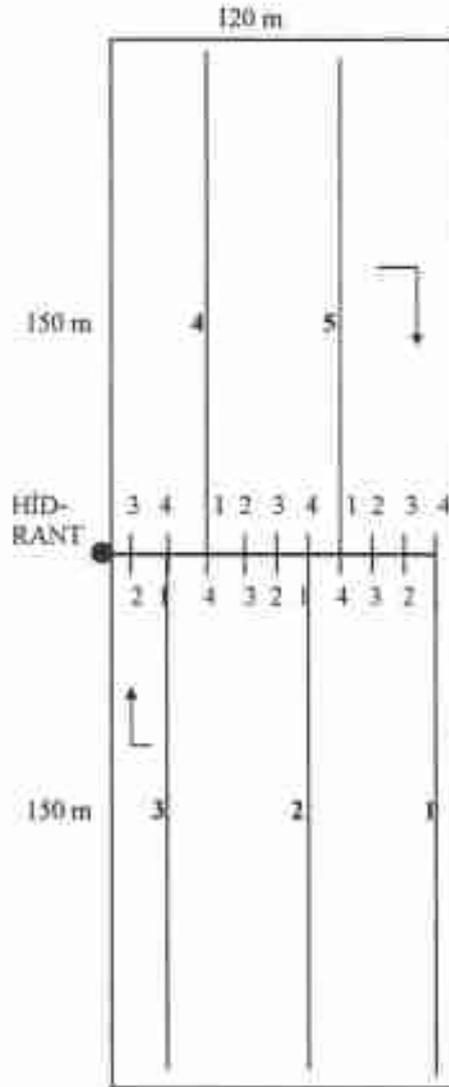
$F$  = Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı, gün'dür.

Örnekte, proje sulama aralığı,  $SA = 12$  gün ve sulamanın tamamlanacağı gün sayısı,  $F = 4$  gün olduğundan, tarım işletmeleri grup sayısı,



- Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı,  $d_s = 102.8 \text{ mm}$
- Sulama aralığı,  $SA = 12 \text{ gün}$
- Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı,  $F = 4 \text{ gün}$
- İşletme basıncı,  $h_o = 20 \text{ m}$
- Başlık debisi,  $q = 0.74 \text{ m}^3/\text{h}$
- Başlık tertip aralıkları,  $S_1 \times S_2 = 12 \times 12 \text{ m}$
- Sulama süresi,  $T_s = 20 \text{ h}$
- Gerekli lateral sayısı, 2 adet
- Lateral üzerinde başlık sayısı,  $n = 13 \text{ adet}$
- Lateral debisi,  $Q_l = 9.6 \text{ m}^3/\text{h}$
- Sistem kapasitesi,  $Q = 5.3 \text{ L/s}$
- Lateral boru hatları 63 mm dış çaplı, 6 atm işletme basınçlı, sert PE borulardan oluşturulacaktır.
- Ana boru hattı 90 mm dış çaplı 6 atm işletme basınçlı, sert PE borulardan oluşturulacaktır.
- Ana boru giriş basıncı,  $H_s = 24.03 \text{ m}$

Şekil 3.39. 12 nolu tarım işletmesinde biryönel sistem tertibi ve tasarım sonuçları



- Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı,  $d_s = 102,8$  mm
- Sulama aralığı,  $SA = 12$  gün
- Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı,  $F = 4$  gün
- İşletme basıncı,  $h_o = 20$  m
- Başlık debisi,  $q = 0,74$  m<sup>3</sup>/h
- Başlık tertip aralıkları,  $S_1 \times S_2 = 12 \times 12$  m
- Sulama süresi,  $T_s = 20$  h
- Gerekli lateral sayısı, 5 adet
- Lateral üzerinde başlık sayısı,  $n = 13$  adet
- Lateral debisi,  $Q_l = 9,6$  m<sup>3</sup>/h
- Sistem kapasitesi,  $Q = 13,3$  L/s
- Lateral boru hatları 6 atm işletme basıncı, 63 mm dış çaplı sert PE borularından oluşturulacaktır.
- Ana boru hattı 6 atm işletme basıncı, 140 mm dış çaplı sert PE borulardan oluşturulacaktır.
- Ana boru giriş basıncı,  $H_a = 24,38$  m

Şekil 3.40. 2 nolu tarım işletmesinde bireysel sistem tertibi ve tasarım sonuçları

Çizelge 3.26. Proje alanında birim alan sistem debileri

Büyükük grubu (da)	İşletme no	İşletme alanı, A (da)	Bireysel sistem kapasitesi, Q (L/s)	Birim alan sistem debisi, $q_n = Q / A$ (L/s/da)
10-20	12	13.5	5.3	0.393
20-50	2	36	13.3	0.369

Çizelge 3.27. Proje alanında bireysel sistem kapasiteleri ve seçilen almaç debileri

İşletme no	Alan, A (da)	Birim alan sistem debisi, $q_n$ (L/s/da)	Bireysel sistem debisi, $Q = q_n A$ (L/s)	Almaç debisi, $g_n$ (L/s)
1	45	0.369	16.6	18
2	36	0.369	13.3	12
3	18	0.393	7.1	7.5
4	45	0.369	16.6	18
5	27	0.369	10.0	9
6	40.5	0.369	14.9	15
7	49.5	0.369	18.4	18
8	45	0.369	16.6	18
9	31.5	0.369	11.6	12
10	36	0.369	13.3	12
11	45	0.369	16.6	18
12	13.5	0.393	5.3	5
13	45	0.369	16.6	18
14	27	0.369	10.0	9
15	36	0.369	13.3	12
16	27	0.369	10.0	9
17	22.5	0.369	8.3	9
18	22.5	0.369	8.3	9

$$n = \frac{SA}{F} = \frac{12}{4} = 3 \text{ adet}$$

bulunur. Bu aşamada, proje alanı için gerekli debi değeri;

$$Q = \frac{\sum q_n}{n} \quad (3.31)$$

eşitliği ile bulunur ve su kaynağı debisi ile kıyaslanır. Eşitlikte;

$Q$  = Proje alanı sistem debisi, L/s,

$\sum Q_a$  = Proje alanındaki tüm almaçların toplam debisi, L/s ve

$n$  = Tarım işletmeleri grup sayısı, adet'tir.

Verilen örnekte,  $\sum Q_a = 228.5$  L/s ve  $n = 3$  adettir. Buna göre proje alanı sistem debisi,

$$Q = \frac{\sum Q_a}{n} = \frac{228.5}{3} = 76.2 \text{ L/s}$$

bulunur. Elde edilen bu değer, su kaynağı debisi olan 60 L/s'den büyüktür. Diğer bir anlatımla, sistemin nöbet yöntemiyle işletilmesi durumunda, mevcut su kaynağı ile proje alanının tamamı, bitki su gereksinimi tam karşılanacak biçimde sulanamayacaktır. Bu durumda, ya proje alanı daraltılır, ya da proje sulama aralığı artırılır. Örnek için, proje alanının daraltılması yoluna gidilmemiş ve proje sulama aralığı  $SA = 16$  gün alınmıştır (nöbet yönteminde proje sulama aralığı, sulamanın tamamlanacağı gün sayısının katı olmalıdır). Buna göre çözüldüğünde, tarım işletmeleri grup sayısı,

$$n = \frac{SA}{F} = \frac{16}{4} = 4 \text{ adet.}$$

ve proje alanı sistem debisi,

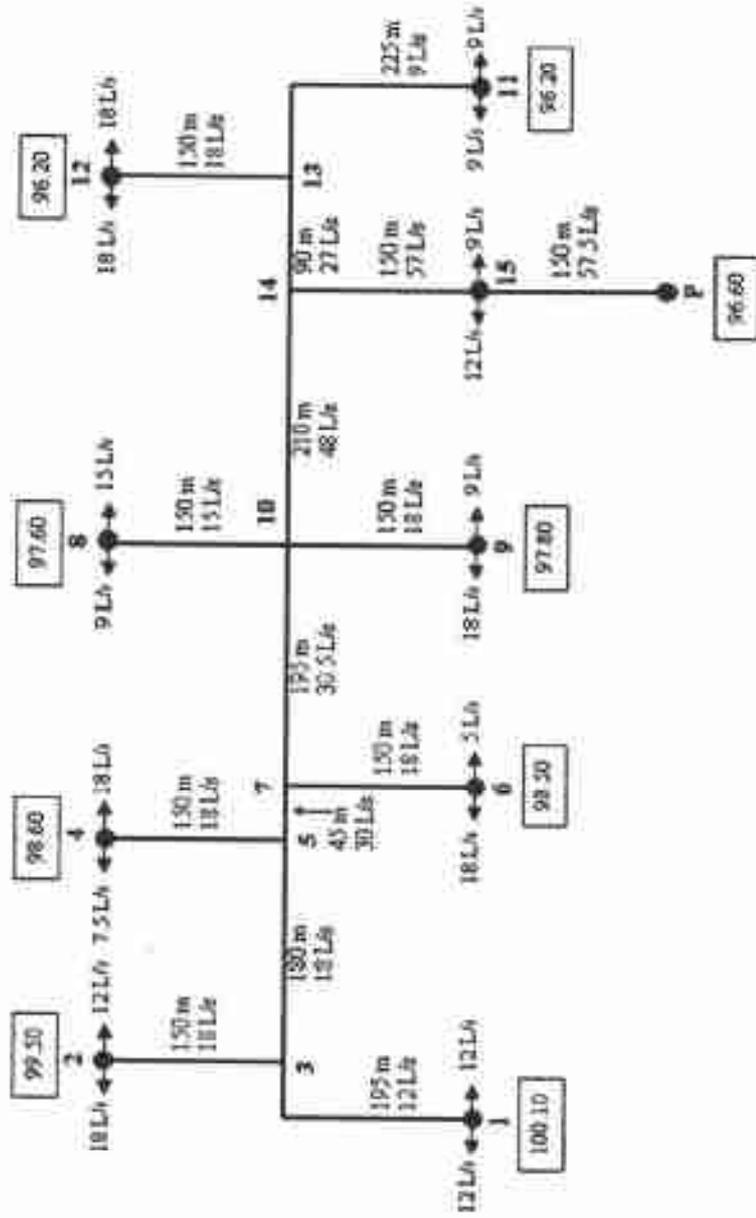
$$Q = \frac{\sum Q_a}{n} = \frac{228.5}{4} = 57.1 \text{ L/s}$$

bulunur. Bu değer, su kaynağı debisi açısından uygundur.

Görüldüğü gibi, sistemin nöbet yöntemiyle işletilmesinde, istek yöntemiyle işletmeye oranla, daha yüksek sistem debisi ya da bitki su gereksiniminin tam karşılanması koşulunda daha dar alanın sulanması söz konusu olabilmektedir. Su kaynağı kısıtlı olduğunda, proje alanını daraltma yerine, bu örnekte yapıldığı gibi, bitki su gereksinimini eksik karşılayarak sorunun çözümü yoluna da gidilebilir. Ancak, bu koşulda, proje alanında yetiştirilecek bazı bitkilerde, belirli oranda verim azalması meydana gelebilecektir.

Nöbet yöntemine göre elde edilen almaç debilerini de gösteren su dağıtım ağına planı, ayrıca, Şekil 3.41'de verilmiştir.

Bundan sonra, her gruba girecek tarım işletmelerine karar verilir. Bunda temel ilke, her gruptaki tarım işletmelerinde toplam almaç debilerinin olanaklar ölçüsünde birbirine yakın olmasının gözetilmesidir. Ayrıca, aynı gün içerisinde su alacak tarım işletmeleri yan yana seçilmez, olanaklar ölçüsünde, su dağıtım ağının farklı boru bölümlerine eşit aralıklarla dağıtmaya çalışılır. Örnekte, bu ilkelere hareketle, her gruba giren tarım işletmeleri, su alacakları günler ve toplam almaç debileri Çizelge 3.28'de verilmiştir.



Şekil 3.41. Su dağıtım ağı planı

Çizelge 3.28. Tarım işletmelerinin grupları, su verilecek günler ve toplam almaç debileri

Grup no	Su verilecek tarım işletmeleri	Su verilecek günler	Toplam almaç debisi, $Q_a$ (L/s)
1	9, 11, 13, 17	1, 2, 3, 4	57,0
2	4, 7, 10, 14	5, 6, 7, 8	57,0
3	1, 3, 6, 12, 15	9, 10, 11, 12	57,5
4	2, 5, 8, 16, 18	13, 14, 15, 16	57,0

Bireysel sistem tasarımında açıklandığı gibi, bundan sonra, farklı günlerde, su dağıtım ağının değişik boru bölümlerinde iletilecek debi değerleri bulunur. Her boru bölümü için elde edilen değerlerin en yüksek olanı, o boru bölümünde kritik koşulda iletilecek debi değerini verir. Örnek için bulunan bu değerler Çizelge 3.29'da görülmektedir. Çizelgedeki her boru bölümünde iletilecek debi değerleri, ayrıca Şekil 3.41'deki su dağıtım ağı planı üzerine yazılmıştır.

Çizelge 3.29. Nöbet yöntemine göre su dağıtım ağının farklı boru bölümlerinde iletilecek debi değerleri

Boru bölümü	G ü n l e r				Boru bölümünde iletilecek debi, $Q$ (L/s)
	1,2,3,4	5,6,7,8	9,10,11,12	13,14,15,16	
1-3	12	12	-	-	12
2-3	-	-	18	12	18
3-5	12	12	18	12	18
4-5	-	18	7,5	-	18
5-7	12	30	25,5	12	30
6-7	18	-	5	-	18
7-10	30	30	30,5	12	30,5
8-10	-	-	15	9	15
9-10	18	9	-	-	18
10-14	48	39	45,5	21	48
11-13	9	-	-	9	9
12-13	-	18	-	18	18
13-14	9	18	-	27	27
14-15	57	57	45,5	48	57
15-P	57	57	57,5	57	57,5

**4. aşama : Su dağıtım ağında istenen basınç**

**a) Almaç çıkış basıncı**

Şekil 3.39 ve 3.40'tan izleneceği gibi, ana boru giriş basıncı, 12 nolu tarım işletmesinde 24.03 m ve 2 nolu tarım işletmesinde 24.38 m'dir. Bu nedenle, tasarımda almaç çıkış basıncı,

$$H_a = 2.5 \text{ atm} = 25 \text{ m}$$

alınmıştır.

**b) Hidrant yük kayıpları**

Proje alanında en yüksek almaç debisi  $q_a = 18 \text{ L/s}$  ve en yüksek hidrant debisi yine  $Q_h = 18 \text{ L/s}$ 'dir. Buna göre, alandaki tüm hidrantların gövde çapı 150 mm ve almaç çapı 100 mm olacaktır. Bu değerlerden ve Şekil 3.34'ten yararlanarak hidrant yük kayıpları;

- Orifiste ( $q_a = 18 \text{ L/s}$ )	: 3.00 m
- Basınç regülatöründe ( $q_a = 18 \text{ L/s}$ )	: 3.50 m
- Debi limitöründe ( $q_a = 18 \text{ L/s}$ )	: 7.50 m
- Hidrant gövdesinde ( $Q_h = 18 \text{ L/s}$ )	: 0.80 m
	<hr/>
	$h_{fh} = 14.80 \text{ m}$

biçiminde elde edilmiştir.

**c) Su dağıtım ağında istenen basınç**

Su dağıtım ağında istenen basınç, almaç çıkış basıncına, hidrant yük kayıpları eklenerek;

$$H = H_a + h_{fh} = 25 + 14.80 = 39.80 \text{ m}$$

bulunmuştur.

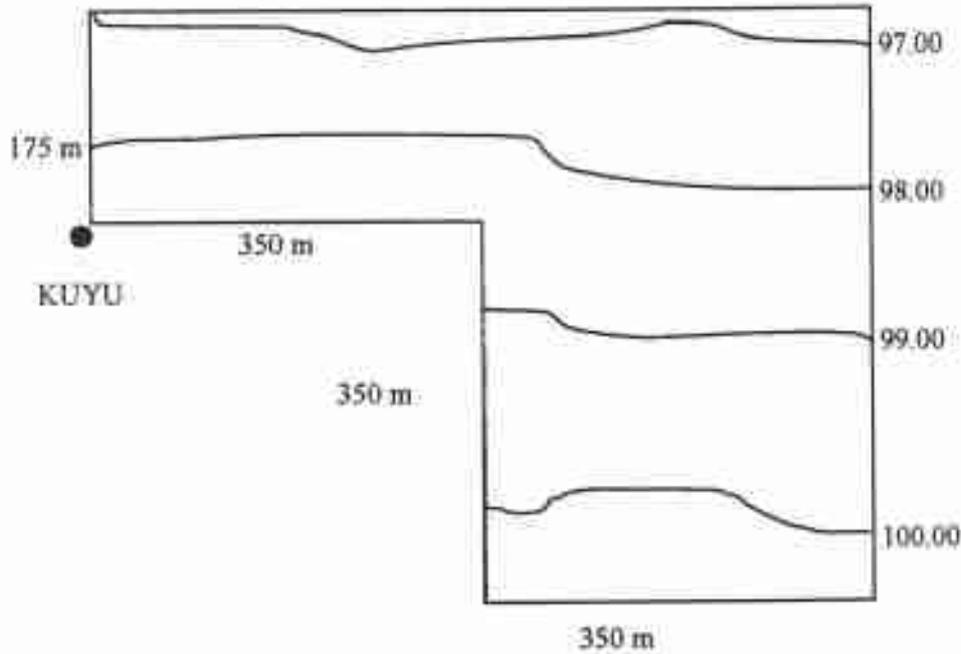
**5. aşama : Su dağıtım ağı boru çapları ve pompa özelliklerinin belirlenmesi**

Verilen örnek için bulunan debi değerleri, ayrıca, Şekil 3.41'deki su dağıtım ağı planı üzerine yazılmıştır. Bundan sonra, önceki bölümlerde ayrıntıları ile verildiği gibi, bir doğrusal programlama modeli oluşturulur ve model çözülerek her boru bölümünün çapı ve pompa biriminin özellikleri saptanır.

### 3.10. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ

1) Aşağıdaki verilere göre, Şekil 3.42'de gösterilen tarım işletmesi için bireysel yağmurlama sulama sisteminin tasarımını yapınız (sistem yarı sabit olacaktır).

- Kritik bitki : Patates
- Etkili kök derinliği : 60 cm
- Bitki su tüketimi : 6.3 mm/gün
- Mevsimlik toplam sulama suyu gereksinimi : 682.0 mm
- Borye sınıfı : L (tn)
- Kullanılabilir su tutma kapasitesi : 132 mm/m
- Su alma hızı : 10 mm/h
- Su kaynağı : Derin kuyu
- Debisi : 40 L/s
- Dinamik yüksekliği : 50 m
- Sulama suyu kalite sınıfı : C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>
- Büyüme mevsimi boyunca ortalama rüzgar hızı : 2.4 m/s
- Çiftçi günde 20 saat sulama yapabilecek ve sulamayı, sulama aralığı boyunca tamamlayacaktır.
- Alanda elektrik enerjisi mevcuttur.
- Pompa birimi ve boru maliyetleri birim fiyatlardan alınacaktır.



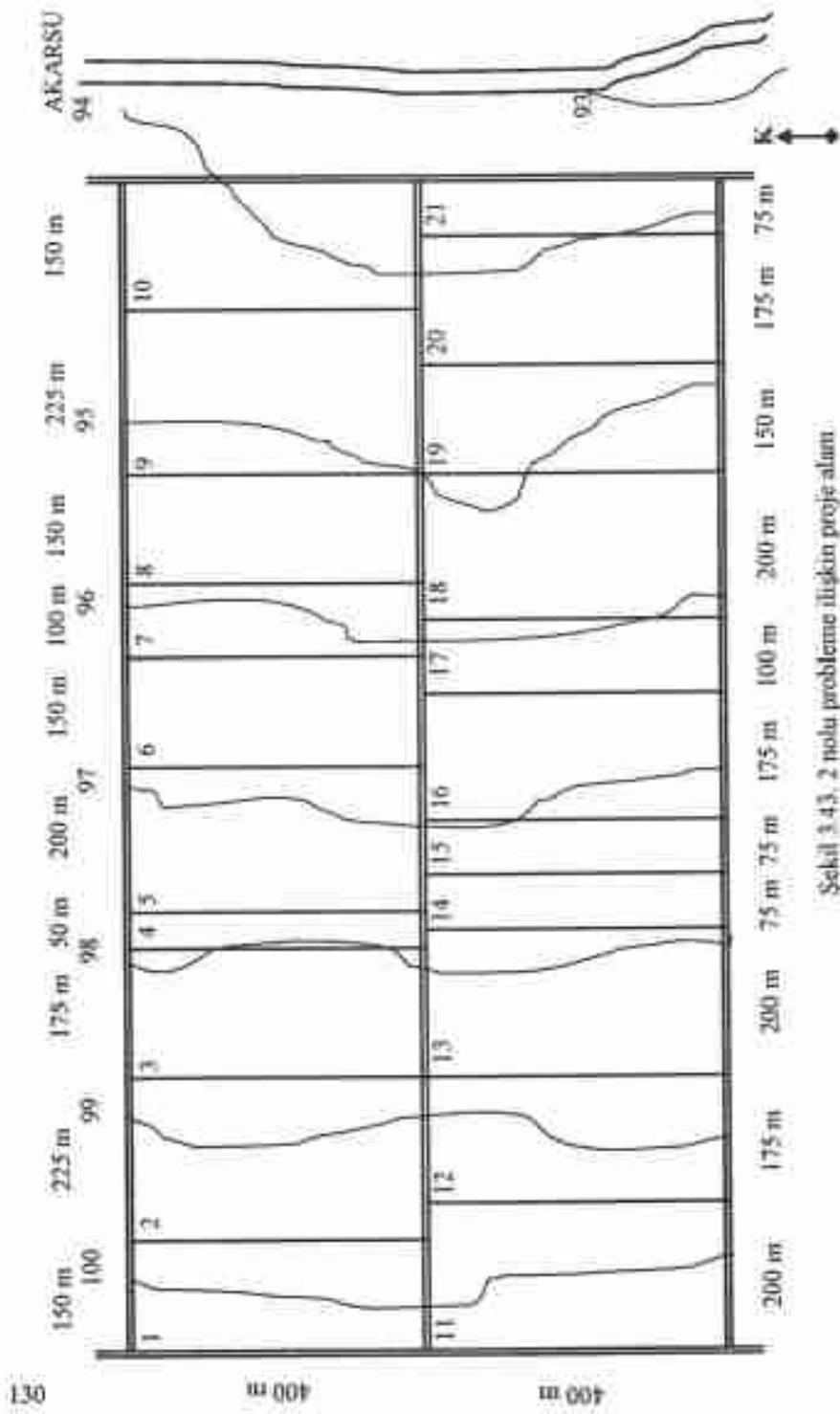
Şekil 3.42. 1 nolu probleme ilişkin tarım işletmesi planı

2) Aşağıdaki verilere göre, Şekil 3.43'te gösterilen proje alanında toplu yağmurlama sulama sisteminin tasarımını istek ve nöbet işletme yöntemlerine göre ayrı yapınız.

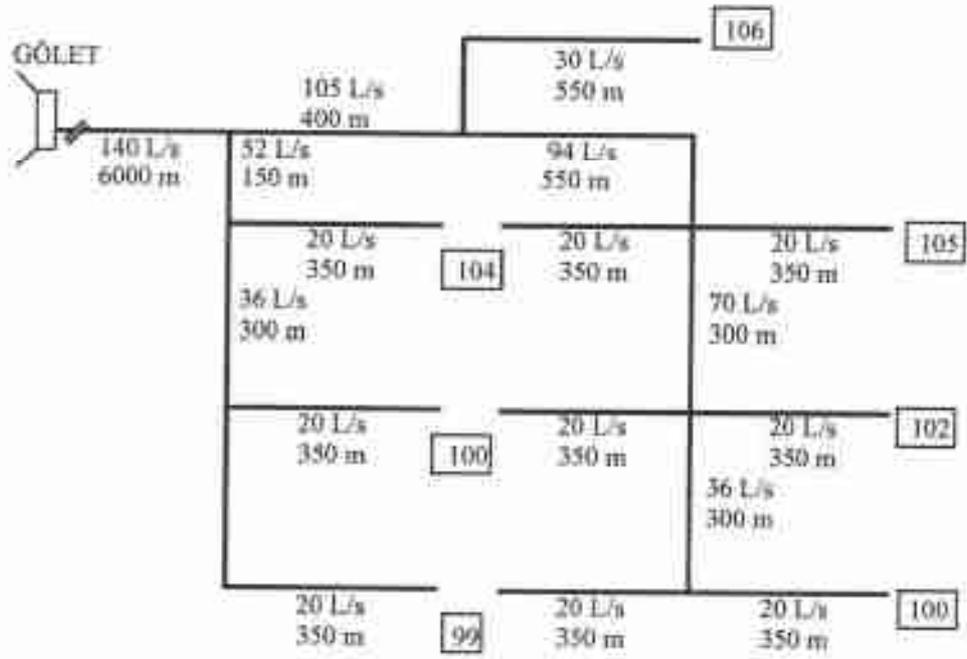
- Kritik bitki : Şeker pancarı
- Etkili kök derinliği : 90 cm
- Bitki su tüketimi : 6.2 mm/gün
- Mevsimlik toplam sulama suyu gereksinimi : 656.0 mm
- Sulama modülü : 0.65 L/s/ha
- Bünye sınıfı : CL (killi tın)
- Kullanılabilir su tutma kapasitesi : 160 mm/m
- Su alma hızı : 6 mm/h
- Su kaynağı : Akarsu
- Minimum debisi : 480 L/s
- Pompa birimi dinamik emme yüksekliği : 5 m
- Sulama suyu kalite sınıfı : C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>
- Büyüme mevsimi boyunca ortalama rüzgar hızı : 2.2 m/s
- Alanda elektrik enerjisi bulunmamaktadır. Sulama suyu sisteme diesel motorlu, yatay milli santrifüj tipi pompa ile alınacaktır.
- Pompa birimi ve boru maliyetleri birim fiyatlardan alınacaktır.

3) Aşağıdaki verilere göre, planı Şekil 3.44'te verilen su dağıtım ağının boru çaplarını bulmak için doğrusal programlama modelini oluşturunuz.

- Gølet dip savak giriş kotu : 150 m
- Su dağıtım ağında istenen basınç : 35 m
- Su dağıtım ağı 10 atm işletme basınçlı asbestli çimento borulardan oluşturulmuştur.
- Boru maliyetleri için birim fiyat cetvellerinden yararlanılacaktır.



Şekil 3.43. 2 nolü probleme ilişkin proje alanı.



Şekil 3.44. 3 nolu probleme ilişkin su dağıtım ağı

## **DAMLA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI**

### **4.1. DAMLA SULAMA YÖNTEMİ**

Damla sulama yönteminde temel ilke, sık aralıkla ve her defasında az miktarda sulama suyu uygulamaktır. Yüksek toprak nemi düzeyinde sulamaya başlanır. Böylece, yetiştirilen bitkide, topraktaki nem eksikliğinden kaynaklanan bir gerilim yaratılmaz. Yalnızca, yeterli düzeyde bitki köklerinin gelişmesini sağlayacak ortama su verilir. Bu yöntemde genellikle, bitkinin günlük ya da birkaç günlük su gereksinimi karşılanır. Kaynaktan alınan sulama suyu, bir kontrol biriminde, kum, sediment, yüzücü cisimler ve çok küçük parçacıklardan arındırılır. Gerekliğinde bitki besin elementleri sulama suyuna karıştırılır. Ayrıca, sistem debisi ve sistem basıncı denetlenir. Sulama suyu, basınçlı boru ağıyla bitki yakınına yerleştirilen damlatıcılara kadar iletilir. Düşük basınç altında ve düşük debide damlalar biçiminde toprak yüzeyine verilen su, buradan infiltrasyonla toprak içerisine girer, yerçekimi ve kapilar kuvvetlerin etkisi ile dağılır ve bitki kılcal köklerinin geliştiği toprak hacmi ıslatılır. Genellikle, bitki sıraları boyunca ıslak şerit elde edilir ve sıralar arasında ıslatılmayan kuru alan kalır. İyi bir tasarım ve uygulama ile derine sızma ya da yüzey akışı söz konusu olmaz. Böylece, mevcut su kaynağından etkin biçimde yararlanılır.

### **4.2. DAMLA SULAMA YÖNTEMİNİN ÜSTÜNLÜKLERİ**

Damla sulama yönteminin, diğer yüzey ve yağmurlama sulama yöntemlerine olan üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- 1) Damla sulama yönteminde, toprak yüzeyinden olan buharlaşma ve dolayısıyla bitki su tüketimi, tüm alanın ıslatıldığı sulama yöntemlerine oranla, genellikle daha düşük düzeydedir. Bunun nedeni, bitki sıraları arasında ıslatılmayan kuru alan kalması ve ıslatılan kesimin genellikle bitki tarafından gölgelenmesidir. Ayrıca, iyi bir tasarım ve işletmeyle sulanan alanın her tarafında eş su dağılımı sağlanır ve yüksek su uygulama randımanı elde edilir. Tüm bu etmenler, birim alan sulama suyu gereksiniminin düşük olmasına neden olur. Buna bağlı olarak, birim alan sistem debisi düşer ve özellikle kısıtlı su kaynağı koşullarında, daha geniş bir alan, bitki su gereksinimi tam karşılanacak biçimde, sulanabilir.

- 2) Damla sulama yönteminde, etkili bitki kök derinliğindeki kullanılabilir su tutma kapasitesinin daha az bir kısmı tüketildiğinde (genellikle % 30-40) sulamaya başlanır. Diğer bir anlatımla, kök bölgesinde yüksek toprak nemi varken sulama yapılır. Böylece bitki, topraktaki nem eksikliğinden kaynaklara bir gerilime girmez ve suyu fazla enerji harcamaksızın kolaylıkla alır. Bu da, daha iyi bir bitki gelişmesi sağlar ve genellikle daha yüksek miktar ve kalitede ürün elde edilir.
- 3) Damla sulama yönteminde, bitki besin elementleri sulama suyuna karıştırılarak verilir. Bu ise, bitkinin büyüme mevsimi boyunca gereksinim duyduğu makro ya da mikro besin elementlerinin istenen zaman ve miktarda uygulanması olanağını verir. Bu yolla, son derece etkin bir gübreleme yapılması sağlanır. Sonuçta, yine yüksek verim ve kalitede ürün elde edilir.
- 4) Damla sulama yönteminde, sulama suyu istenen zaman ve miktarda olmak üzere, iyi bir denetimle uygulanır. Sistemin işletilmesi son derece kolaydır ve sulama işçiliği masrafları en az düzeydedir.
- 5) Toprakta bulunan tuzlar, yerçekimi ve kapilar kuvvetlerin etkisi ile ıslatılan toprak hacminin çeperine doğru taşınır ve bitki kalcal köklerinin geliştiği ortam belirli oranda tuzdan arındırılır. Böylece, tuzlu toprak koşullarında, damla sulama yöntemi altında, toprak tuzluluğuna duyarlı bitkiler bile güvenle yetiştirilebilir.
- 6) Tuzlu sulama suyu koşullarında, her ne kadar toprak suyunda erimiş tuzların neden olduğu ozmotik basınç yüksek olsa da, büyüme mevsimi boyunca sürekli yüksek toprak nemi söz konusu olduğundan, suyun toprak taneleri tarafından tutulma gücü (matris tansiyonu) düşük düzeyde olur. Bu iki değer toplamı olan toprak rutubet geriliminde bitki, suyu kökleri ile alabilir. Sonuçta, yüzey ve yağmurlama sulama yöntemlerinde uygulanamayacak kadar tuzlu olan sulama suyu, damla sulama yönteminde uygulanabilir.
- 7) Bitkilerin toprak üstü organları ıslatılmadığından bitki hastalıklarının yayılması önlenir, bunun yanında, yabancı ot gelişmesi ıslatılan alan ile sınırlı olduğundan, yabancı ot mücadelesi daha kolay yapılır.
- 8) Bitki sıraları arasındaki kuru alandan yararlanılarak, sulama sırasında bile, bazı tarım alet ve makinaları çalıştırılabilir ve ilaçlama, hasat, vb. tarımsal işlemler sürdürülebilir.
- 9) Yağmurlama sulama yönteminde olduğu gibi, damla sulama yöntemi de, yüzey sulama yöntemlerinin uygulanamadığı, yüksek

eğimli, dalgalı, hafif bünyeli ya da yüzlek topraklarda güvenle uygulanabilir.

- 10) Yağmurlama sulama yöntemine oranla, damla sulama yönteminde, işletme basıncı daha düşük olduğu için, enerji masrafları daha az olur.
- 11) Damla sulama yönteminde, son derece düşük kapasiteli su kaynaklarından bile yararlanılabilir.

### **4.3. DAMLA SULAMA YÖNTEMİNİN UYGULANMASINI KISITLAYAN ETMENLER VE ÇÖZÜM YOLLARI**

Damla sulama yönteminin yukarıda sıralanan üstünlükleri yanında, uygulanmasını kısıtlayan bazı etmenler de söz konusudur. Bu etmenler ve bazılarının ilişkin çözüm yolları aşağıda sıralanmıştır:

- 1) Damlatıcıdaki su akış yolunun kesit alanı çok dar olduğu için, bu yöntemdeki en önemli sorun damlatıcıların tıkanmasıdır. Tıkanmaya, sulama suyu içerisinde bulunabilecek kum, sediment, yosun vb. cisimler ile kimyasal madde birikimi ve organik materyal oluşumu neden olmaktadır. Sorunun çözümü için, sulama suyu sisteme verilmeden önce, kontrol biriminde bulunacak hidrosiklon (kum ayırıcı), kum-çakıl filtre ve elek filtrede aşamalı olarak süzülür ve suyun içinde bulunabilecek tüm fiziksel maddelerden arındırılır. Damlatıcılardaki kimyasal madde birikimini ve organik materyal oluşumunu önlemek için, suyun olanaklar ölçüsünde damlatıcı içindeki akış yolundan hızlı akışını sağlayacak basınçta sistemi çalıştırmak, ayrıca, sulama mevsimi boyunca birkaç kez, kontrol birimindeki gübre tankından yararlanarak, sisteme kireç çözücü seyreltik hidro-klorik ya da orto-fosforik asit vermek gerekir. Seyreltik asit uygulamasından sonra, lateral boru hatları sonundaki kör tapalar çıkarılarak, su bir süre dışarı akıtılır ve sistem yıkanır.
- 2) Damla yönteminde uygulanan sulama suyu, iyi kaliteli de olsa, bir miktar tuz içerir. Ayrıca, toprakta da tuz vardır. Yerçekimi ve kapılar kuvvetlerin etkisi ile su, ıslatılan toprak hacminin çeperine doğru hareket ettiğinden, bu tuzlar su ile birlikte ıslak hacmin çeperine taşınır ve burada birikir. Bu yöresel tuz birikimi sorun yaratabileceğinden, kök bölgesinin altına yıkanması gerekebilir. Yıllık yağışın 300 mm'nin üzerinde olduğu yörelerde, kış yağışları, söz konusu tuzları kök bölgesinin altına yıkadığından, genellikle sorun olmaz. Ancak, yıllık yağışın düşük olduğu ya da tuzlu toprak ve düşük kaliteli sulama suyu koşullarında, toprakta biriken tuzları

yıkamak için, ek olarak, yıkama suyu vermek gerekebilir. Bu işlem çoğunlukla, işletmede bulundurulacak portatif bir yağmurlama sistemi ile sulama mevsimi dışında gerçekleştirilir.

- 3) Damla sulamada ilk tesis masrafları oldukça yüksektir. Bunun yanında, işletme basıncını sağlamak için pompa biriminin gerektiği koşullarda, sulama mevsimi boyunca sürekli enerji masrafları söz konusudur. Bu nedenle, tekniğine uygun olması koşuluyla, damla sulama sistemlerinin olanaklar ölçüsünde düşük maliyeti gerektirecek biçimde planlanması ve işletilmesi gerekir. Özellikle, sistemin planlanması, sistem unsurlarının boyutlandırılması ve işletme ilkelerinin ortaya konması işlemlerini, toprak, bitki, su ve sulamayı çok iyi bilen, mühendislik temeline sahip uzmanların yapması son derece önemlidir.

#### 4.4. DAMLA SULAMA YÖNTEMİNİN UYGULANACAĞI KOŞULLAR

Damla sulama yönteminin uygulanabileceği toprak, topografya, bitki ve su kaynağı özellikleri aşağıda açıklanmıştır:

- 1) **Toprak ve topografya özellikleri** : Damla sulama yöntemi, kumlu topraklardan, killi topraklara kadar, her türlü toprak bünye sınıfında, taban suyu ya da geçirimsiz katmanın yakında olduğu yüzlek topraklarda, tuzlu topraklarda, bunların yanında, düşük ya da yüksek eğimli arazide ve dalgalı topografyada uygulanabilir. Ancak, sulanacak arazinin topografik koşullarına uygun sistem tertibinin yapılması gerekir.
- 2) **Bitki özellikleri** : Damla sulama yöntemi genel olarak, sık ekilen hububat, yemi bitkileri ve çayırt ve mera bitkileri dışında, tüm tarla ve bahçe bitkilerinin sulanmasında kullanılabilir. Ancak, yüksek sistem maliyeti nedeniyle, bazı tarla bitkilerinin damla yöntemiyle sulanması ekonomik olmayabilir. Yöntem özellikle, topraktaki nem eksikliğine duyarlı olan ve pazar değeri yüksek ürün elde edilen sebzeler, bağ, meyve ağaçları, örtü altında yetiştirilen bitkiler ve süs bitkileri için çok uygundur. Su kaynağının kısıtlı olduğu koşullarda, yüzey ya da yağmurlama yöntemlerine oranla, daha geniş alan sulanabildiğinden, pamuk, mısır, patates gibi tarla bitkilerinin sulanmasında, damla yöntemi uygulanabilir.
- 3) **Su kaynağı özellikleri** : Damla sulama yönteminde, her türlü yer üstü ve yer altı su kaynaklarından, çok düşük kapasitede olsalar bile, yararlanılabilir. Önceki bölümlerde açıklandığı gibi, yüksek oranda tuz içeren düşük kaliteli sulama suyu, damla yönteminde kullanılabilir. Yalnız, yer üstü su kaynaklarından yararlanıldığında,

suyun fazla miktarda sediment ve yüzücü cisim içermemesi ya da sediment havuzlarda çöktürüldükten, yüzücü cisimler süzgeçlerle tutulduktan sonra kullanılması gerekmektedir.

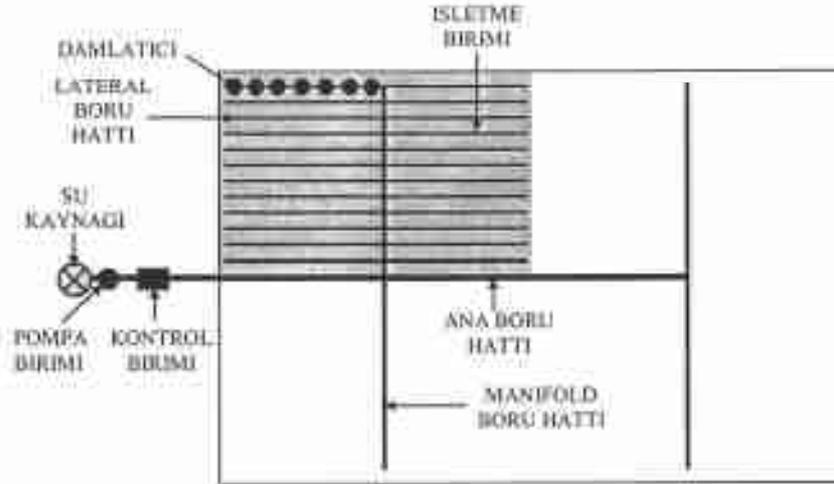
#### 4.5. DAMLA SULAMA SİSTEMLERİ

Damla sulama sistemleri basınçlı olup, suyun kaynaktan alınması, süzülmesi, suya bitki besin elementlerinin karıştırılması, sulanacak alana iletilmesi, alan içerisinde dağıtılması ve bitki kök bölgesine kontrollü olarak verilmesi için gerekli yapı, makina, boru, alet ve araçlardan oluşur. Genellikle, sabit sistem biçimindedir. Sistem unsurları, sulama mevsimi boyunca aynı konumda kalırlar. Ancak, sulama mevsimi sonunda, bazı unsurlar araziden kaldırılır.

Tipik bir damla sulama sistemini oluşturan temel unsurlar, bitkiden su kaynağına doğru, sınısıyla, damlatıcılar, lateral boru hatları, manifold boru hatları, ana boru hattı, kontrol birimi ve pompa birimidir (Şekil 4.1). Bu unsurlar, aşağıda açıklanmıştır.

##### 4.5.1. Damlatıcılar

Lateral boru hattı üzerine yerleştirilen ve suyu lateral boru hattından toprak yüzeyine veren araçlardır. Damla sulama sisteminin etkinliğini belirlemesi ve sistemde çok sayıda yer alması (çoğunlukla 200-2000 adet/da) nedeniyle, sistem maliyetinde oldukça yüksek paya sahip olduğundan, sistemin en önemli ve çok dikkatle seçilmesi gereken unsurudur.



Şekil 4.1. Damla sulama sisteminin unsurları

Lateral borulardaki basınçlı su, damlatıcıya girdikten sonra, akış yolu boyunca ilerlerken, suyun enerjisi sürtünme ile önemli ölçüde kırılır. Bunun sonucunda, su damlatıcıdan damlalar biçiminde çok düşük debi ile çıkar ve toprak yüzeyine verilir. Buradan da infiltrasyonla toprak içerisine girer.

Damlatıcılar genellikle, PVC (polivinil-klorit), PE (polietilen) ve ABC' den (aknito-nitril-butanen-stiril) yapılmaktadır.

**İşletme basıncı :** Damla sulama sistemlerinde işletme basıncı, lateral boru içerisinde, damlatıcı girişinde istenen basınçtır. İşletme basıncı, genellikle, 0.5-2.0 atm arasında değişebilmektedir. Zorunlu kalmadıkça, 1 atm'den düşük seçilmemelidir. Aksi durumda, damlatıcı içerisindeki akış yolu boyunca, kimyasal madde birikimi ve organik materyal oluşumu hızlanmakta, damlatıcıların daha çabuk tıkanması ve debilerinin düşmesi sorunuyla karşılaşmaktadır. Sistem basıncının pompa birimi ile sağlandığı koşulda, basıncın 1 atm'den daha yüksek seçilmesi, enerji masraflarını arttırır. Başka bir deyişle, gerekli basıncın pompa birimi ile sağlandığı sistemlerde, işletme basıncı bir yerde sabittir ve bu değer 1 atm alınmaktadır. Sistem basıncının yerçekimi ile sağlandığı koşulda ise, su kaynağı ile proje alanı arasındaki yükseklik farkına bağlı olarak işletme basıncı belirlenir. Bu koşulda, işletme basıncını olanaklar ölçüsünde yüksek tutmak, damlatıcılarda kimyasal madde birikimi ve organik materyal oluşumu sorunu azaltır. İşletme basıncının 2.0 atm'den yüksek seçilmesi durumunda ise, daha yüksek basınca dayanan boru hatlarının döşenmesini gerektirebilir. Bu da sistem maliyetini arttırdığından tercih edilmez.

**Damlatıcı debisi :** Yeterli ıslatma oranının elde edilmesi koşulunda, sistem debisini arttırmamak için, olanaklar ölçüsünde, düşük debili damlatıcılar tercih edilmektedir. Ayrıca, özellikle su alma hızı düşük ağır bünyeli topraklarda, yüksek damlatıcı debisi yüzey akışa neden olabilmektedir. Yalnız, damlatıcı debisi azaldıkça damlatıcı içerisindeki akış yolu daralacağından, damlatıcıların daha çabuk tıkanması sorunuyla karşılaşmaktadır. Bu nedenlerle, uygulamada yaygın olarak debisi 2-8 L/h arasında değişen damlatıcılar kullanılmaktadır.

Damlatıcılarda nominal debi, standart işletme basıncındaki (çoğunlukla 1 atm) yaklaşık damlatıcı debisidir. Bu basınçta, laboratuvar testleri ile elde edilen gerçek debi biraz daha farklı olabilmektedir. Nominal debi, ortalama debi olarak alınabilir ve kaba yaklaşımlarda kullanılabilir. Damla sulama sistemlerinin tasarımında, gerçek debi değerleri göz önüne alınır.

Damlatıcı debisi, su sıcaklığı ile değişebilmektedir. Damlatıcı içerisindeki akış yolunda, laminar akım olduğunda, debinin su sıcaklığına göre değişimi, oldukça önemli boyutlardadır. Ancak, kısmi türbülanslı ya da tam türbülanslı akım koşullarında, su sıcaklığının her 1 °C değişmesine karşılık, debideki değişim % 1'i pek geçmemektedir. Bu nedenle, damlatıcı içerisindeki kısmi ya da tam türbülanslı akım koşullarında, damlatıcı debisinin su sıcaklığına göre değişimi, damla sulama

sistemlerinin tasarımında ihmal edilmektedir. Belirli işletme basıncındaki damlatıcı debisi, 20 °C su sıcaklığı için verilmektedir.

Damlatıcı içerisinde akış yolu kesit alanı dar olduğundan, belirli bir kuruluşun ürettiği aynı tip damlatıcılarda, sabit işletme basıncındaki damlatıcı debileri arasında farklılık olabilmektedir. Bu farklılık, yapımcı farklılığı olarak adlandırılmakta ve farklılık düzeyi, değişim (varyasyon) katsayısı (CV) ile ifade edilmektedir. Varyasyon katsayısı düşük damlatıcıların kullanıldığı sistemlerde, eş su dağılım düzeyi ve dolayısı ile su uygulama mandımanı düşebilmektedir. Bu nedenle, damlatıcılarda yapımcı farklılığının,  $CV \geq \% 95$  olması istenir.

**Damlatıcı tipi :** Uygulamada, damlatıcı içerisindeki su akış yolu, kısa ya da uzun olabilmekte, bunun yanında, delikli boru, geçirgen boru ve çift çeperli borular da kullanılmaktadır.

Kısa akış yollu damlatıcılar, orifis tipi damlatıcılardır. Genellikle, 0.5 atm gibi düşük basınçta çalışırlar. Akış yolu çapı dar (0.5-1.0 mm) ve debileri yüksektir. Bu tip damlatıcılarda yapımcı farklılığını belirten varyasyon katsayısı düşüktür. Kimyasal madde birikimi ve organik materyal oluşumu nedeniyle çabuk tıkanırlar. Ayrıca, debileri yüksek olduğundan, su alma hızı düşük olan topraklarda yüzey akışa neden olabilirler. Buna karşın, basit ve ucuzdur. Tıkanan damlatıcılar, kolaylıkla değiştirilebilir. Basınç değişimlerinde, debideki değişim düşük düzeydedir. En basit biçimi, boru çeperini delerek yerleştirilen memelerdir (delikli boru). Delikli borular, tek çeperli olabildiği gibi, çift çeperli de olabilmektedir. Çift çeperli borularda, içteki debi ve basınç yüksektir. Su dış boruya, küçük delikler aracılığıyla geçmektedir. Dış boru üzerine, debileri 2-5 L/h arasında değişen ve aralıkları toprak özelliklerine göre belirlenen memeler monte edilmektedir. Delikli borular da nispeten ucuzdur ve bir iki sulama mevsimi kullanıldıktan sonra atılmaktadır. Orifis tipi damlatıcılar ve delikli borular uygulamada çok sınırlı olarak kullanılmaktadır.

Uzun akış yollu damlatıcılarda, akış yolu düz, labirent ya da zigzag biçiminde olabilmektedir. Düz akış yollu olanlara mikro tüp adı da verilmektedir. Uygulamada en çok, labirent ya da zigzag akış yoluna sahip damlatıcılar kullanılmaktadır. Bu tip damlatıcılarda, işletme basınçları 0.5-2.0 atm, debileri 2-8 L/h ve akış yolu çapı 0.4-0.6 mm arasında değişmektedir. Lateral boru içerisindeki yüksek basınç, uzun akış yolu boyunca sürtünme nedeniyle kırılmakta ve damlatıcı çıkış basıncı atmosfer basıncına yaklaşmaktadır. Orifis tipi damlatıcılara oranla, varyasyon katsayıları daha yüksek, akış yolunda kimyasal madde birikimi ve organik materyal oluşumu daha düşük, servis ömürleri daha uzun, buna karşın, daha pahalıdır.

Geçirgen (poroz) boruların çeperlerinde çok küçük porlar vardır. Su lateral boru hattı boyunca sızmaktadır. Bu borular, sızdırma sulama yönteminde

kullanılmaktadır. Çok çabuk tıkanmaları ve genellikle toprak altına gömülmeleri nedeniyle, kullanımları son derece sınırlıdır.

Uygulamada, yaygın olarak kullanılan labirent ya da zigzag biçiminde uzun aksis yoluna sahip olan damlaticılar, lateral üzerine geçik (on-line) ve lateral boyuna geçik (in-line) olmak üzere iki tipte yapılmaktadır (Sekil 4.2). Lateral üzerine geçik damlaticılarda, damlatıcı girişi lateral boru içinde ve gövde borunun dışındadır. Lateral boyuna geçik damlaticılarda ya lateral boru damlaticinin iki ucuna bağlanmakta ya da yaygın olarak damlaticılar üretim sırasında lateral boru içerisine sabit aralıklarla ve boylamasına yerleştirilmektedir.

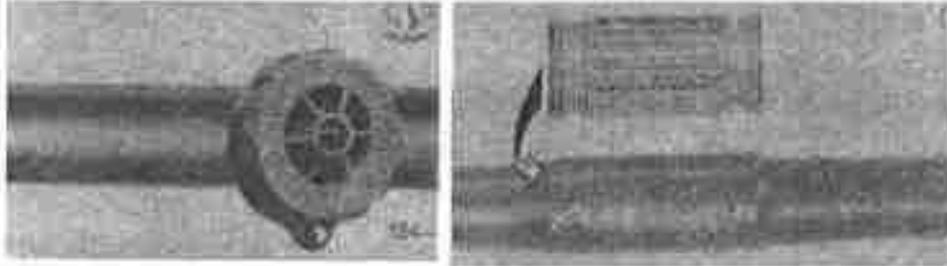
Lateral üzerine geçik tiplerde çok çıkışlı damlaticılar da söz konusudur. Bu damlaticılarda, çıkış sayısı 2-8 arasında değişmektedir. Genellikle, saksıda yetiştirilen bitkilerin ve meyve ağaçlarının sulanmasında kullanılmaktadır. Her çıkıştan alınan su, kılcal borularla istenen noktaya verilmektedir.

**Damlaticılarda basınç-debi ilişkisi** : İşletme basıncı ile damlatıcı debisi arasında, aşağıdaki gibi bir ilişki vardır:

$$q = K_d h^x \quad (4.1)$$

Esitlikte;

- $q$  = Damlatici debisi, L/h,
- $K_d$  = Damlatici yapım biçimi ve aksis yolu kesit alanına bağlı katsayı,
- $h$  = İşletme basıncı, m ve
- $x$  = Damlaticide aksis rejimine bağlı katsayıdır.



a) Lateral üzerine geçik  
(on-line)

b) Lateral boyuna geçik  
(in-line)

Sekil 4.2. Lateral üzerine ve boyuna geçik damlaticılar

Damlaticılarda akış yolunun biçimine bağlı olarak akış rejimi, uzun akış yollu mikro tüplerde laminar, labirent ya da zigzag biçiminde uzun akış yollu damlaticılarda kısmi türbülanslı (laminara yakın), kısa akış yollu orifis damlaticılarda türbülanslı ya da kısmi türbülanslı (türbülanslıya yakın) olabilmektedir. Teorik olarak  $x$  değeri, laminar akımda 1.0 ve türbülanslı akımda 0.5 tir. Ancak, (4.1) nolu eşitlikle verilen damlaticı basınç-debi ilişkisi, laboratuvar denemeleri ile farklı işletme basınçlarında damlaticı debileri ölçülerek saptanmaktadır. Laboratuvarlarda deneysel olarak elde edilen gerçek değerler, çoğunlukla, orifis damlaticılarda 0.38-0.56 ve uzun akış yollu damlaticılarda 0.56-0.81 arasında değişmektedir. Basınç değişimindeki debi farklılığı,  $x$  değerinin 1.0'e yaklaşma düzeyi ile orantılı olarak artmaktadır. Bu nedenle, damlaticılarda,  $x$  değerinin 0.5'e yakın olması, istenilen bir özelliktir.

Bunun yanında, kendinden basınç regülatörlü damlaticılar da üretilmektedir. Bu tip damlaticılarda, belirli basınçtan itibaren işletme basıncı değişse bile, debi, kabul edilebilir sınırlar içerisinde, sabit kalmakta ve  $x$  değeri 0 olmaktadır.

#### 4.5.2. Lateral Boru Hatları

Bitki sıraları boyunca döşenen ve üzerinde damlaticılar bulunan boru hatlarıdır. Çoğunlukla toprak yüzeyine serilirler ya da özellikle bağlarda olduğu gibi, bitki sıraları boyunca tesis edilen direkler üzerindeki en alt tele bağlanırlar. Lateral boru hatları, genellikle, 2.5-4 atm işletme basınçlı, güneşin ultraviyole ışınlarına dayanıklı esnek (yumuşak) PE borulardan oluşturulur. Boru dış çapları, 12-32 mm arasında değişebilir. Çok yaygın kullanılanları 16 mm ve 20 mm dış çaplı borulardır.

Laterale boyuna geçiş (in-line) damlaticılar, çoğunlukla üretim sırasında lateral içerisine sabit olacak biçimde yerleştirilir. Lateral üzerine geçiş (on-line) damlaticılarda ise, boru, belirlenen damlaticı aralığında, özel araçla delinir ve damlaticı giriş kısmı delik üzerine yerleştirilerek, bu kısım boru çeperini geçinceye kadar bastırılır.

Lateral boru hatlarının başlangıcında T, dirsek ve nipel, sonunda ise kör tapa gibi sert PE'den yapılmış bağlantı elemanları kullanılır. Bu bağlantı elemanları, boru içerisine geçen yivli tipte olabildiği gibi, boruyu dıştan sıkarak bağlayan kilit ya da kaplin tipte de olabilir. Lateral boru hatlarının periyodik olarak yıkınmasına olanak sağlaması açısından, hat sonlarına yerleştirilen kör tapaların kolaylıkla sökölüp takılabilen özelliğe olması istenir. Kör tapanın en basit biçimi, lateral boruyu bükerek bağlamaktır.

#### 4.5.3. Manifold Boru Hatları

Bir işletme biriminde belirli sayıdaki lateral boruya, aynı anda su veren boru hattına manifold denir (Şekil 4.1). Damla sulama sistemlerinde, her işletme

birimine genellikle bir manifold boru hattı hizmet eder. Bu boru hatları, toprak yüzeyine serilebildiği gibi toprak altına da döşenebilir. Tarım makinelerini engellememesi açısından, toprak altına döşenmesi tercih edilir. Yüzeye serildiğinde, 4 atm işletme basınçlı esnek (yumuşak) ya da sert PE borulardan, toprak altına döşendiğinde ise, genellikle, 6 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulur. Özellikle küçük işletmelerde, toprak altına döşenen küçük çaplı manifold boru hatlarının, 6 atm işletme basınçlı, esnek (kanal tipi) ya da sert PE borulardan oluşturulması söz konusu olabilir. Manifold boru çapları, genellikle, 32-110 mm arasında değişmektedir.

Manifold boru hattı, sert PVC ya da PE borulardan oluşturulduğunda, lateral boru hatlarına geçiş için, manifold boru, lateral boru çapına uygun olacak biçimde, matkapla delinir. Delişe conta yerleştirilir ve lateral bağlantısı (start connector) monte edilir. Lateral boru hattı, doğrudan bu elemana bağlanır. Toprak yüzeyine serili yumuşak PE manifold borudan laterale geçiş ise, T parçası ile yapılır.

Ana boru hattından manifold boru hattına geçişte, en azından sırasıyla, hava boşaltma aracı, kontrol vanası ve manometre bulunur. Özellikle, manifold boru hatlarının geniş alana hizmet ettiği büyük işletmelerde, bunlara ek olarak, su sayacı, basınç regülatörü, elek filtre ve hatta gübre tankı ve gübre enjeksiyon pompası da yerleştirilebilir. İşletmenin otomatik yapıldığı damla sulama sistemlerinde, manifold girişine otomatik çalışan hidrolik ya da selenoit vanalar konur.

#### **4.5.4. Ana Boru Hattı**

Suyu, kontrol biriminden manifold boru hatlarına iletir. Basit tek bir hat olabildiği gibi, kollara da ayrılabilir (dallı ana boru hattı). Genellikle gömülüdür ve 6 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulur. Bu amaçla, kimi zaman sert ya da esnek (kanal tipi) PE borular kullanılabilir. Küçük damla sulama sistemlerinde, ana boru hattı toprak yüzeyine döşenebilir. Bu koşulda, 4 atm işletme basınçlı sert ya da yumuşak PE borular kullanılır. Dallı ana boru hatlarında, her dalm başlangıcına, diğer hatlarda sulamaya ara vermeksizin onarım yapabilmek için hat vanası konur.

Çok sayıda tarım işletmesine hizmet götüren toplu damla sulama sistemlerinde, su kaynağı ile her tarım işletmesinin girişindeki kontrol birimi arasında su ifetimini sağlamak amacıyla, su dağıtım ağı oluşturulur. Su dağıtım ağı gömülüdür ve bu hatlarda en az 10 atm işletme basınçlı sert PVC borular kullanılır.

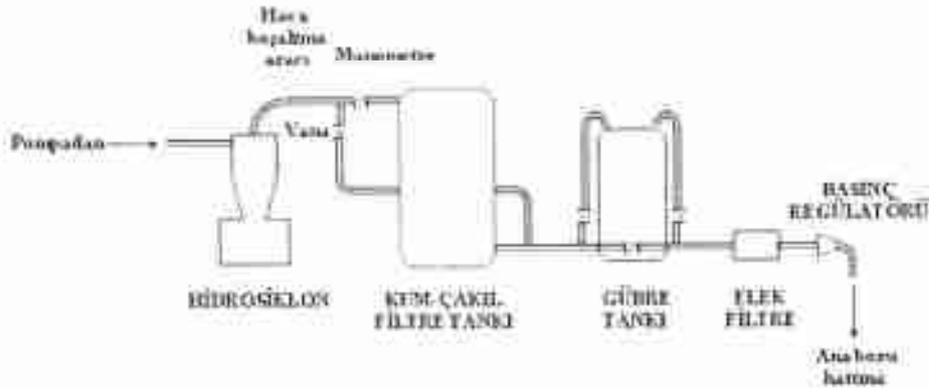
#### **4.5.5. Kontrol Birimi**

Damla sulama sistemlerinde, ana boru hattının başlangıcına kontrol birimi yerleştirilir. Bu birimde, sulama suyunda bulunan ve damlatıcıların tıkanmasına

neden olabilen kum, sediment ve yüzücü cisimler tutulur, bitki besin elementleri sulama suyuna karıştırılır, sistem debisi ve sistem giriş basıncı denetlenir.

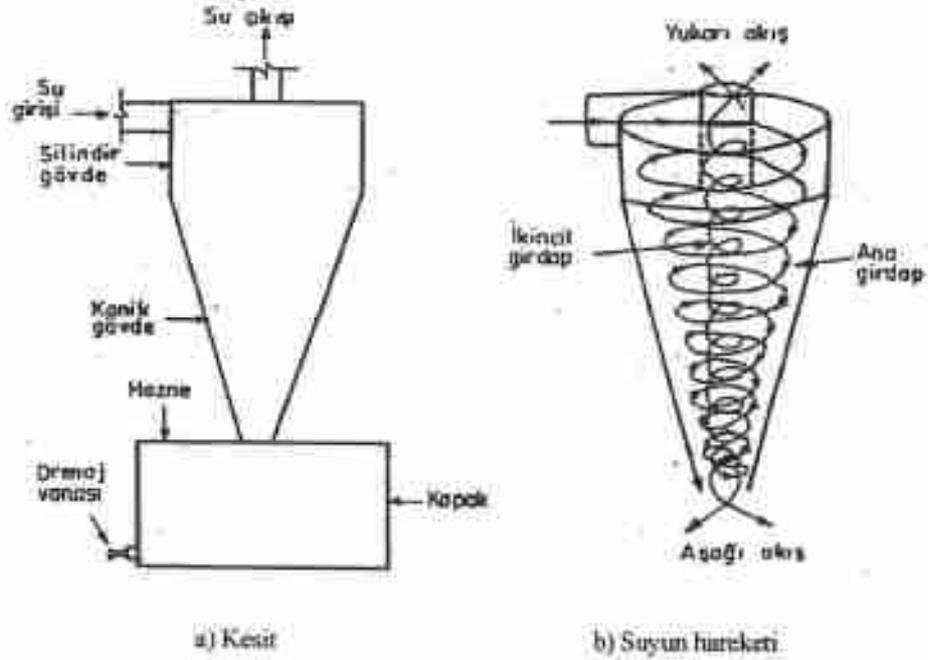
Tipik bir kontrol birimi, pompadan ana boru hattına doğru olmak üzere, sınırsızlı, hidrosiklon (kum ayırıcı), kum-çakıl filtre tankı, gübre tankı, elek filtre ve basınç düzenleyiciden (basınç regülatörü) oluşur. Ayrıca, çekvalf, vana, manometre, su sayacı, gübre enjeksiyon pompası gibi özel parçalar ve bu elemanları birbirine bağlayan, nipel, T, dirsek gibi bağlantı elemanları bulunur (Şekil 4.3).

Damlı sulama sistemlerinde, işletme kolaylığı açısından, kontrol biriminin tek bir noktaya ve ana boru hattı başlangıcına yerleştirilmesi tercih edilmektedir. Ancak, büyük tarım işletmelerinde, kontrol birimi birden fazla noktaya, örneğin dallı ana boru hatlarında, ayrılan her dalın başlangıcına yerleştirilebilir. Büyük tarım işletmelerinde, kum ayırıcı ve kum-çakıl filtre tankının ana boru hattı başlangıcına, gübre tankı, elek filtre ve basınç regülatörünün ise, ana boru hattı üzerinde ayrılan dalların başlangıcına ya da işletme birimlerindeki manifold boru hatlarının başlangıcına yerleştirilmesi yaygın olarak izlenen yoldur. Ayrıca, toplu damla sulama sistemlerinde, yine kum ayırıcı ve kum-çakıl filtre tankından gerekli olanları su dağıtım ağı başlangıcına yerleştirilir. Her tarım işletmesindeki bireysel damla sulama sistemlerinin kontrol birimleri ise gübre tankı, elek filtre ve gerektiğinde basınç regülatöründen oluşturulur.



Şekil 4.3. Kontrol birimi elemanları

**Hidrosiklon :** Hidrosiklon, suda bulunabilecek kum parçacıklarının sisteme girmeden önce merkezkaç etkisiyle tutulduğu araçtır. Hidrosiklonun kesiti ve suyun hidrosiklon içerisindeki hareketi, Şekil 4.4'te görülmektedir. Şekilden izleneceği gibi, uygulamada yaygın olarak kullanılan tiplerinde, hidrosiklonun üst kısmı silindirik ve alt kısmı koni biçimindedir. Ayrıca, en altta tutulan kumun biriktiği silindirik biçiminde yatay bir hazne vardır. Su, hidrosiklonun üst kısmından çepere doğru girer ve merkezkaç kuvvetlerinin etkisiyle çeper boyunca bir döngü hareketi yaparak aşağıya doğru iner. Konik kısımda çeperdeki döngü hareketi daraltılır ve su ortadan yükselmeye zorlanır. Kum parçacıkları ağır olduğundan, su ile birlikte yükselmez ve tabanda kalarak haznede birikir. Kumdan arınan su, hidrosiklonun üzerinden ve ortadan sistere verilir. Tabanda biriken kum, belirli aralıklarla, sulama sırasında haznedeki drenaj vanası, sulama yapılmadığında ise haznenin kapağı açılarak temizlenir.

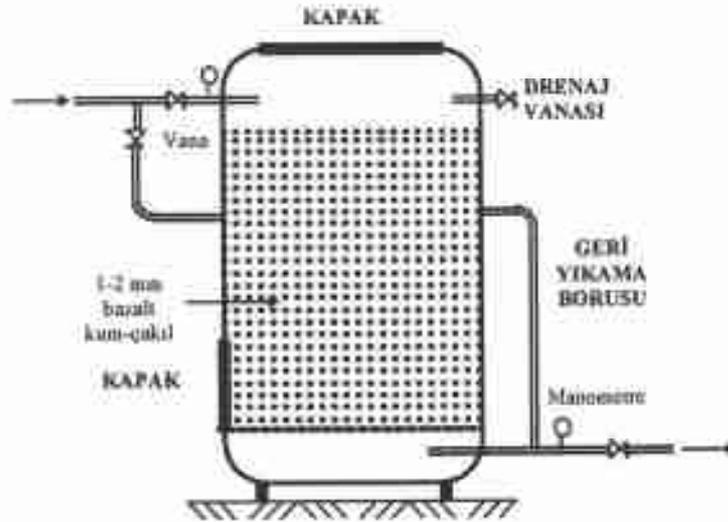


Şekil 4.4. Hidrosiklon kesiti ve suyun hareketi

Su kaynağının özelliğine göre, sulama suyunun içerisinde kum yoksa, örneğin, su bir havuz ya da rezervuardan alınıyorsa, kontrol birimi başlangıcına hidrosiklon koymaya gerek duyulmayabilir. Ancak, suyun bir kuyudan alınması durumunda, sisteme mutlaka hidrosiklon yerleştirilmelidir.

Hidrosiklon, paslanmaz özellikteki basınca dayanıklı metalden yapılır. Uygulamada, eğik olarak yerleştirilen, silindirik biçimindeki kum ayırıcıları da söz konusudur. Ancak, bu ayırıcılar ender olarak kullanılmaktadır.

**Kum-çakıl filtre tankı :** Kum-çakıl filtre tankında, sulama suyunun bulunabilen ve hidrosiklonla tutulamayan mil, kil gibi sediment ile yosun, ot, çöp, yaprak, yabancı ot tohumu, böcek gibi canlı ve cansız yüzücü cisimler tutulur. Basit bir kum-çakıl filtre tankının kesiti, Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekilden izleneceği gibi, tank silindirik biçimindedir. Paslanmaz metal ya da sert plastikten yapılır. Tank çapı, 12" - 48" arasında değişebilmektedir. İçerisine, büyüklüğü 1-2 mm arasında olan kırılmış bazalt kum-çakıl karışımı konur. Üst kısımda, 10 cm kadar boşluk bulunur. Bu boşluğun bir yanında su giriş borusu, diğer yanında kör tapan ile kapatılan drenaj borusu, üst tarafında ise kum-çakılın tanka doldurulduğu kapak vardır. Çıkış borusu tankın altındadır. Bu borunun tank içerisindeki kısmı delikliktir. Tank içerisindeki kum-çakılın boruya girmesini engellemek için, ya borunun etrafı bir elek ile sarılmakta, ya da borunun hemen üzerine çok sayıda meme bulunan bir diyafram yerleştirilmektedir. Giriş ve çıkış boruları üzerine birer manometre ve vana yerleştirilir. Ayrıca, geri yıkama borusu üzerinde bir vana ve tankın alt kısmında, gerektiğinde kum-çakılın boşaltıldığı bir kapak bulunur.



Şekil 4.5. Kum-çakıl filtre tankı kesiti

Su tanka üstten girer, kum-çakıl katmanından geçtikten sonra tankın altından çıkar. Bu arada sediment ve yüzücü cisimler kum-çakıl katmanında ve genellikle üst kesimde tutulur.

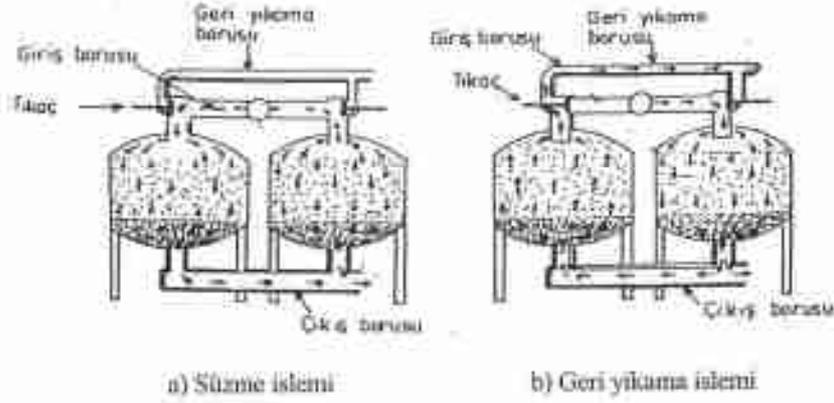
Kum-çakıl filtre tankında ayrıca, suyun alttan girişini ve üstteki vanadanı çıkışı sağlayan geri yıkama borusu bulunur. Bu boru, bezli PE hortum olabileceği gibi, sert PE ya da paslanmaz çelik olabilir. Bu boru aracılığıyla, kum-çakıl filtre içinde biriken sediment ve yüzücü cisimler yıkamarak tank temizlenir. Yıkama sıklığı, suda bulunan sediment ve yüzücü cisim miktarına bağlıdır. Yıkama işlemi, giriş ve çıkış boruları üzerine yerleştirilen manometrelerdeki basınç farklığı 3 - 5 m olduğunda ya da deneyimle saptanan belirli aralıklarla yapılır. Kum-çakıl filtrenin, en azından, her sulamadan hemen sonra temizlenmesi önerilmektedir.

Yıkama yapılacağında, giriş ve çıkış boruları üzerindeki vanalar kapatılır. Geri yıkama borusundaki vana ile drenaj borusunun kör tapası ve gerekirse üst kapak açılır. Sisteme su verilir, su alttan girerek kum-çakıl katmanı boyunca yukarıya yükselir ve drenaj borusundan ya da üstten dışarıya boşalır. Bu sırada, tank içerisindeki sediment ve yüzücü cisimler dışarı atılır. Ancak, yıkama suyunun debisi yüksek olmamalıdır. Aksi durumda, tank içerisindeki kum-çakılın da dışarı taşınması sorunu ile karşılaşılabilir. Bu değer, yıkama borusunun vanası ayarlanarak saptanır.

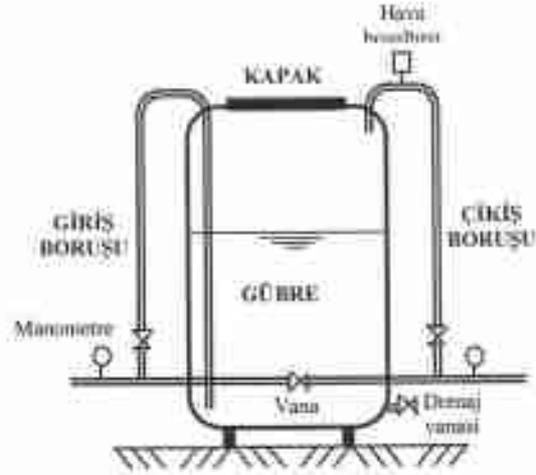
Geri yıkama, otomatik olarak ta yapılabilir. Bu amaçla sistemde, tankın giriş ve çıkışındaki basınç farklığına göre çalışan ya da zaman ayarlı olan algılayıcılar vardır. Otomatik yıkama, damla sulama sistemi çalışırken yapılmaktadır. Bu nedenle, en az iki tanka gereksinim vardır. Sulama sırasında tankın biri yıkılırken, diğeri damla sistemine su vermeye devam eder. Bu da, her tankın giriş borusu önündeki tıkaçlar aracılığıyla gerçekleştirilir (Şekil 4.6).

Sulama suyunda, sediment ya da yüzücü cisim yoksa (örneğin su derin kuyudan alınıyorsa), kum-çakıl filtre tankına gerek duyulmayabilir. Ancak, derin kuyu dışında diğer su kaynaklarından yararlanıldığında (buna içerisinde yosun gelişen keson kuyular da dahildir), sisteme mutlaka kum-çakıl filtre tankı konulmalıdır.

**Gübre tankı :** Damla sulama sistemlerinde, bitki besin elementleri sulama suyuna karıştırılarak uygulanır. Bu amaçla, kontrol birimine, kum-çakıl tankından sonra ve elek filtreden önce olmak üzere gübre tankı yerleştirilir. Gübre tankı, aside dayanıklı paslanmaz metal ya da sert plastikten yapılmış, içi boş bir tanktan ibarettir (Şekil 4.7). Tank hacmi 40-200 L arasında değişebilmektedir. Gübre tankı, ana boruya iki noktadan bağlanır. Gübre ile karışan suyun tekrar sisteme dönebilmesi için, giriş ve çıkış boruları önünde, basınç farklığı yaratmak gerekir. Bu nedenle, araya basınç düşürücü bir vana yerleştirilir. Ayrıca, giriş ve çıkış boruları üzerinde de vanalar bulunur. Gübrenin sisteme verildiğini gözlemek için,



Sekil 4.6. Otomatik katı-çakıl filtre tanklarında geri yıkama



Sekil 4.7. Gübre tankı kesiti

giris ve çıkis borularinin basınca dayanıklı seffaf hortum olması önerilir. Giriş borusu tank tabanına kadar devam eder. Çıkis borusu ise, tankın hemen üst kısmından baslar. Giriş ya da çıkis borusunun en üst noktasına, bir hava basaltma aracı yerleştirilir. Bu arada, ana boru üzerinde, gübre tankına giriş noktasından

Önce bir çek valf bulunmalıdır. Böylece, suya karışan gübrenin su kaynağına doğru yönlendiği önlenir. Ayrıca, yine ana boru üzerinde, giriş noktasının öncesinde ve çıkış noktasının sonrasında birer manometre bulunmalıdır. Basınç düşürme vanası, bu manometrelerde, genellikle deneyimle saptanan miktarda basınç farklığı yaratacak biçimde kısmen kapatılır. Manometrelerde oluşturulacak basınç farklığının, çoğunlukla, 1-2 m olması yeterlidir.

Kullanılan gübre, su ile temas ettiğinde bütünüyle eriyen ve hiç tortu bırakmayan özellikte olmalıdır. Aynı anda su verilecek alanın büyüklüğüne göre hesaplanan gübre miktarı, tankın içerisine konur. Giriş borusunun vanası açılarak, suyun gübre ile karışması sağlanır. Gübre tankı, su ile dolduktan sonra giriş vanası kapatılır ve tankın kapağı kapatılarak sıkıştırılır. Bundan sonra, ana boru üzerinde giriş ve çıkış noktaları arasındaki vana kısmen kapatılır, gübre tankı giriş ve çıkış vanaları açılır. Böylece, ana borudaki suyun bir kısmı gübre tankına girer, sıvı gübre ile karışır ve tekrar ana boruya döner.

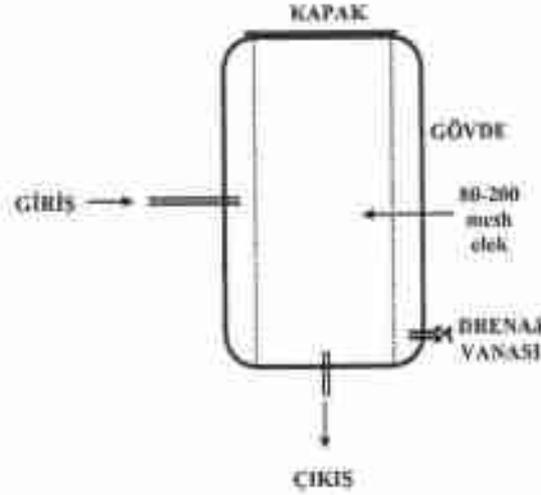
Damlalı sulamada, gübre uygulama süresi, sulama süresinin % 75-80'i kadar olmalıdır. Arta kalan sürede ise, damlatıcı akış yolunda kalabilecek gübrenin dışarıya yıkanması sağlanır. Çünkü sulamadan sonra damlatıcı içinde gübre eriyişi kalırsa kimyasal madde birikimine ve damlatıcının kısmen tıkanmasına neden olabilir. Kısa sürede gübre uygulaması ise, alanın tamamında eş düzeyde gübre dağıtımını olumsuz yönde etkileyebilir.

Gübre tankı aracılığıyla gübrenin sulama suyuna karıştırılması çok yaygın bir uygulamadır. Yaygın olmasa da, bu amaçla enjeksiyon pompaları da kullanılmaktadır.

**Elek filtre :** Hidrosiklon ya da kum-çakıl filtrede tutulamayan, çok küçük parçacıklar ile gübre tankından gelebilecek gübre tortusunu tutmak amacıyla, kontrol birimine, gübre karıştırılan noktadan sonra olmak üzere, mutlaka elek filtre yerleştirilir. Elek filtre genellikle, silindirik biçimindedir. Bunun yanında, daire biçimindeki çok sayıda plastik levhanın bitişik yerleştirilmesiyle oluşturulan filtreler (lamel, disk filtre) de vardır. Elek filtre, paslanmaz metalden yapılmış tank ya da sert plastik koruyucu içerisinde bulunur. Tank ya da koruyucu, yatay ve düşey konumda yerleştirilebilmektedir. Düşey konumda yerleştirilen elek filtre kesiti, örnek olmak üzere, Şekil 4.8'de verilmiştir.

Elek filtrede toplam delik alanı, filtre alanının % 25-40'ı kadardır (çoğunlukla % 35). Delik çapı, damlatıcı içindeki akış yolu en dar çapının en çok % 25'i kadar olmalıdır. Damlalı sulamada, genellikle, 80 - 200 mesh arasında değişen elek filtreler kullanılır. Çok yaygın kullanılanları ise, 120 mesh ya da 160 mesh'tir. Burada mesh, 1" elek uzunluğundaki delik sayısıdır.

Ana boruda elek filtreden önce ve sonra manometre olmalıdır. Bu manometreler arasındaki basınç farklığının artması, elek filtrenin tıkanması ve



Şekil 4.8: Elek filtre kesiti

temizlenmesi gerektiği anlamına gelir. Genellikle, bu manometrelerdeki basınç farklılığı 2 m kadar olduğunda, elek filtre yıkanarak temizlenir. Elek filtrenin temizlenmesi çok önemlidir. Bu işlemin sık aralıklarla, en azından, her sulamadan sonra yapılması gerekir. Elek filtrenin, sulama sırasında bile temizlenmesi söz konusu olabilir. Sulama sonrasındaki temizlemede, elek filtre sökülür, temiz su ile yıkanır ve tekrar yerine takılır. Bu amaçla, kum-çakıl filtreden sonra ana boru üzerine bir su alma musluğunun konmasında yarar vardır. Sulama sırasında temizleme için ise, filtre tankı üzerindeki drenaj vanası açılır ve kirli su dışarıya verilir.

Uygulamada yarı otomatik ve otomatik filtreler de kullanılmaktadır. Yarı otomatik filtreler çoğunlukla, ana boruya yatay doğrultuda yerleştirilir ve sulama sırasında filtre gövdesi elle geriye doğru çekilerek kirli su dışarıya atılır. Otomatik filtrelerde ise, manometreler arasındaki basınç farklılığı ayarlanan değeri geçtiğinde, tank üzerindeki drenaj vanası otomatik olarak açılır ve filtre yıkanır.

Damla sulama sisteminde, bir işletme biriminin hizmet ettiği alan büyükse (genellikle 10 da'm üzerinde), kontrol birimine yerleştirilecek elek filtreler dışında, her manifold boru hattı başlangıcına küçük kapasiteli bir elek filtrenin konması, son derece yararlı olur. Hatta, bu koşulda, gübre tanklarının kontrol birimi yerine, manifold boru hatlarının girişine ve elek filtre öncesine yerleştirilmesi, daha etkin bir gübreleme yapılmasını sağlar.

**Basınç regülatörü :** Kontrol biriminde, elek filtreden sonra, sulama suyunun sisteme sabit basınç altında verilmesini sağlamak için ana boru başlangıcına bir basınç regülatörü yerleştirilir. Bu durum ancak, toplu damla sulama sistemleri içerisinde yer alan bireysel sistemlerde, üzerinde basınç regülatörü bulunana hidrant ve almaçların kullanılmadığı koşullarda söz konusu olur. Pompa birimi kullanılan bireysel damla sulama sistemlerinin kontrol birimine basınç regülatörü koymaya gerek yoktur. Damla sulama sistemlerinde, bazı koşullarda manifold boru hatlarının giriş basınçları arasında yüksek düzeyde farklılık olabilir. Bu durum, eğimin yüksek olduğu alanlarda ya da ana boru hattı boyunca yük kayıplarının fazla olduğu nispeten büyük sistemlerde gözlenir. Eğer sistemde, kritik manifold girişleri arasında basınç farklılığı, işletme basıncının % 20'sini aşıyorsa, her manifold boru hattı girişine basınç regülatörü koymak gerekir.

Basınç regülatörleri, yüksek basıncı istenen değere düşürürler. Uygulamada, değişik tip ve özellikte basınç regülatörü üretilmektedir.

#### **4.5.6. Pompa Birimi**

Su kaynağının yeteri kadar yüksekte olmadığı koşullarda, sistem basıncı bir pompa birimi ile sağlanır. Yararlanılan su kaynağının özelliklerine bağlı olarak, santrifüj, derin kuyu ya da dalgıç tipi pompalardan biri kullanılabilir. Pompalar elektrik ya da diesel motoru ile çalıştırılabilir. Enerji masraflarının düşük ve bakımlarının daha kolay olması nedeniyle, elektrik enerjisinin bulunduğu koşullarda, elektrik motorlu pompaların kullanılması önerilmektedir.

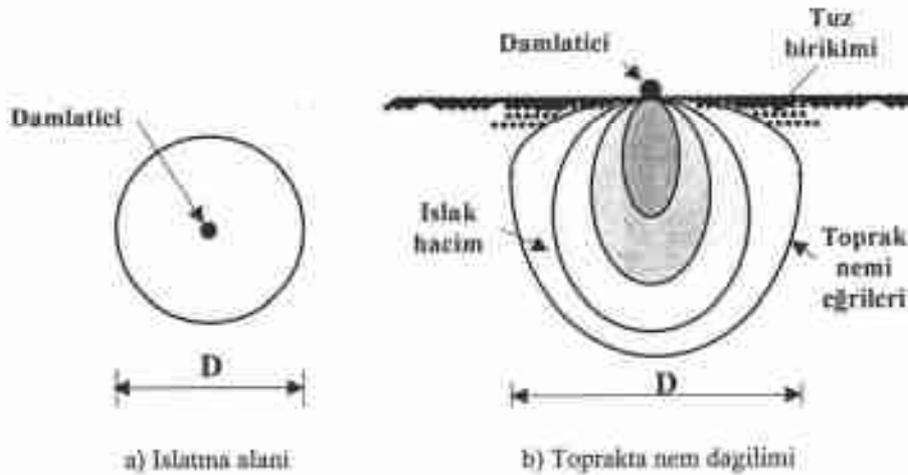
#### **4.5.7. Su Kaynağı**

Damla sulama yönteminde, akarsu, keson ya da derin kuyu gibi her türlü su kaynağından yararlanılabilir. Sulama suyu bazen gölet, bent, havuz gibi su depolama yapılarından, alan içerisindeki sulama kanalları ya da basınçlı boru hatlarından (örneğin basınçlı su dağıtım ağı üzerinde bulunan ve o işletme için ayrılmış olan hidrant üzerindeki almaçtan) alınabilir. Ancak, suyun fazla miktarda sediment, yüzücü cisim gibi organik ve inorganik madde içermemesi gerekir. Sediment sorununa, akarsularda ve özellikle de ilkbahar aylarında rastlanabilir. Bu durumda, sediment havuzlarda çöktürüldükten ya da yüzücü cisimler geniş eleklerde tutulduktan sonra sisteme alınması, başka bir anlatımla, ön süzme işleminin yapılması gerekebilir. Ayrıca, aşırı miktarda kalsiyum, magnezyum ve demir bileşikleri içeren sular da damla sulama yöntemi için uygun olmayabilir. Çünkü, elek filtrede tutulamayan bu bileşikler damlatıcıların içerisinde gereğinden fazla kimyasal madde birikimine ve sonuçta damlatıcıların kısa sürede tıkanmalarına neden olurlar.

## 4.6. DAMLA SULAMADA ISLATMA DESENLERİ VE LATERAL TERTİP BİÇİMLERİ

### 4.6.1. Tekil Damlatıcı Altında Toprakta Nem Dağılımı

Tek bir damlatıcıdan toprak yüzeyine verilen su, infiltrasyonla toprak içerisine girer, yerçekimi ve kapilar kuvvetlerin etkisi ile düşey ve yatay doğrultuda hareket ederek, belirli bir toprak hacmini ıslatır. Düşey ve yatay doğrultudaki hareket, sulama sırasında olduğu gibi, sulamadan sonra da bir süre devam eder ve ıslatılan hacim son biçimini alır. Islatılan bu hacim, özellikle kapilaritenin etkin olduğu orta ve ağır bünyeli topraklarda, çoğunlukla, bir soğan yumrusu biçimindedir (Şekil 4.9). Bu tip topraklarda, ıslak hacmin yatay kesiti dikkate alınırsa, ıslatma çapı toprak yüzeyinde düşük, genellikle yüzeyin 20 - 30 cm kadar altında en yüksek ve daha derinde gittikçe azalan değerdedir. Islatılan toprak hacmi içerisindeki nem ise, hemen damlatıcı altında en yüksek değerdedir, ıslak çeperde doğru gittikçe azalır ve ıslak çeperde sulama öncesindeki toprak nemine eşdeğerdedir. Bunun yanında, ıslak hacim içerisinde, nem hareketi ıslak çeperde doğru olduğundan, su ile birlikte toprakta bulunan tuzların önemli bir bölümü, ıslak çeperde tasınır ve ıslak çeperde tuz birikimi meydana gelir. Tuz birikimi özellikle, toprak yüzeyine yakın kesimde yoğunlaşır. ıslak hacim içerisinde ise tuzdan arınmış bir bölge oluşur.



Şekil 4.9. Bir damlatıcının ıslattığı alan ve toprak içerisindeki nem dağılımı

Tekil damlatıcının oluşturduğu ıslak toprak hacminin yatay düzlemdaki ıslatma çapının en yüksek değeri damlatıcı ıslatma çapıdır. ıslatma çapı (D), toprak özelliklerine, damlatıcı debisine, sulama süresine, sulama öncesi ile sonrasındaki toprak nemi farklılığına ve bitkinin kökleri ile aldığı su miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu değer, hafif bünyeli topraklara oranla, ağır bünyeli topraklarda daha yüksek olmakta, ayrıca, damlatıcı debisi ve sulama süresi arttıkça artış göstermekte, ancak, sulama öncesi ile sonrasındaki toprak nemi farklılığı ve bitkinin aldığı su miktarı arttıkça azalmaktadır.

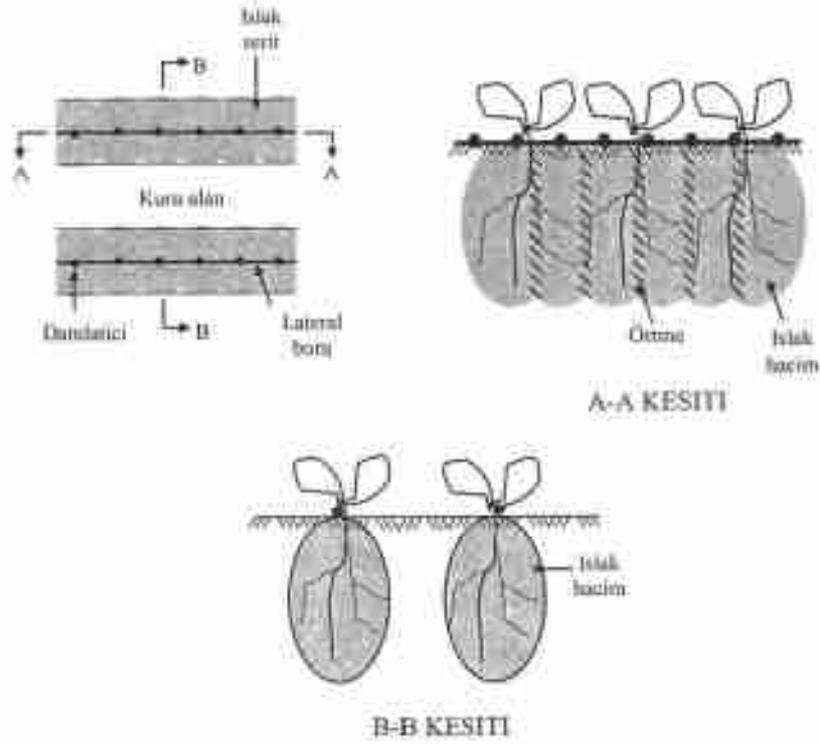
ıslatma çapı, damlatıcı aralığı ile lateral tertip biçimini ve dolayısı ile ıslatılan alan yüzdesini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, projelirmede, ıslatma çapının, olanaklar ölçüsünde, gerçeğe yakın saptanması son derece önemlidir.

ıslatma çapının hesaplanması amacıyla, bazı matematiksel modeller geliştirilmiştir. Ancak, aynı koşullar için değişik matematiksel modellerle elde edilen ıslatma çapı değerleri arasında, önemli düzeyde farklılıklar olabilmektedir. Buna neden olarak, matematiksel modellerin bazılarının laboratuvar koşullarında elde edilmesi ve arazi koşullarını nadiren yansıtmaması, arazi koşullarında elde edilen modellerde genellikle bitki faktörünün ihmal edilmesi (oysa sulama sırasında bir miktar su bitki tarafından alınmaktadır), ıslatma çapına, toprak bünyesi, yapısı, topraktaki tabukalaşma, tuzluluk durumu, tuzların tipi vb. birçok toprak özelliğinin etki etmesi sayılabilir. Hatta, birçok kaynaktan, bir damlatıcının topraktaki oluşturacağı soğan yumrusu biçimindeki ıslak hacmin, kimi zaman elde edilemediği belirtilmektedir. Dolayısı ile, ıslatma çapını belirlemenin en doğru yolu, proje uygulanacak alanda, bitki sıraları boyunca birkaç lateral boru hattı yerleştirilerek, değişik damlatıcı debisi, damlatıcı aralığı, sulama aralığı ve sulama süresi için testler yapmak ve lateral boru hattı boyunca elde edilecek ıslak şeridin, toprağın 20 - 30 cm kadar altındaki genişliğini ölçmektir. Ancak, uygulamada, bu testleri her zaman yapmak güç olabilir, hatta pratik olmayabilir. Bu durumda, ıslatma çapı, matematiksel modellerden yararlanarak tahmin edilebilir.

#### 4.6.2. Damlatıcı Aralığı

Damla sulamada temel prensip, bitki sıralarına döşenen lateral boru hattı boyunca, toprak içerisinde kabul edilebilir düzeyde eş su dağılımı sağlayan ıslak bir şerit elde etmektir (Şekil 4.10). Bunu sağlamak için, her bir damlatıcıya ilişkin ıslak hacmin birbirini belirli oranda örtmesi gerekir. Uygulamada, bu örtmenin, damlatıcı ıslatma çapının 1/5-1/3'ü kadar olması istenir ve sistem debisi ile maliyetini arttırmamak için 1/5 değeri çoğunlukla tercih edilir. Buna bağlı olarak, lateral boru hattı üzerindeki damlatıcı aralığı, ıslatma çapının % 80'i kadar alınabilir. Eğer, ıslatma çapı arazi testleri ile belirlenmemişse, damlatıcı aralığı;

$$S_d = 0.9 \sqrt{\frac{q}{I}} \quad (4.2)$$



Sekil 4.10. Lateral boru hattı boyunca ıslak serit ve ıslak hacim

esitliği ile saptanabilir. Bu esitlikte;

$S_d$  = Damlatıcı aralığı, m,

$q$  = Damlatıcı debisi, L/h ve

$I$  = Toprağın su alma hızı, mm/h'tir.

Yukarıda yer alan (4.2) nolu esitliğin incelenmesinden görüleceği gibi, damlatıcı aralığının, toprağın su alma hızı (toprak özellikleri, su alma hızı ile karakterize edilmektedir) ile damlatıcı debisinin bir işlevi olduğu yaklaşımları yapılmaktadır. Damlatıcı aralığı, bitki özelliklerine bağlı değildir. Başka bir deyişle lateral boru hattı boyunca ıslak bir serit elde edileceği için, damlatıcıların mutlaka bitki köklerinin yanına yerleştirilmesi koşulu yoktur.

Örneğin, damlatıcı debisi  $q = 4$  L/h ve toprağın su alma hızı  $I = 5$  mm/h olduğunda damlatıcı aralığı;

$$S_j = 0.9 \sqrt{\frac{q}{I}} = 0.9 \times \sqrt{\frac{4}{5}} = 0.80 \text{ m}$$

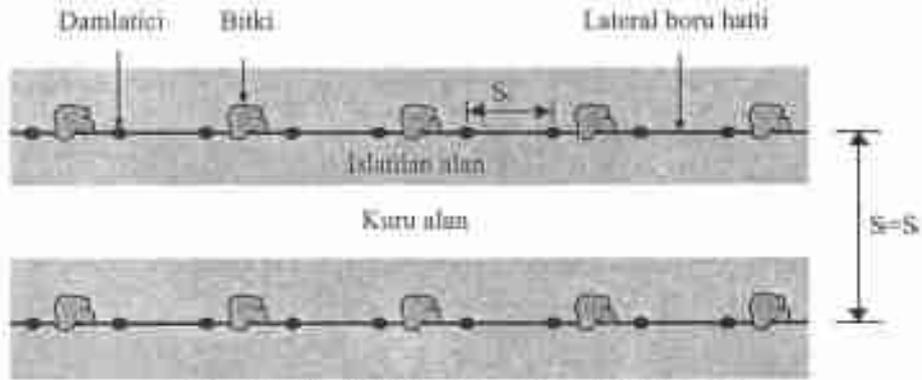
bulunur. Eğer, lateral üzerine geçik (on-line) damlatıcılar kullanılacaksa, damlatıcılar lateral boru üzerine 0.80 m aralıkla yerleştirilir. Laterale boyuna geçik (in-line) damlatıcıların kullanılması durumunda, bu damlatıcılar standart aralıklarda yerleştirildiğinden, 0.80 m değerine en yakın damlatıcı aralığı seçilir.

#### 4.6.3. Lateral Tertip Biçimleri ve Islatılan Alan Oranı

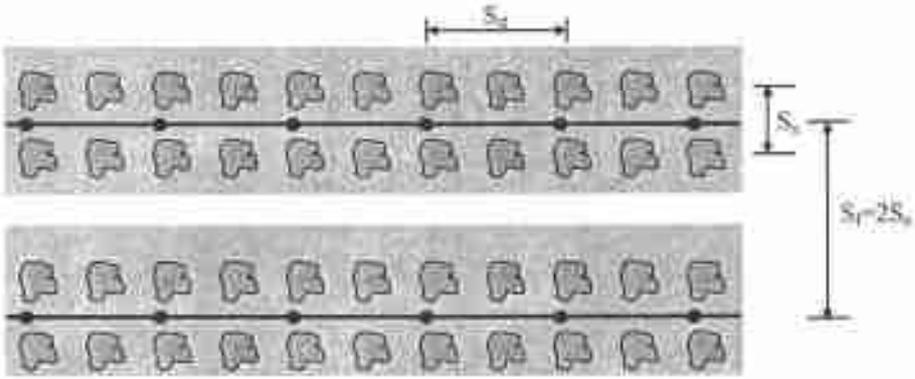
**Tarla bitkileri ve sebzelerde lateral tertip biçimi :** Tarla bitkileri ve sebzeler için lateral tertip biçimleri, Şekil 4.11'de verilmiştir. Eğer, damlatıcı aralığı bitki sıra aralığından küçükse ( $S_j < S_i$ ), her bitki sırasına bir lateral boru hattı döşenir (Şekil 4.11 a). Bu durumda, lateral aralığı bitki sıra aralığına eşit olur ( $S_j = S_i$ ). Damlatıcı aralığının, bitki sıra aralığına eşit ya da büyük ve sıra aralığının iki katından küçük ya da eşit olduğu koşula ( $S_i < S_j < 2S_i$ ), her iki bitki sırası arasında bir lateral boru hattı döşenir (Şekil 4.11 b) ve lateral aralığı bitki sıra aralığının iki katına eşit olur ( $S_j = 2S_i$ ). Sık ekilen ya da dikilen bitkilerde ( $S_j > 2S_i$ ), lateraller damlatıcı aralığına eşit olacak biçimde döşenir ( $S_j = S_i$ ) (Şekil 4.11 c).

**Meyve ağaçlarında lateral tertip biçimleri :** Damla sulama yönteminin uygulandığı meyve ağaçları için lateral tertip biçimleri, Şekil 4.12'de verilmiştir.

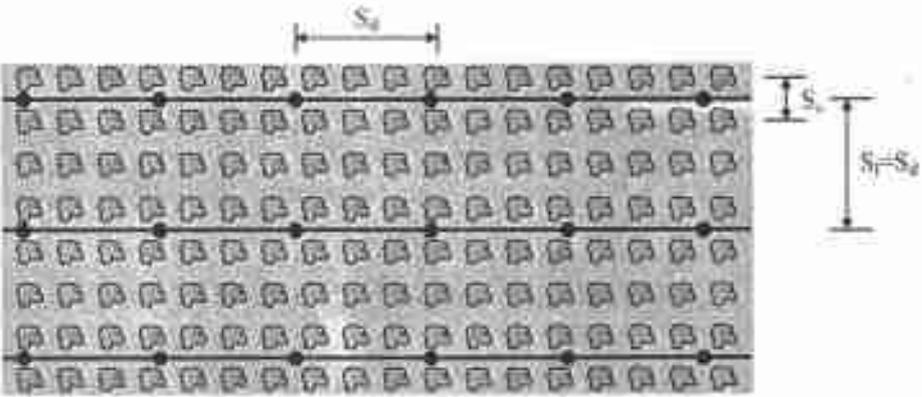
Bağ ya da sık dikim aralıklarına sahip meyve ağaçları söz konusu olduğunda, her ağaç sırasına bir lateral boru hattı döşenir (Şekil 4.12 a). Lateral boru üzerine damlatıcılar, arazi testleri ile ya da (4.2) nolu eşitlikle saptanan aralıkta yerleştirilir. Böylelikle, ağaç sıra üzeri tamamen ıslatılır ve kuru alan bırakılmaz. Kuru alan, ağaç sıra aralarında kalır. Lateral aralığı, ağaç sıra aralığına eşit olur ( $S_j = S_i$ ). Dikim aralıkları geniş olan meyve ağaçlarında, genellikle, her ağaç sırasına iki lateral boru hattı döşenir (Şekil 4.12 b). Her ağaç sırasında lateraller, ağaçların iki tarafına yerleştirilir. Böylece, ağaç sırası boyunca nemin eş dağıldığı, daha geniş bir ıslak şerit elde edilir. İkili lateral tertibiyle yeterli ıslatma oranı elde edilemeyen, dikim aralıkları çok geniş meyve ağaçlarında, her ağaç sırasına bir lateral boru hattı döşenerek, her ağaca bir adet çok çıkışlı damlatıcı yerleştirilebilir (Şekil 4.12 c). Damlatıcıda çıkış sayısı 4, 6 ve 8 adet olabilir. Her bir çıkışa çok küçük çaplı kılcal borular yerleştirilerek, su çıkış noktaları, ağaç gövdesi etrafında eşit aralıklarla dağıtılır. Böylece, her ağacın altında daire biçiminde ıslak bir alan oluşturulur. Ağaç sıraları arasında olduğu gibi, sıra üzerindeki ağaçlar arasında da ıslatılmayan kuru alan kalabilir. Dikim aralıkları çok geniş olan 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



a) Damlatici araligi bitki sıra araligidan küçük ( $S_e < S_p$ )

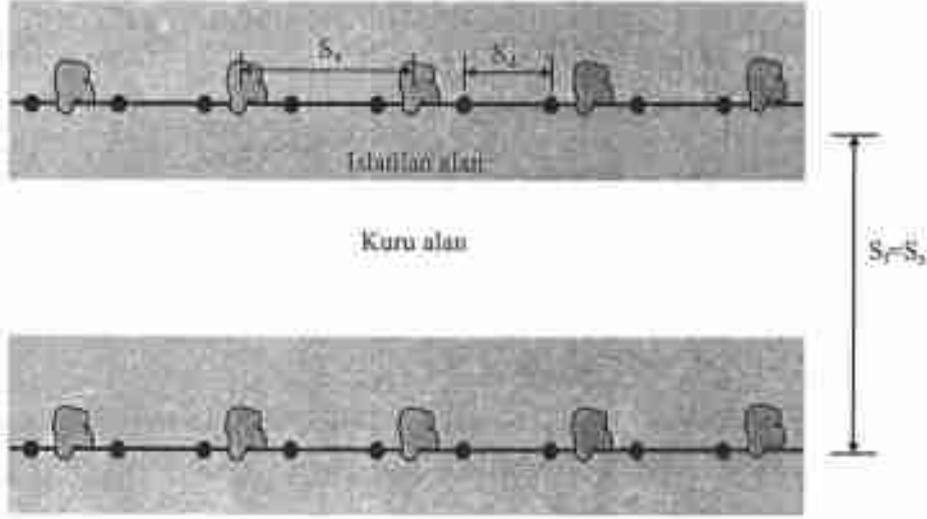


b) Damlatici araligi bitki sıra araligidan büyük ( $S_e > S_p > 2S_e$ )

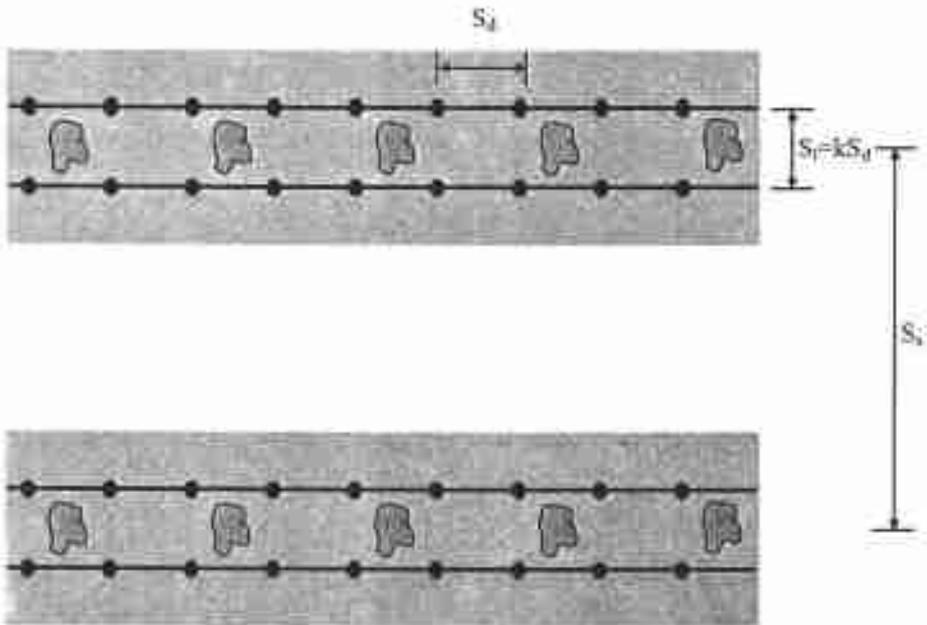


c) Sık ekilen ya da dikilen bitkiler ( $S_e > 2S_p$ )

Şekil 4.11. Tarla bitkileri ve sebzeelerde lateral tertip biçimleri

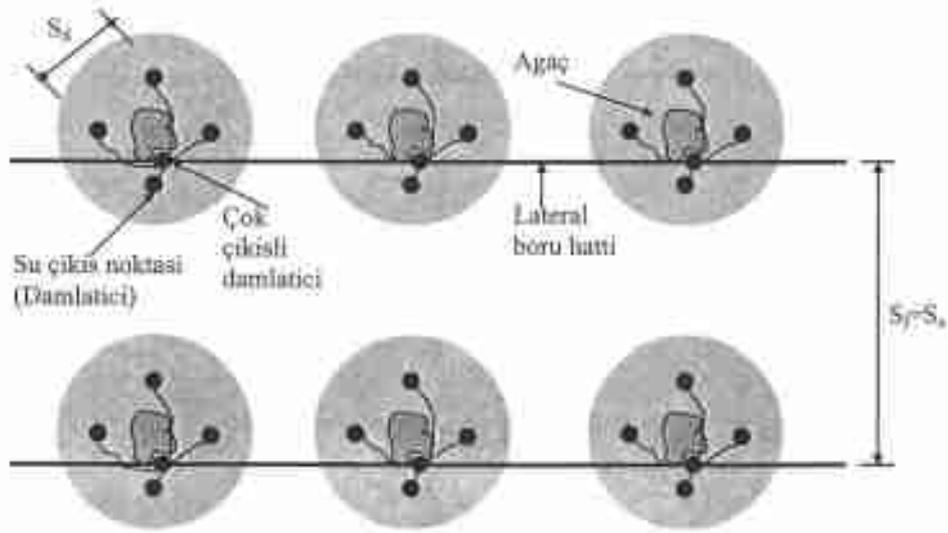


a) Her ağaç sırasına tekil lateral tertip biçimi

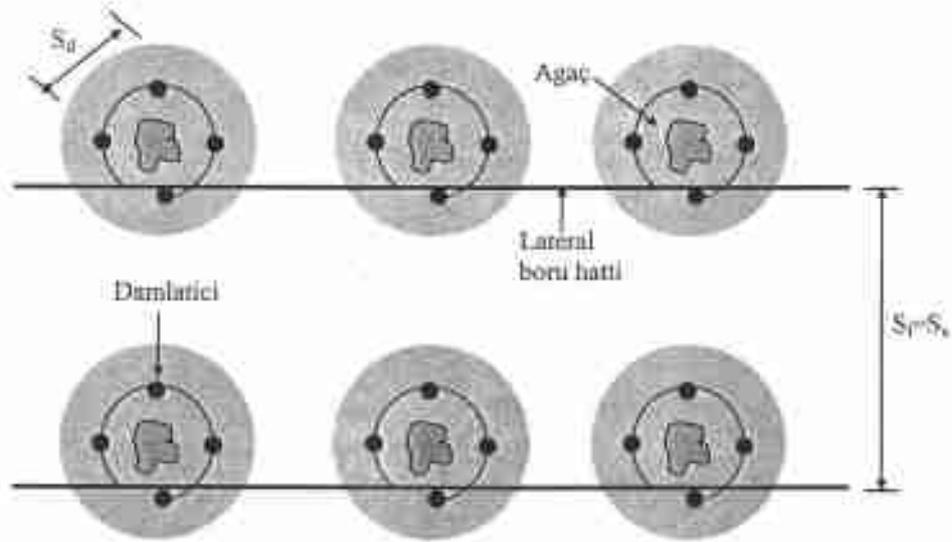


b) Her ağaç sırasına ikili lateral tertip biçimi

Sekil 4.12. Meyve ağaçlarında lateral tertip biçimleri



c) Çok çıkışlı damlatıcıli lateral tertip biçimi



d) Salkım tertip biçimi

Şekil 4.12. Meyve ağaçlarında lateral tertip biçimleri (devamı)

boru hattı üzerinde bulunur. Buna salkım tertip biçimi denir (Şekil 4.12 d). Böylece, her ağacın altında daire biçiminde bir alan ıslatılır. Sıra üzerindeki ağaçlar arasında ve sıralar arasında kuru alan kalabilir.

Damla sulama yönteminde, yeterli kılcal kök gelişimini sağlamak için, ıslatılan alan oranının, kurak bölgelerde (yıllık toplam yağış 360 mm'nin altında) en az % 35, yarı kurak bölgelerde (yıllık toplam yağış 360-720 mm) en az % 30 ve nemli bölgelerde ise (yıllık toplam yağış 720 mm'nin üzerinde), en az % 25 olması istenir. Aksi durumda, ıslatılan toprak hacminde gelişecek kılcal köklerle alınan su ve besin elementleri miktarı bitki gereksinimini karşılamayabilir. Sonuçta, bitki gelişmesi olumsuz yönde etkilenir ve istenen verimde ve kalitede ürün alınmaz. Ayrıca, iyi bir kök sistemi oluşmayacağından, meyve ağaçlarının toprağa tutunmasında sorunlarla karşılaşılabilir. Bunu yanında, bağ ve meyve ağaçları için, % 50'nin üzerindeki ıslatma oranı tercih edilmez.

Tarla bitkileri ve sebzelerde, Şekil 4.11'de verilen lateral tertip biçimlerinin uygulanması koşulu ile, ıslatılan alan oranı genellikle yeterli olur. Bağda, tek alternatif, Şekil 4.12 a'da verilen tekil lateral tertip biçimidir ve çoğunlukla, yeterli ıslatma oranı elde edilir. Meyve ağaçlarında, sistem maliyeti açısından öncelikle tekil lateral tertip biçimi tercih edilir. Tekil lateral ile yeterli ıslatma oranının elde edilemediği koşullarda, her ağaç sırasına iki lateral boru hattı döşenir. Ağaç sıra araları, ikili lateral tertibiyle de yeterli ıslatma oranı elde edilemeyecek kadar geniş ise, çok çıkışlı damlatıcı ya da salkım tertip biçimlerinden biri uygulanabilir. Ancak, çok çıkışlı damlatıcı ve salkım lateral tertip biçimleri, özellikle yabancı ot kontrolü için toprağın işlendiği koşullarda, pek pratik olmadığından seyrek uygulanmaktadır. Bu durumda, çoğunlukla, ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemi tercih edilmektedir.

**Islatılan alan oranı :** Islatılan alan, arazide yapılan testler sonucunda belirlenmişse, tarla bitkileri ve sebzelerde ıslatılan alan oranı, ıslak şerit genişliğinin lateral aralığına, bağ ve meyve ağaçlarında ise ağaç başına düşen ıslak alanın ağaç dikim aralıklarına bölünmesiyle elde edilir. Arazi testleri yapılmamışsa ve damlatıcı aralığı (4.2) nolu eşitlikle saptanmışsa, tarla bitkileri ve sebzeler ile meyve ağaçlarında tekil lateral tertip biçimi için ıslatılan alan oranı,

$$P = k \frac{S_d}{S_l} \quad (4.3)$$

ikili lateral tertip biçimi için ıslatılan alan oranı,

$$P = k \frac{2S_d}{S_l} \quad (4.4)$$

ve çok çıkışlı damlatıcı ile salkım tertip biçimleri için ıslatılan alan oranı,

$$P = k \frac{nS_d^2}{S_r S_s} \quad (4.5)$$

eşitlikleri ile hesaplanabilir. Bu eşitliklerde;

- $P$  = İslatılan alan oranı,
- $k$  = Katsayı,
- $S_d$  = Damlatıcı aralığı, m,
- $S_r$  = Lateral aralığı, m,
- $n$  = Ağaç başına damlatıcı ya da çıkış sayısı,
- $S_s$  = Sıra aralığı, m ve
- $S_s$  = Sıra üzerinde ağaç aralığı, m'dir.

Bu eşitliklerdeki  $k$  katsayısı; tarla bitkileri ve sebzelerde  $k = 1$ , bağ ve meyve ağaçlarında ise hafif bünyeli topraklar için  $k = 1$ , orta bünyeli topraklar için  $k = 1.2$ , ağır bünyeli topraklar için  $k = 1.3$  alınabilir (Çizelge 4.1).

*Lateral tertip biçimi ve ıslatılan alan oranına ilişkin örnekler :*

**Örnek no : 1**

Damla yöntemiyle sulanan ve sıra aralığı  $S_r = 1.50$  m olan kavun ile  $S_s = 0.60$  m olan biber için, toprağın su alma hızının  $l = 6$  mm/h ve damlatıcı debisinin  $q = 3$  L/h olduğu koşullarda, lateral tertip biçimi ve ıslatılan alan oranlarının bulunması istenmektedir.

**Çözüm :**

1) Damlatıcı aralığı,

$$S_d = 0.9 \sqrt{\frac{q}{l}} = 0.9 \times \sqrt{\frac{3}{6}} = 0.64 \text{ m}$$

Çizelge 4.1. İslatılan alan oranının hesaplanmasında  $k$  katsayıları

Bitki cinsi ve toprak koşulu	$k$ katsayısı
Tarla bitkileri ve sebzeler	1.0
Meyve ağaçları ve bağ	
Hafif bünyeli topraklar	1.0
Orta bünyeli topraklar	1.2
Ağır bünyeli topraklar	1.3

2) Kavun için lateral tertip biçimi ve ıslatılan alan oranı;

Damlatıcı aralığı  $S_d = 0.64$  m, bitki sıra aralığı  $S_r = 1.50$  m den küçük olduğu için her bitki sırasına bir lateral boru hattı döşenir (Şekil 4.11 a) ve lateral aralığı bitki sıra aralığına eşit olur ( $S_l = S_r = 1.50$  m). Bu durumda ıslatılan alan oranı;

$$P = k \frac{S_d}{S_l} = 1.0 \times \frac{0.64}{1.50} = 0.43$$

bulunur.

3) Biber için lateral tertip biçimi ve ıslatılan alan oranı;

Damlatıcı aralığı  $S_d = 0.64$  m, bitki sıra aralığı  $S_r = 0.60$  m'den büyük olduğu için her iki bitki sırasına bir lateral boru hattı döşenir (Şekil 4.11 b) ve lateral aralığı bitki sıra aralığının iki katı olur ( $S_l = 2S_r = 1.20$  m). Bu durumda ıslatılan alan oranı;

$$P = k \frac{S_d}{S_l} = 1.0 \times \frac{0.64}{1.20} = 0.53$$

biçiminde elde edilir. Bu örnekte, sebze söz konusu olduğundan, ıslatılan alan oranı eşitliğindeki  $k$  katsayısı 1.0 alınmıştır (Çizelge 4.1).

#### Örnek no : 2

Damlıla yöntemiyle sulanan bağda, omca dikim aralıkları,  $S_r \times S_n = 2.5 \times 1.5$  m (sıra aralığı  $S_r = 2.50$  m), toprağın bünye sınıfı L (tın, orta bünye) ve su alma hızı  $I = 5.6$  mm/h'nr. Proje alanı, yarı kurak iklim kuşağı içerisinde. Damlatıcı debisinin  $q = 3$  L/h olduğu koşul için lateral tertip biçimi ve ıslatılan alan oranının bulunması istenmektedir.

#### Çözüm :

1) Damlatıcı aralığı;

$$S_d = 0.9 \sqrt{\frac{q}{I}} = 0.9 \times \sqrt{\frac{3}{5.6}} = 0.66 \text{ m}$$

2) Lateral tertip biçimi ve ıslatılan alan oranı;

Bağda tek seçenek, her omca sırasına bir lateral boru hattı döşemektir (Şekil 4.a). Bu durumda, lateral aralığı omca sıra aralığına eşit olur ( $S_l = S_r = 2.50$  m). ıslatılan alan oranı;

$$P = k \frac{S_d}{S_l} = 1.2 \times \frac{0.66}{2.50} = 0.32$$

bulunur. Bu değer, yarı kurak iklim koşulları için öngörülen en az 0.30 koşulunu sağladığı için uygundur.

Bu örnekte, bağ ve orta bünyeli topraklar söz konusu olduğundan, ıslatılan alan oranı eşitliğindeki  $k$  katsayısı 1.2 alınmıştır (Çizelge 4.1).

**Örnek no 3 :**

Damlalı yöntemiyle sulanan ve dikim aralıkları  $S_x \times S_y = 6 \times 5$  m olan elma ağaçları için, yarı kurak iklim kuşağı, su alma hızı  $I = 4.5$  mm/h olan ağır bünyeli topraklar ve damlatıcı debisi  $q = 4$  L/h koşullarında, lateral tertip biçimi ve ıslatılan alan oranının bulunması istenmektedir.

**Çözüm :**

1) Damlatıcı aralığı,

$$S_d = 0.9 \sqrt{\frac{q}{I}} = 0.9 \times \sqrt{\frac{4}{4.5}} = 0.85 \text{ m}$$

2) Her ağaç sırasına bir lateral boru hattı döşendiğinde ( $S_x = S_y = 6$  m) ıslatılan alan oranı,

$$P = k \frac{S_d}{S_l} = 1.3 \times \frac{0.85}{6} = 0.18$$

bulunur. Yarı kurak bölgeler için ıslatma oranının en az 0.30 olması gerektiğinden uygun değildir. Başka bir deyişle, her ağaç sırasına bir lateral boru hattı döşemekle yeterli ıslatma oranı elde edilememektedir.

3) Her ağaç sırasına iki lateral boru hattı döşendiğinde ıslatılan alan oranı,

$$P = k \frac{2S_d}{S_l} = 1.3 \times \frac{2 \times 0.85}{6} = 0.37$$

bulunur ve bu değer 0.30'dan büyük olduğu için uygundur. Sonuçta, her ağaç sırasına iki lateral boru hattı döşenecektir. Örnekte, meyve ağaçları ve ağır bünyeli topraklar söz konusu olduğundan  $k = 1.3$  alınmıştır (Çizelge 4.1).

## 4.7. DAMLA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI

Damla sulama sistemlerinin tasarımında esas, sulanacak alan ve yetiştirilecek bitki koşullarına en uygun ve ekonomik olan sistemin kurulmasıdır. Bu amaçla, önce, tarımsal ve teknik yönden bir kaynak araştırması yapılarak gerekli veriler derlenir, sonra, sistem tertibi yapılarak sistem unsurları boyutlandırılır, tesis ve işletme esasları belirtilir.

Sistem unsurlarının boyutlandırılması, damlatıcıdan pompa birimine doğru yapılır. Başka bir deyişle, sırasıyla, uygun damlatıcı saptanır, lateral, manifold ve ana boru hatlarının çapları bulunur, kontrol birimi unsurları ve pompa birimi seçilir.

### 4.7.1. Ön Projelene Faktörleri

Tasarım aşamasında, sistem tertibi ve sistem unsurlarının boyutlandırılmasında kullanılmak üzere, öncelikle bazı ön projelene değerleri hesaplanır. Bunlar aşağıda verilmiştir.

#### 1) Her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı

Damla sulama yönteminde, her sulamada uygulanacak maksimum net sulama suyu miktarı, kullanılabilir su tutma kapasitesinin yüzde cinsinden ifade edilmesi koşulunda;

$$d_{\text{net}} = \frac{(TK - SN)R_p}{100} \gamma_s DP \quad (4.6)$$

ve kullanılabilir su tutma kapasitesinin derinlik cinsinden ifade edilmesi koşulunda;

$$d_{\text{net}} = d_s DR_s P \quad (4.7)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Bu eşitliklerde;

$d_{\text{net}}$  = Her sulamada uygulanacak maksimum net sulama suyu miktarı, mm,

$TK$  = Tarla kapasitesi, %

$SN$  = Solma noktası, %

$R_p$  = Kullanılabilir su tutma kapasitesinin tüketilmesine izin verilen kısmı,

$\gamma_s$  = Toprağın hacim ağırlığı,  $g/cm^3$ ,

$D$  = Islatılacak toprak derinliği, mm ya da m,

$P$  = Islatılan alan oranı ve

$d_s$  = Kullanılabilir su tutma kapasitesi, mm/m

değerlerini göstermektedir.

Damla sulama yönteminde genellikle, kullanılabilir su tutma kapasitesinin % 30'u tüketildiğinde sulamaya başlanır ( $R_p = 0.30$ ). Topraktaki nem eksikliğine belirli düzeyde dayanıklı bitkiler için bu değer % 40'a kadar çıkarılabilir.

Ayrıca, (4.6) ya da (4.7) nolu eşitliklerle hesaplanan değer, uygulanabilecek maksimum net sulama suyu miktarını verir. Bu değer, planlayıcı ya da uygulayıcı tarafından azaltılabilir. Başka bir deyişle,  $d_n \leq d_{n,max}$  olacak biçimde, uygulanacak net sulama suyu miktarı seçilebilir.

Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı ise, net sulama suyu miktarının su uygulama randımanına bölünmesiyle elde edilir.

$$d_t = \frac{d_n}{E_a} \quad (4.8)$$

Eşitlikte;

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

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

$E_a$  = Su uygulama randımanıdır.

Damla sulama sistemlerinde, bir işletme birimindeki lateral ve manifold boru hatlarında oluşan yük kayıpları ve eğimden kaynaklanan yükseklik farkları nedeniyle, her damlatıcının basıncı ve dolayısı ile debisi birbirinden farklı olmaktadır. İşletme birimindeki tüm damlatıcı debileri arasındaki bu farklılık düzeyi, eş dağılım katsayısı ( $C_u$ ,  $EU$ ,  $EU_s$ ) ile ifade edilmektedir. Ayrıca, damlatıcı debilerinin farklı olmasına varyasyon katsayısı ( $CV$ ) ile ifade edilen yapımcı farklılığı da etkili olmaktadır. Gerek eş dağılım katsayısı, gerekse varyasyon katsayısı su uygulama randımanını doğrudan etkilemektedir. Bu katsayıların kabul edilebilir sınırlarda olduğu uygun damlatıcı seçilir, lateral ve manifold boru çapı saptanırsa, damla sulama sistemlerinde tasarım aşamasında su uygulama randımanının % 85 alınması sahik verilir. Kendinden basınç düzenleyicili damlatıcıların kullanıldığı sistemlerde, su uygulama randımanı % 95 alınabilir.

## 2) Sulama aralığı

Damla sulama yönteminde, tasarımda göz önüne alınacak maksimum sulama aralığı;

$$SA_{max} = \frac{d_{n,max}}{I} \quad (4.9)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

$SA_{max}$  = Maksimum sulama aralığı, gün,

$d_{n,max}$  = Her sulamada uygulanacak maksimum net sulama suyu miktarı, mm ve

$T$  = Damla sulama yöntemi için bitki su tüketimi, mm/gün değerlerini göstermektedir.

Damla sulama yönteminde, bitki sıraları arasında ıslatılmayan kuru alan kaldığından ve ıslatılan alan genellikle bitki örtüsü tarafından gölgelendiğinden, toprak yüzeyinden olan buharlaşma, tüm alanın ıslatıldığı sulama yöntemlerine oranla daha azdır. Dolayısıyla, bitki su tüketimi daha düşük düzeyde olur. Başka bir deyişle, iklim verilerinden tahmin yöntemleri ile hesaplanan bitki su tüketimi değerlerinin (bu yöntemler tüm alanın ıslatıldığı koşullar için geliştirilmiştir), damla sulama için belirli oranda azaltılması gerekir. Damla sulama yöntemi altında bitki su tüketiminin tahmini için, bazı yaklaşımlar yapılmaktadır. Burada verilen yaklaşım;

$$T = ET \frac{P_s}{85} \quad (4.10)$$

eşitliğinden yararlanmadır. 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, % dir.

Tasarımda, maksimum örtü düzeyindeki gölgelenen alan yüzdesi dikkate alınır. Bu değerin, tarla bitkileri ve sebzeerde % 80, bağ ve sık dikim aralıklarına sahip meyve ağaçlarında (sıra aralığı 4 m'den sık) % 75, geniş dikim aralıklarına sahip meyve ağaçlarında (sıra aralığı 4 m ve daha geniş) ise % 70 alınması önerilmektedir.

Yukarıda verilen (4.10) nolu eşitlikten yalnızca tasarım aşamasında yararlanılması sulık verilir. Uygulamada, sulama zamanının planlanması amacıyla bu eşitlikten yararlanıldığında, belirli aralıklarla toprak nemini kontrol etmek ve sulama aralığını ya da uygulanacak sulama suyu miktarını düzeltmek gerekebilir.

Proje sulama aralığı,  $SA \leq SA_{max}$  olacak biçimde seçilir. Sistem debisini ve buna bağlı olarak sistem maliyetini arttırmamak için sulama aralığının (4.9) nolu eşitlikle hesaplanan maksimum değere eşit alınması önerilir. Ancak, bazen uygulayıcı ya da planlayıcı tarafından bu değer,  $SA < SA_{max}$  olacak biçimde daha düşük alınabilir. Bu koşulda, her defasında uygulanacak net sulama suyu miktarı;

$$d_n = T(SA) \quad (4.11)$$

eşitliği ile bulunur. Eşitlikte;

$d_n$  = Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm,  
 $T$  = Damla sulama yöntemi altında bitki su tüketimi, mm/gün ve  
 $SA$  = Sulama aralığı, gün'dür.

### 3) Sulama süresi

Damla sulama yönteminde sulama süresi;

$$T_s = \frac{1000 d_s}{q N_d} \quad (4.12)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

$T_s$  = Sulama süresi, h,

$d_s$  = Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm,

$q$  = Damlatıcı debisi, L/h ve

$N_d$  = Bir dekar alandaki damlatıcı sayısı, adet/da

değerlerini göstermektedir. Burada hesaplanan sulama süresi, günlük sulama yapılabilecek süreden (örneğin 24 saat) fazla olmamalıdır. Aksi durumda, damlatıcı debisi artırılarak ya da seçilen sulama aralığı ve böylelikle uygulanacak sulama suyu miktarı azaltılarak sorun çözülür.

### 4) İşletme birimi sayısı

Damla sulama sistemlerinde proje alanı, belirli sayıda işletme birimine ayrılır ve her işletme birimine, genellikle, bir manifold boru hattı hizmet eder. İşletme birimindeki tüm lateral boru hatları bu manifold boru hattına bağlanır. Proje alanında göz önüne alınabilecek maksimum işletme birimi sayısı;

$$N_{max} = \left( \frac{T_g}{T_s} \right) (SA) \quad (4.13)$$

eşitliği ile bulunur. Eşitlikte;

$N_{max}$  = Maksimum işletme birimi sayısı, adet,

$T_g$  = Günlük sulama süresi, h/gün,

$T_s$  = Sulama süresi, h ve

$SA$  = Proje sulama aralığı, gün'dür.

İşletme birimi sayısı  $N \leq N_{max}$  olacak biçimde seçilebilir. İşletme birimi sayısının hesaplanan maksimum değere eşit alınması önerilir. Bu durumda sistem debisi minimum değerde olur. Ancak, özellikle küçük damla sulama sistemlerinde,  $N = N_{max}$  alındığında bir işletme biriminin hizmet ettiği alan çok küçük ve buna bağlı olarak manifold boru hattı çok kısa olabilir. Bu da, sistemin işletilmesi aşamasında sakınca doğurabilir. Ayrıca, su kaynağı kapasitesinin yeterli olması koşuluyla, işletme birimi sayısı azaltılarak sulamanın, sulama aralığı boyunca değil, daha kısa sürede tamamlanması ile daha iyi işletme yapılabilir.

Yukarıda verilen (4.13) nolu eşitlikte,  $(T_g/T_s)$  oranı kesirli çıktığında daima bir alt tam sayı dikkate alınır.

Her sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı, sulama aralığı, sulama süresi ve maksimum işletme birimi sayısına ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir.

**Örnek :**

**Verilenler :**

- Bitki cinsi : Çilek
- Etkili kök derinliği : 60 cm
- Büyüme mevsimi boyunca en yüksek bitki su tüketimi :  
 $ET = 7.2 \text{ mm/gün}$
- Kullanılabilir su tutma kapasitesi :  $d_s = 136 \text{ mm/m}$
- Etkili toprak derinliği : 150 cm'ye kadar toprak derinliğini sınırlayan herhangi bir taban suyu ya da geçirimsiz tabaka bulunmamaktadır. Diğer bir deyişle, topraklar derindir.
- Damlatıcı debisi :  $q = 2 \text{ L/h}$
- Damlatıcı aralığı :  $S_d = 0.50 \text{ m}$
- Lateral aralığı :  $S_l = 1.00 \text{ m}$
- Islatılan alan oranı :  $P = 0.50$
- Çiftçi günde en çok 10 saat sulama yapmak istemektedir ( $T_p = 10 \text{ h}$ ).

**İstenenler :**

- Her sulamada uygulanacak net ve toplam sulama suyu miktarı
- Sulama aralığı
- Sulama süresi
- Maksimum işletme birimi sayısı

**Çözüm :**

- 1) Sulama ile ıslatılacak toprak derinliği,

Derin topraklarda, etkili bitki kök derinliği, etkili toprak derinliğinden daha düşük olduğundan sulama ile ıslatılacak toprak derinliği olarak etkili kök derinliği dikkate alınır.

$$D = 60 \text{ cm} = 0.60 \text{ m}$$

- 2) Her sulamada uygulanacak maksimum net sulama suyu miktarı,

Kullanılabilir su tutma kapasitesi, birim toprak derinliği için mm cinsinden verildiğinden, (4.7) nolu eşitlikle hesaplanır. Çilek, topraktaki nem eksikliğine duyarlı olduğundan, kullanılabilir su tutma kapasitesinin % 30'u tüketildiğinde sulamaya başlanır ( $R_s = 0.30$ ).

$$d_{\text{net}} = d_s DR_s P = 136 \times 0.60 \times 0.30 \times 0.50 = 12.2 \text{ mm}$$

3) Damla yöntemi için bitki su tüketimi;

$$T = ET \frac{P_2}{85} = 7.2 \times \frac{80}{85} = 6.8 \text{ mm/gün}$$

Çilek için maksimum örtü düzeyinde gölgelenen alan yüzdesi  $P_2 = \% 80$  alınmıştır.

4) Maksimum sulama aralığı;

$$SA_{\max} = \frac{d_{\max}}{T} = \frac{12.2}{6.8} = 2 \text{ gün}$$

5) Proje sulama aralığı;

$SA = SA_{\max} = 2$  gün seçilmiştir.

6) Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı;

$$d_u = T(SA) = 6.8 \times 2 = 13.6 \text{ mm}$$

7) Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı;

$$d_t = \frac{d_u}{E_n} = \frac{13.6}{0.85} = 16.0 \text{ mm}$$

Su uygulama randımanı  $E_n = \% 85$  alınmıştır.

8) Birim alandaki damlatıcı sayısı;

Bir dekar alan  $1000 \text{ m}^2$  olduğundan ve bir damlatıcı  $S_d \times S_l = 0.50 \times 1.00 = 0.50 \text{ m}^2$  alana hizmet ettiğinden birim alan damlatıcı sayısı;

$$N_d = \frac{1000}{S_d S_l} = \frac{1000}{0.50 \times 1.00} = 2000 \text{ adet/da}$$

9) Sulama süresi;

$$T_s = \frac{1000 d_t}{q N_d} = \frac{1000 \times 16.0}{2 \times 2000} = 4 \text{ h}$$

10) Maksimum işletme birimi sayısı;

$$N_{\max} = \left(\frac{T_s}{T_d}\right)(SA) = \left(\frac{10}{4}\right) \times 2 = 2 \times 2 = 4 \text{ adet}$$

Proje alanı, en çok 4 adet işletme birimine ayrılacaktır. Burada,  $T_n/T_n = 10/4 = 2.5$  olmasına karşın, bir alt tam sayı olan 2 değeri dikkate alınmıştır.

#### 4.7.2. Sistem Tertibi

Damlalı sulama sistemleri, sulanacak arazinin büyüklüğü, biçimi ve topografik yapısı, sulanacak bitkilerin ekiliş ya da dikiliş biçimi, su kaynağının cinsi ve konumu gibi etmenler dikkate alınarak tertiplenir. Sistem tertibinde göz önünde tutulması gereken temel ilkeler şöylece sıralanabilir;

- 1) Lateral boru hatları, bitki sıraları boyunca döşenir. Bitki sıralarına dik yönde kesinlikle döşenmez. Lateral boru hatları tesviye eğrilerine paralel (eğimsiz) ya da bayır aşağı eğimde olmalı, bayır yukarı eğimde döşemekten kaçınılmalıdır. Bayır yukarı eğimde döşemek zorunlu ise, lateraller bayır aşağı döşense bile eğim çok yüksek ise (örneğin % 5'ten fazla ise) ya da bitki sıraları boyunca dalgalı topografya söz konusu ise, kendinden basınç düzenleyicili damlatıcılar kullanılmalıdır. Lateral boru hatları çok uzun tutulmamalı, zorunlu kalmadıkça, 100 m'nin üzerinde alınmamalıdır.
- 2) Tarla bitkileri ve sebzeler için Şekil 4.11'de, bağ ve meyve ağaçları için ise Şekil 4.12'de verilen lateral tertip biçimlerinden uygun olanı seçilmelidir.
- 3) Manifold boru hatları, lateral boru hatlarına dik konumda olmalı ve eğimsiz ya da bayır aşağı eğimde döşenmelidir. Olanaklar ölçüsünde manifold boru hatları laterallere iki yönde hizmet etmelidir. Bu koşul ancak, laterallerin eğimsiz döşenmesi durumunda sağlanır. Ayrıca, çok kısa manifold boru hatlarından kaçınılmalı ve zorunlu kalmadıkça manifold uzunluğu 40-50 m'nin altında alınmamalıdır.
- 4) Ana boru hatları, olanaklar ölçüsünde parsel sınırlarından geçirilmeli ve manifold boru hatlarını en kısa yoldan su kaynağına bağlamalıdır.
- 5) Sistem tertibi, sistem maliyetini ve işletme masraflarını en az düzeyde tutacak biçimde yapılmalıdır.

#### 4.7.3. Uygun Damlaticının Seçilmesi

Damlaticılar, sistemin en önemli ve çok dikkatle seçilmesi gereken elemanlardır. Bunun nedeni, seçilecek damlatıcı özelliklerinin, sulanacak arazide eş su dağılım düzeyini, diğer sistem unsurlarının boyutlarını ve sonuçta sistem maliyetini doğrudan etkilemesidir. Damlaticı seçiminde göz önüne alınacak temel ilkeler aşağıda verilmiştir.

- 1) Damlaticılarda, (4.1) nolu eşitlikteki  $x$  değeri olanaklar ölçüsünde 0.5'e yakın olmalıdır. Bu koşulda, lateral boru hattı boyunca basınç

değişmelerinde damlatıcı debilerindeki farklılık düşük düzeyde olmakta ve daha iyi su dağılımı sağlanabilmektedir.

- 2) Olanaklar ölçüsünde, kesit alanı büyük olan, lahirent ya da zigzag biçimindeki, uzun akış yolu damlatıcılar tercih edilmeli ve bu damlatıcılar, zorunlu kalmadıkça, en az 1 atm işletme basıncında çalıştırılmalıdır. Bu koşullarda, bir yandan, akış yolu boyunca yüksek akış hızı elde edilmekte ve böylelikle, akış rejimi, laminardan çok, kısmi türbülanslı ya da türbülanslı akım olmakta, bunların sonucunda özellikle, kimyasal madde birikimi ya da organik materyal oluşumunun neden olduğu tıkanma sorunu azalmakta, öte yandan, akış yolu boyunca suyun basıncı kırıldığı için, suyun damla damla toprak yüzeyine verilmesi sağlanarak, yüzey akışı ve erozyon sorunu ortadan kaldırılmaktadır.
- 3) Olanaklar ölçüsünde, düşük debili damlatıcılar tercih edilmelidir. Tarla bitkileri ve sebzeler söz konusu olduğunda, damlatıcı debisini 4 L/h'in üzerinde almamak gerekir. Bağ ve meyve ağaçlarında, sıra aralıkları daha geniş olduğundan, yeterli ıslatma oranını elde etmek için yüksek debili damlatıcıların kullanılması gerekebilir. Ancak, ağır bünyeli topraklarda debinin 4 L/h ve orta bünyeli topraklarda ise 6 L/h'in üzerinde alınması, yüzey akışına neden olabileceğinden önerilmemektedir. Hafif bünyeli topraklarda ise, 8 L/h'a kadar damlatıcı debisi seçilebilir. Damlatıcı debisini belirlerken, yüksek debide, genellikle, birim alan sistem debisinin ve buna bağlı olarak sistem maliyetinin artabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.
- 4) Sistem giriş basıncı pompa birimi ile sağlanıyorsa, damlatıcı işletme basıncını 1 atm seçmek uygundur. Eğer, su kaynağı yeteri kadar yüksekte ise ve sistem giriş basıncı pompa birimi kullanmaksızın yerçekimi ile sağlanıyorsa, su kaynağı ile proje alanı arasındaki yükseklik farkına bağlı olarak, işletme basıncı 0.5-2 atm arasında alınabilir. Bu koşulda, damlatıcı akış yolundaki kimyasal madde birikimi ve organik materyal oluşumunu azaltma açısından, işletme basıncını olanaklar ölçüsünde 2.0 atm'e yakın almak yerinde olur. İşletme basıncı 0.5 atm'in altında alınmamalıdır.
- 5) Seçilecek damlatıcılarda, yapımcı farklılığının ifadesinde kullanılan varyasyon katsayısının (CV), olanaklar ölçüsünde, yüksek olmasına özen gösterilmelidir. Varyasyon katsayısının % 95'in üzerinde olması salık verilir.
- 6) Damlatıcılar ucuz ve sağlam olmalı, damlatıcı gövdesi ve akış yolu zaman boyutunda aşınmamalı ve damlatıcılar güneş ışınlarından etkilenmemelidir.

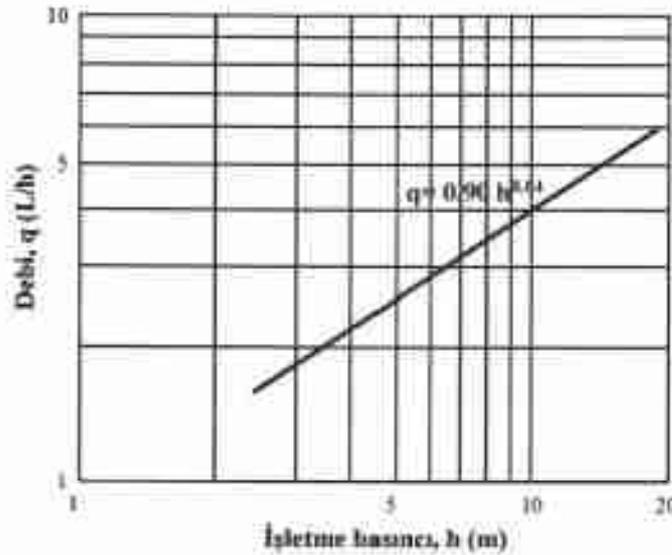
7) Damlatıcı özelliklerine ilişkin, güvenilir teknik bilgiler bulunmalıdır.

Tüm bu ilkeler doğrultusunda, damlatıcı seçiminde temel ilke, günlük sulama yapılabilen süre de göz önüne alınarak, olanaklar ölçüsünde, düşük debili olan ve geniş lateral aralığı gerektiren damlatıcıyı seçmektir.

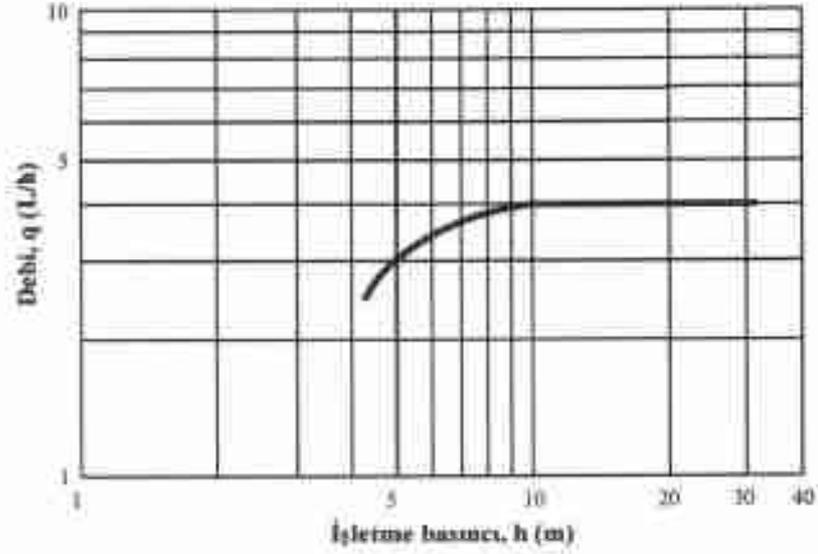
Damlatıcı üreten her kuruluş, farklı işletme basınçlarındaki damlatıcı debilerini gösteren çizelge ya da grafikler ile akış yolu çapı, (4.1) nolu eşitlikle verilen damlatıcı debi-basınç ilişkisindeki  $x$  üs değeri ve yapımcı farklılığına ilişkin varyasyon katsayısı (CV) gibi diğer damlatıcı özelliklerini planlamacı ve uygulayıcılara vermekle yükümlüdür. Damlatıcı debi-basınç ilişkilerine birer örnek, Şekil 4.13 ve 4.14'te verilmiştir. Şekil 4.13'ten izleneceği gibi, bu damlatıcı için  $x$  üs değeri 0.64 tür.

Bazı kuruluşlar, yalnızca farklı işletme basınçlarındaki debi değerlerini vermekle yetinmektedirler (Çizelge 4.2). Bu durumda  $x$  değeri,

$$x = \frac{\log\left(\frac{q_1}{q_2}\right)}{\log\left(\frac{h_1}{h_2}\right)} \quad (4.14)$$



Şekil 4.13. Normal damlatıcıda debi-basınç ilişkisine örnek



Şekil 4.14. Kendinden basınç regülatörlü damlatıcıda debi-basınç ilişkisine örnek.

Çizelge 4.2. Farklı işletme basınçlarındaki damlatıcı debilerine örnek

İşletme basıncı, h (m)	Damlatıcı debisi, q (L/h)
5	2.5
10	3.6
15	4.5
20	5.2

eşitliği ile hesaplanabilir. Örneğin, Çizelge 4.2'de ilk iki basınç değeri için,

$$x = \frac{\log\left(\frac{2.5}{3.6}\right)}{\log\left(\frac{5}{10}\right)} = 0.53$$

biçiminde hesaplanır. Yalnız, en az iki basınç değeri için daha hesaplama yaparak  $x$  değerini kontrol etmek ve farklılık varsa ortalama almak daha doğru olur. İşletme basıncının 1.0 atm ve 1.5 atm değerleri dikkate alınırsa,

$$x = \frac{\log\left(\frac{3.6}{4.5}\right)}{\log\left(\frac{10}{15}\right)} = 0.55$$

elde edilir ve  $x$  değeri ortalama;

$$x = \frac{0.53 + 0.55}{2} = 0.54$$

bulunur.

***Tek yıllık tarla bitkileri ve sebzelerde uygun damlatıcı seçimine ilişkin örnek:***

Sebze tarımı yapılan bir işletmede, domates, çilek, patlıcan, biber ve marul yetiştirilmektedir. Aynı yıl içerisinde, işletmedeki tüm tarla parsellerinde tek bir bitkinin tarımı yapılabileceği gibi, değişik parsellerde farklı bitkilerin de tarımı yapılabilecektir. Toprak bünye sınıfı kumlu killi tın (SCL) ve su aıma hızı  $I = 8$  mm/h'tır. İşletmede damla sulama sistemi kurulacaktır. Gerekli işletme basıncını sağlamak için pompa birimine ihtiyaç vardır. Bu verilere göre, uygun damlatıcının seçilmesi istenmektedir.

***Çözüm :***

1) Bitki sıra aralıkları;

Yerinde yapılan incelemelerden, bitki sıra aralıklarının domatesten 1.20 m, çilekte 1.00 m, patlıcanda 0.75 m, biberde 0.60 m ve marulda 0.40 m olduğu saptanmıştır.

2) İşletme basıncı;

Damla sulama sistemi için gerekli işletme basıncı pompa birimi ile sağlanacağından, işletme basıncı;

$h_p = 1$  atm seçilmiştir.

3) Seçenek damlatıcı debileri;

Damla yöntemiyle sulanan sebzeler için damlatıcı debisinin 2-4 L/h arasında seçilmesi uygun bir çözümdür. Damlatıcı üreten kuruluşların teknik verileri incelenerek, 1 atm işletme basıncında 2-4 L/h arasında kalan damlatıcı

debileri dikkate alınır. Bu örnek için, 1 atm işletme basıncında  $q = 2 \text{ L/h}$ ,  $q = 3 \text{ L/h}$  ve  $q = 4 \text{ L/h}$  damlatıcı debileri göz önüne alınmıştır.

4) Seçenek damlatıcı debilerinde damlatıcı aralıkları;

$$S_d = 0,9 \sqrt{\frac{q}{I}}$$

$$- q = 2 \text{ L/h için } S_d = 0,9 \times \sqrt{\frac{2}{8}} = 0,45 \text{ m}$$

$$- q = 3 \text{ L/h için } S_d = 0,9 \times \sqrt{\frac{3}{8}} = 0,55 \text{ m}$$

$$- q = 4 \text{ L/h için } S_d = 0,9 \times \sqrt{\frac{4}{8}} = 0,64 \text{ m}$$

5) Seçenek damlatıcı debilerinde farklı bitkiler için lateral aralıkları;

Damlatıcı aralığı bitki sıra aralığından küçük olduğunda, her bitki sırasına bir lateral boru hattı, büyük olduğunda ise, her iki bitki sırasına bir lateral boru hattı döşeneceği ilkesinden hareketle (Şekil 4.11), seçenek damlatıcı debilerinde farklı bitkiler için lateral aralıkları ve bunların en sık olan değeri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Çizelgeden izleneceği gibi, damlatıcı debisi 2 ya da 3 L/h seçilirse, projede göz önüne alınacak en sık lateral aralığı 0,60 m, 4 L/h seçilirse 0,75 m'dir.

6) Uygun damlatıcı debisi;

Çizelge 4.3'ün son kolonunda verilen, en sık lateral aralıkları içerisinde, en geniş lateral aralığına sahip damlatıcı debisi seçilir. Böylelikle, damla sulama sistemlerinin toplam maliyeti içerisinde, damlatıcı ve lateral boru hatlarının maliyeti önemli bir paya sahip olduğu için, sistem maliyeti en düşük değerde olur. Örnek için, damlatıcı debisini  $q = 4 \text{ L/h}$  seçmek gerekir.

7) İslatılan alan oranı;

Sebzeler için (4.3) nolu eşitlikteki  $k$  katsayısı 1,0 alınarak (Çizelge 4.1) farklı bitkiler için ıslatılan alan oranları;

$$P = k \frac{S_d}{S_r}$$

Çizelge 4.3. Örneğe ilişkin lateral aralıkları

Damlatici debisi, q (L/h)	Damlatici araligi, S <sub>d</sub> (m)	Bitki cinsi	Sıra araligi, S <sub>s</sub> (m)	Lateral araligi, S <sub>l</sub> (m)	En sık lateral araligi, S <sub>l</sub> (m)
2	0.45	Domates	1.20	1.20	0.60
		Çilek	1.00	1.00	
		Patlıcan	0.75	0.75	
		Biber	0.60	0.60	
		Marul	0.40	0.80	
3	0.55	Domates	1.20	1.20	0.60
		Çilek	1.00	1.00	
		Patlıcan	0.75	0.75	
		Biber	0.60	0.60	
		Marul	0.40	0.80	
4	0.64	Domates	1.20	1.20	0.75
		Çilek	1.00	1.00	
		Patlıcan	0.75	0.75	
		Biber	0.60	1.20	
		Marul	0.40	0.80	

$$\text{- Patlıcan için } P = 1.0 \times \frac{0.64}{0.75} = 0.85$$

$$\text{- Marul için } P = 1.0 \times \frac{0.64}{0.80} = 0.80$$

$$\text{- Çilek için } P = 1.0 \times \frac{0.64}{1.00} = 0.64$$

$$\text{- Biber ve domates için } P = 1.0 \times \frac{0.64}{1.20} = 0.53$$

bulunur. Tüm bu ıslatılan alan oranları yeterli ve uygundur.

#### Sonuç :

Verilen örnek için, 1 atm işletme basıncında 4 L/h debiyeye sahip damlatıcı seçilir. Damlatıcı tipi, lateral üzerine geçik (on-line) ya da lateral boyuna geçik (in-

line) olabilir. Bunlardan hangisi daha sağlam ve ucuz, akış yolu kesit alanı geniş, CV değeri yüksek ve  $x$  değeri 0.5'e yakınsa, o damlatıcı tipi daha uygundur. Lateral üzerine geçiş damlatıcı seçilirse, damlatıcılar lateral boru hattı üzerine 0.64 m ara ile yerleştirilir. Lateral boyuna geçiş damlatıcılar seçilirse, damlatıcı aralığı 0.64 m'ye en yakın (örneğin 0.60 m) değerinde olmalıdır.

Bu örnekte, işletmedeki tüm tarla parsellerinde manifold boru hatları üzerinde 0.75 m ara ile lateral çıkışları bırakılmalıdır. Bir tarla parselinde, örneğin domates dikilmişse, lateral aralığı 1.20 m olacağından, lateral boru hatları söz konusu lateral çıkışlarının bazılarına bağlanır, artakalan çıkışlar kör tapan ile kapatılır. Ancak, o parselde patlıcan yetiştirmeye sıra geldiğinde, lateral boru hatları tüm çıkışlara bağlanır.

#### *Bağda uygun damlatıcı seçimine ilişkin örnek:*

Bir bağ işletmesinde omca dikim aralıkları  $S_x, S_y = 2.5 \times 1.5$  m dir. Bağın damla yöntemiyle sulanması planlanmaktadır. Gerekli işletme basıncı pompa birimi ile sağlanacaktır. Toprak bünye sınıfı killi tın (CL) ve su alma hızı  $I = 4.2$  mm/h'tır. Proje alanı, kurak iklim kuşağı içerisinde (yıllık toplam yağış 360 mm'nin altındadır). Bu verilere göre, uygun damlatıcının seçilmesi istenmektedir.

#### *Çözüm :*

1) İşletme basıncı;

Damla sulama sistemi için gerekli basınç pompa birimi ile sağlanacağından, işletme basıncı,

$h_c = 1$  atm seçilmiştir.

2) Seçenek damlatıcı debileri;

Damla yöntemiyle sulanan bağ ve meyve ağaçları için, ağır bünyeli toprak koşullarında, damlatıcı debisinin 2-4 L/h arasında seçilmesi uygun bir çözümdür. Damlatıcı üreten kuruluşların teknik verileri incelenerek, 1 atm işletme basıncında 2-4 L/h arasında kalan damlatıcı debileri seçenek debiler olarak alınır. Bu örnek için, 1 atm işletme basıncında  $q = 2$  L/h,  $q = 3$  L/h ve  $q = 4$  L/h damlatıcı debileri göz önüne alınmıştır.

3) Seçenek damlatıcı debilerinde damlatıcı aralıkları;

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

$$- q = 2 \text{ L/h için } S_d = 0.9 \times \sqrt{\frac{2}{4.2}} = 0.62 \text{ m}$$

$$-q = 3 \text{ L/h için } S_d = 0,9x\sqrt{\frac{3}{4,2}} = 0,76 \text{ m}$$

$$-q = 4 \text{ L/h için } S_d = 0,9x\sqrt{\frac{4}{4,2}} = 0,88 \text{ m}$$

4) Seçenek damlatıcı debilerinde ıslatılan alan oranları;

Damla yöntemiyle sulanan bağda, her ağaç sırasına bir lateral boru hattı döşenir ve lateral aralığı orca sıra aralığına eşit olur (Şekil 4.12 a). Örnek için, lateral aralığı  $S_l = S_r = 2,50 \text{ m}$ 'dir. Ağır bünyeli topraklar için, Çizelge 4.1'deki  $k$  katsayısı 1.3 alınarak ıslatılan alan oranları;

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

$$-q = 2 \text{ L/h için } P = 1,3x\frac{0,62}{2,50} = 0,32$$

$$-q = 3 \text{ L/h için } P = 1,3x\frac{0,76}{2,50} = 0,40$$

$$-q = 4 \text{ L/h için } P = 1,3x\frac{0,88}{2,50} = 0,46$$

elde edilir.

5) Uygun damlatıcı debisi:

Kurak iklim bölgesi söz konusu olduğundan, ıslatılan alan oranının  $P \geq 0,35$  olması istenir. Bu koşulu, 3 L/h ve 4 L/h damlatıcı debileri sağlamaktadır. Sistem debisini ve buna bağlı olarak sistem maliyetini arttırmamak için,  $q = 3 \text{ L/h}$  damlatıcı debisini seçmek daha doğru olur.

**Sonuç :**

Verilen örnek için, 1 atm işletme basıncında 3 L/h debiye sahip damlatıcı seçilmiştir.

**Meyve ağaçlarında uygun damlatıcı seçimine ilişkin örnek:**

Bir tarım işletmesinde bulunan elma bahçesi, damla yöntemiyle sulanacaktır. Ağaç dikim aralıkları  $S_r \times S_c = 6 \times 5 \text{ m}$ 'dir. Toprak bünye sınıfı tın (L) ve su alma hızı  $I = 8,6 \text{ mm/h}$ 'tır. Gerekli işletme basıncı pompa birimi ile

sağlanacaktır. Proje alanı yarı kurak iklim kuşağı içerisinde (yıllık toplam yağış 360-720 mm arasında). Bu verilere göre uygun damlatıcının seçilmesi istenmektedir.

**Çözüm :**

1) İşletme basıncı;

Damla sulama sistemi için gerekli işletme basıncı pompa birimi ile sağlanacağından, işletme basıncı;

$h_s = 1 \text{ atm}$  seçilmiştir.

2) Seçenek damlatıcı debileri;

Damla yöntemiyle sulanan meyve ağaçları için orta büyüklüklü toprak koşullarında, yüzey akışına neden olmaması açısından, zorunlu kalmadıkça, damlatıcı debisini 6 L/h'ın üzerinde almamak gerekir. Bu nedenle, bu örnek için, 1 atm işletme basıncında  $q = 2 \text{ L/h}$ ,  $q = 3 \text{ L/h}$ ,  $q = 4 \text{ L/h}$ ,  $q = 5 \text{ L/h}$  ve  $q = 6 \text{ L/h}$  damlatıcı debileri göz önüne alınmıştır.

3) Seçenek damlatıcı debilerinde damlatıcı aralıkları;

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

$$- q = 2 \text{ L/h için } S_d = 0.9 \times \sqrt{\frac{2}{8.6}} = 0.43 \text{ m}$$

$$- q = 3 \text{ L/h için } S_d = 0.9 \times \sqrt{\frac{3}{8.6}} = 0.53 \text{ m}$$

$$- q = 4 \text{ L/h için } S_d = 0.9 \times \sqrt{\frac{4}{8.6}} = 0.61 \text{ m}$$

$$- q = 5 \text{ L/h için } S_d = 0.9 \times \sqrt{\frac{5}{8.6}} = 0.69 \text{ m}$$

$$- q = 6 \text{ L/h için } S_d = 0.9 \times \sqrt{\frac{6}{8.6}} = 0.75 \text{ m}$$

4) Her ağaç sırasına bir lateral boru hattı döşendiğinde (Şekil 4.12 a) ıslatılan alan oranları;

Meyve bahçelerinde orta hünyeli topraklar için Çizelge 4.1'deki  $k$  katsayısı 1.2 alınır;

$$P = k \frac{S_d}{S_r}$$

$$-q = 2 \text{ L/h için } P = 1.2x \frac{0.43}{6.00} = 0.09$$

$$-q = 3 \text{ L/h için } P = 1.2x \frac{0.53}{6.00} = 0.11$$

$$-q = 4 \text{ L/h için } P = 1.2x \frac{0.61}{6.00} = 0.12$$

$$-q = 5 \text{ L/h için } P = 1.2x \frac{0.69}{6.00} = 0.14$$

$$-q = 6 \text{ L/h için } P = 1.2x \frac{0.75}{6.00} = 0.15$$

elde edilir. Yanı kurak iklim bölgesi söz konusu olduğundan, ıslatılan alan oranının  $P \geq 0.30$  olması istenir. Görüldüğü gibi, her ağaç sırasına bir lateral boru hattı döşemekle yeterli ıslatılan alan oranı elde edilememektedir.

5) Her ağaç sırasına iki lateral boru hattı döşendiğinde (Şekil 4.12 b) ıslatılan alan oranları;

$$P = k \frac{2S_d}{S_r}$$

$$-q = 2 \text{ L/h için } P = 1.2x \frac{2x0.43}{6.00} = 0.17$$

$$-q = 3 \text{ L/h için } P = 1.2x \frac{2x0.53}{6.00} = 0.21$$

$$-q = 4 \text{ L/h için } P = 1.2x \frac{2x0.61}{6.00} = 0.24$$

$$-q = 5 \text{ L/h için } P = 1.2x \frac{2x0.69}{6.00} = 0.28$$

$$-q = 6 \text{ L/h için } P = 1.2x \frac{2x0.75}{6.00} = 0.30$$

elde edilir.

5) Uygun damlatıcı debisi;

Görüldüğü gibi, her ağaç sırasına iki lateral boru hattı döşendiğinde, yeterli ıslatılan alan oranı ( $P \geq 0.30$ ) yalnızca  $q = 6 \text{ L/h}$  damlatıcı debisinde sağlanmaktadır. Bu nedenle, damlatıcı debisini  $6 \text{ L/h}$  seçmek gerekir.

**Sonuç :**

Verilen örnek için, 1 atm işletme basıncında  $6 \text{ L/h}$  debiye sahip damlatıcı seçilmiştir. Her ağaç sırasına iki lateral boru hattı döşenecektir. Ağaç sırası boyunca, iki lateral boru hattı arasındaki aralık;

$$S_l = k S_d = 1.2x0.75 = 0.90 \text{ m}$$

olacaktır.

#### 4.7.4. Lateral ve Manifold Boru Çapının Saptanması

Damla sulama sistemlerinde bir işletme birimi, üzerinde damlatıcıların bulunduğu çok sayıda lateral boru hattı ve belirli sayıda lateralin bağlandığı manifold boru hattından oluşur. Dolayısıyla, lateral ve manifold boru hatları, çok çıkışlı basınçlı boru hatları biçimindedir. Bu tip boru hatlarında debi, hat sonuna doğru gittikçe azalma gösterir.

Şekil 4.15'te, çok çıkışlı bir lateral ya da manifold boru hattı boyunca, basınç yükü ve debi dağılımı görülmektedir. Şekilden izleneceği gibi, örneğin, üzerinde  $S_d$  aralıkla  $n$  adet damlatıcı bulunan lateral boru hattı boyunca tüm damlatıcıların giriş basınçları birbirinden farklıdır. Bunun nedeni, ardışık damlatıcılar arasındaki boru bölümlerinde oluşan yük kayıpları ve eğimden kaynaklanan yükseklik farkıdır. Dolayısıyla, lateral boru hattı üzerinde  $i$ . damlatıcının basıncı;

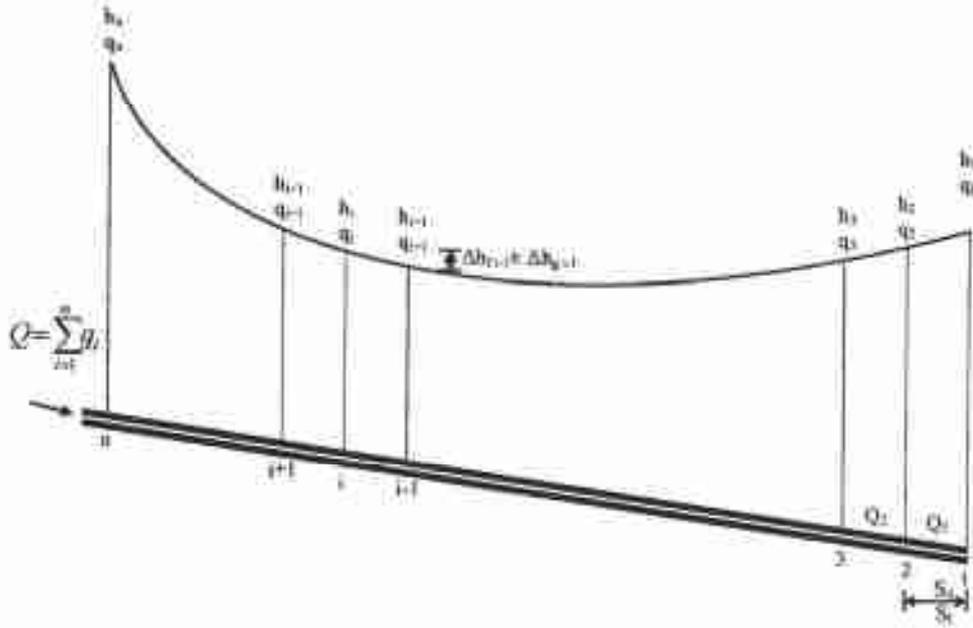
$$h_i = h_{i-1} + h_{f,i} \pm h_{e,i} \quad (4.15)$$

eşitliği ile ifade edilebilir. Eşitlikte;

$h_i$  =  $i$ . damlatıcının basıncı, m,

$h_{i-1}$  =  $(i-1)$ . damlatıcının basıncı, m,

$h_{f,i}$  =  $(i-1)$ . ve  $i$ . damlatıcılar arasındaki lateral boru bölümünde oluşan yük kayıpları, m ve



Şekil 4.15 Lateral ya da manifold boru hattı boyunca basınç yükü ve debi dağılımı

$h_{y,i-1}$  = (i-1). ve i. damlatıcılar arasında eğimden kaynaklanan yükseklik farkı, m'dir (bayır aşağı eğimde, - almır).

Daha önce verilen (4.1) nolu eşitlik uyarınca, damlatıcı debisi, basınç yükünün işlevi olduğundan, lateral boru hattı boyunca tüm damlatıcı debileri de birbirinden farklı değerlerde olur.

Benzer biçimde, üzerinde n adet lateral bulunan bir manifold boru hattı boyunca da lateral giriş basınçları, dolayısıyla lateral giriş debileri birbirinden farklılık gösterir. Sonuçta, bir işletme biriminde bulunan tüm damlatıcıların debileri arasında farklılık söz konusudur.

Damla sulama sistemlerinde, yeterli düzeyde eş su dağılımı sağlamak için, işletme birimindeki damlatıcıların debileri arasındaki farklılığın kabul edilebilir sınırlar arasında kalması istenir. Lateral ve manifold boru hatlarının çapları bu ilke göz önüne alınarak saptanır.

Lateral ve manifold boru hatlarında, boru hattı boyunca tümü damlatıcı ya da lateral giriş debileri arasındaki farklılık düzeyinin ifadesinde yaygın olarak,

$$C_n = 100 \left(1 - \frac{\Delta q_n}{q_n}\right) \quad (4.16)$$

Christiansen eşdağılım katsayısından yararlanılmaktadır. Bu eşitlikte;

$C_n$  = Christiansen eşdağılım katsayısı, %

$\Delta q_n$  = Her bir damlatıcı ya da lateral giriş debisinin ortalamadan olan mutlak sapmalarının ortalaması ve

$q_n$  = Ortalama damlatıcı ya da lateral giriş debisidir.

Damla sulama sistemlerinde, lateral boru hattı için  $C_n \geq \% 98$  ve manifold boru hattı için  $C_n \geq \% 97.5$  koşulunu sağlayan boru çapları seçilmekte ve bu koşulda işletme biriminde kabul edilebilir düzeyde eş su dağılımı sağlandığı yaklaşımları yapılmaktadır.

İlk aşamada, lateral ya da manifold boru hattı sonundaki damlatıcı ya da lateral giriş debisi bilinmediği için, her bir debi değerinin hesaplanması ve  $C_n$  eşdağılım katsayısının elde edilmesi, belirli düzeyde, deneyim-yanılgı işlemlerini gerektirir ve oldukça zaman alıcıdır. Bu nedenle, uygulamada yaygın olarak kullanılan boru cinsi ve çapları için,  $C_n$  eşdağılım katsayısının doğrudan bulunabileceği grafikler geliştirilmiş ve bu grafikler Şekil 4.16, ..., 4.27'de verilmiştir. Bu grafiklerde;

$L_l$  = Lateral boru uzunluğu, m,

$h_n$  = İşletme basıncı, m,

$Q_l$  = Lateral debisi, L/h,

$h_f$  = Lateral boru hattı boyunca oluşan toplam yük kayıpları, m,

$C_n$  = Christiansen eşdağılım katsayısı, %

$S_l$  = Lateral eğimi, %

$x$  = (4.1) nolu eşitlikle verilen damlatıcı debi-basınç ilişkisindeki üs değeri,

$L_m$  = Manifold boru uzunluğu, m,

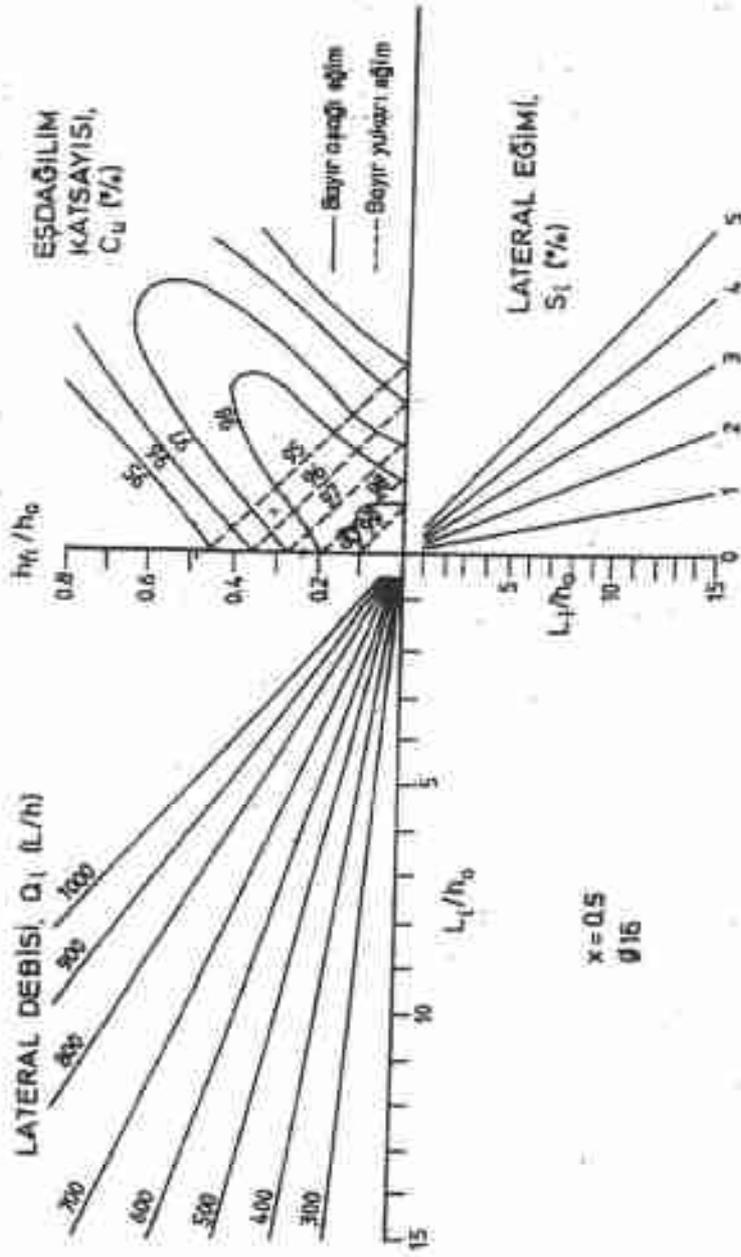
$H_l$  = Lateral giriş basıncı, m,

$Q_m$  = Manifold debisi, L/s,

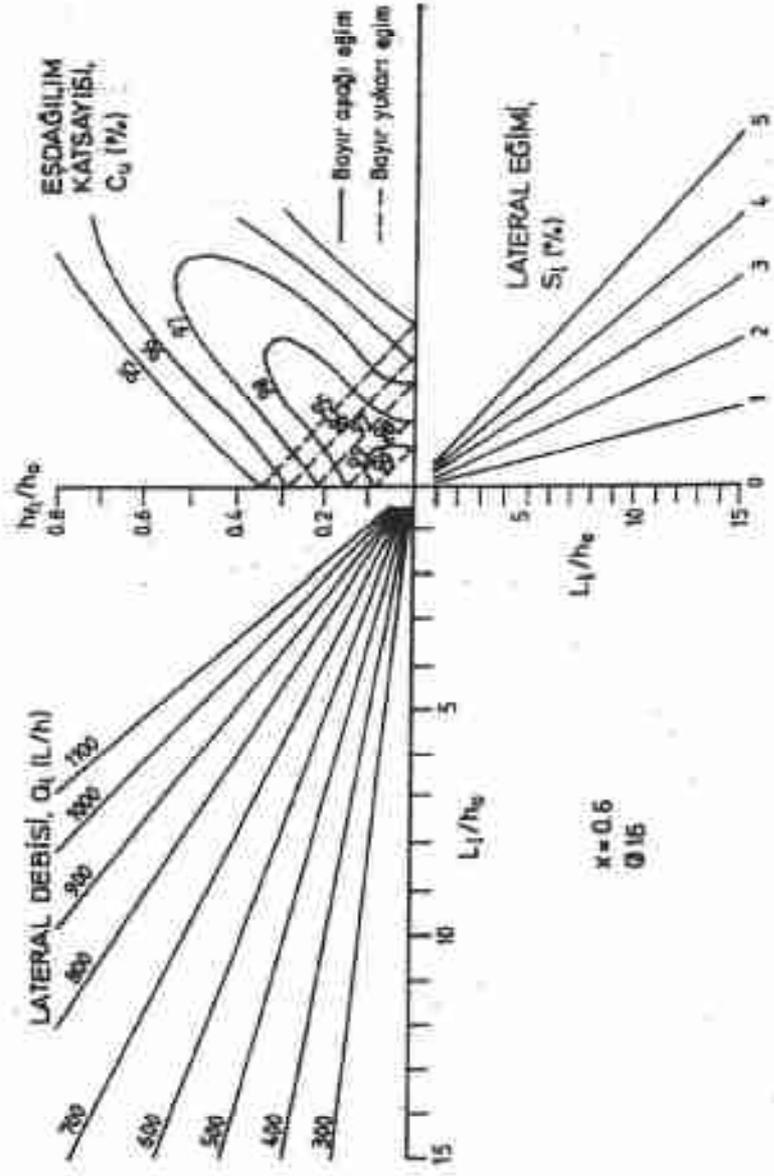
$h_{fm}$  = Manifold boru hattı boyunca oluşan toplam yük kayıpları, m ve

$S_l$  = Lateral eğimi, %'dir.

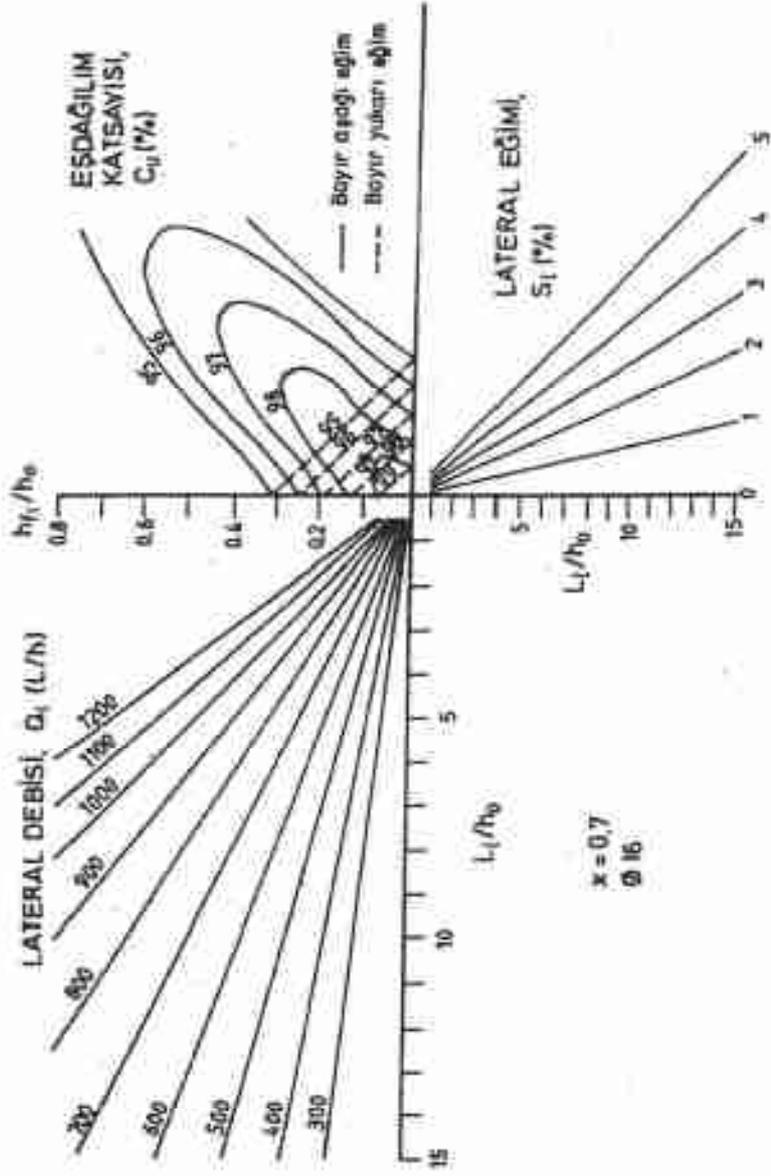
Görüldüğü gibi grafikler, 16 mm ve 20 mm dış çaplı PE damla sulama laterallerinde, damlatıcı debi-basınç ilişkisindeki  $x$  üssünün 0.5, 0.6, 0.7 ve 0.8



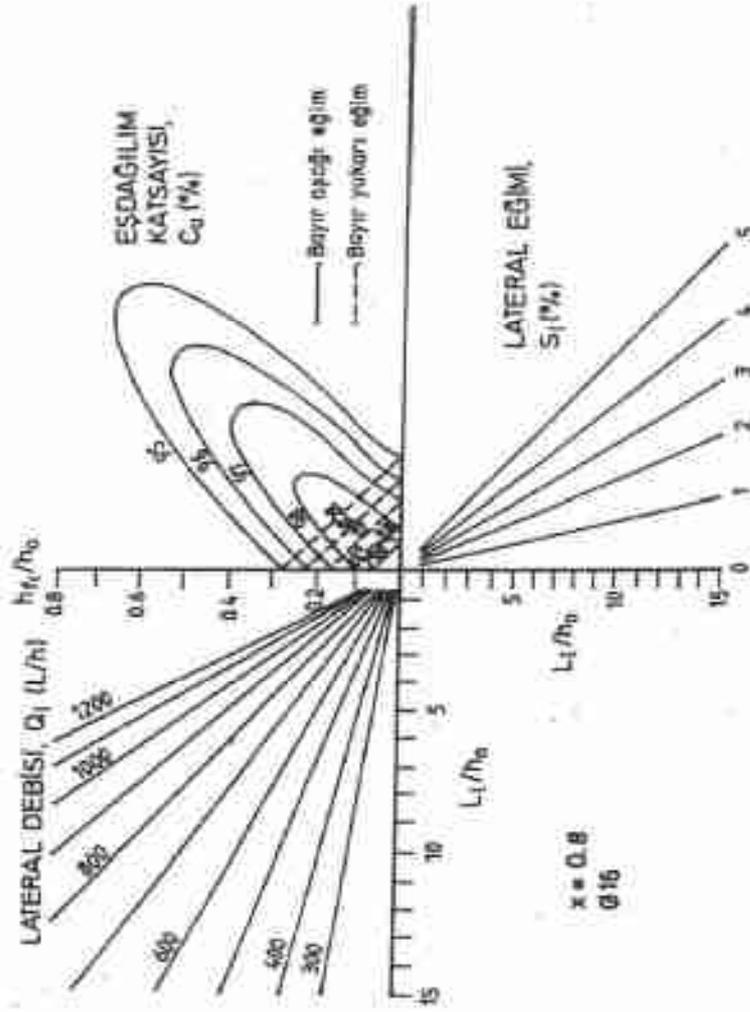
Şekil 4.16. 16 mm dış çaplı 4 atm işletme basınçlı PE damla sulama lateral boru hatları için eşdağılım katsayısı grafiği ( $x=0.5$ )



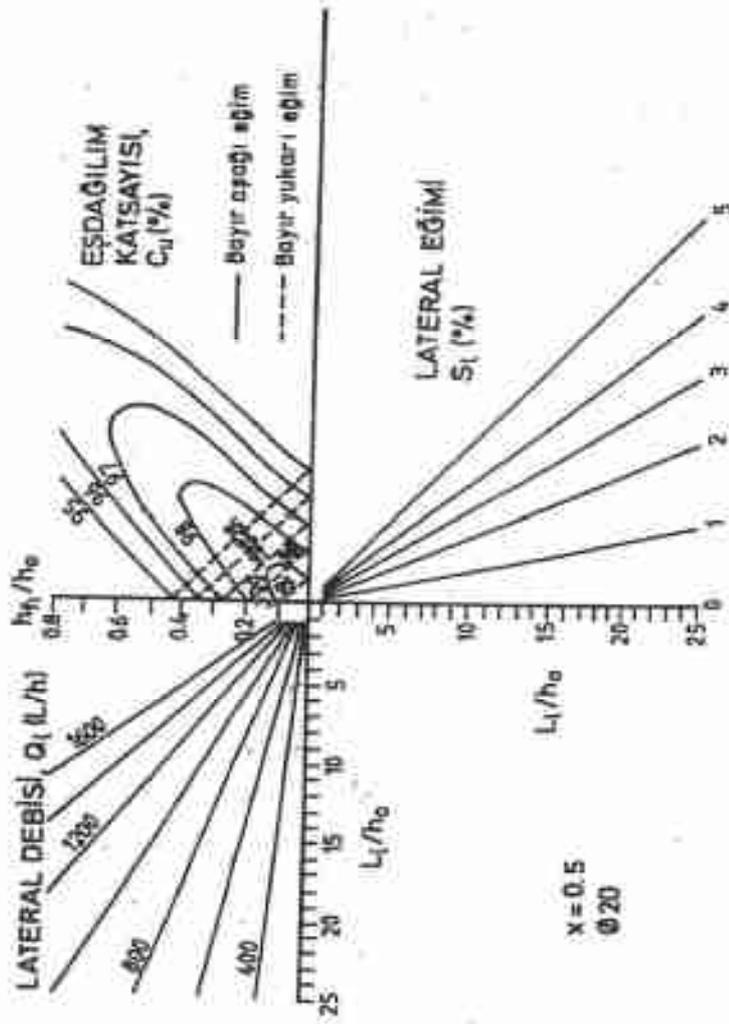
Sekil 4.17. 16 mm dia çatış 4 mm içletme banyılı PE damla sulama lateral boru hatları için esdağılım katsayısı grafiği ( $x=0.6$ )



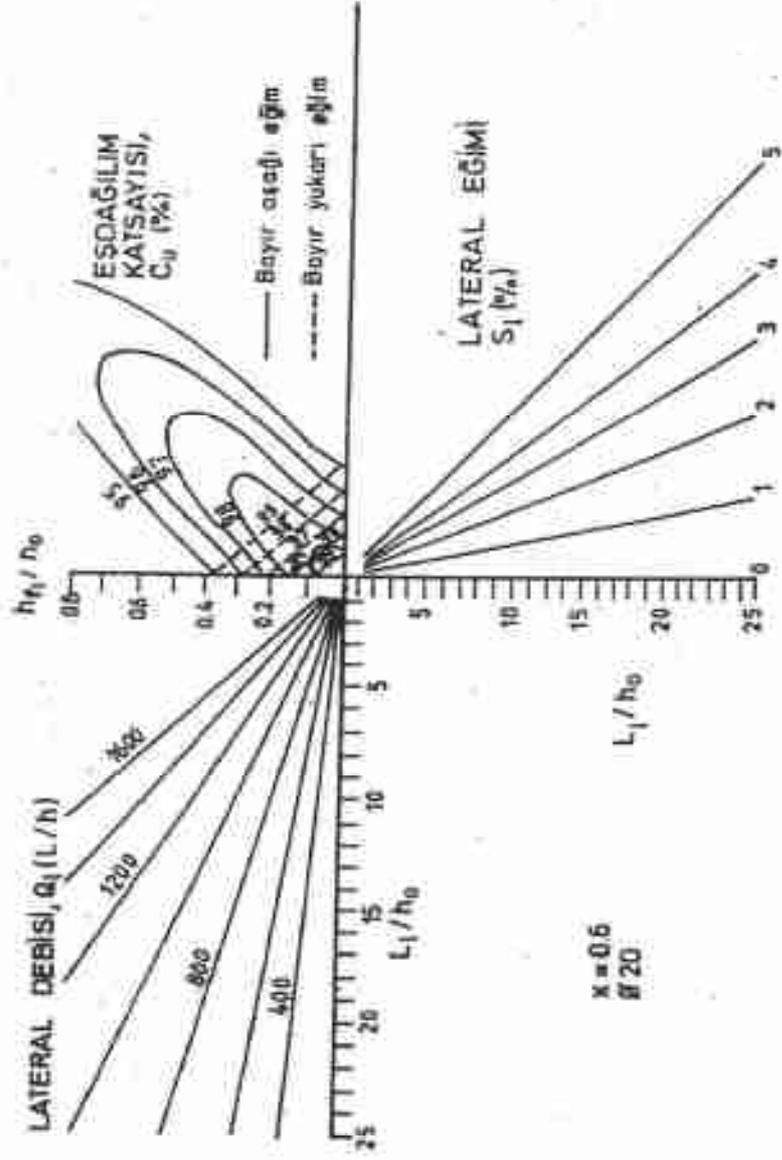
Şekil 4.11b. 16 mm dia çaplı 4 atm işletme basıncı PE darınlı solunma lateral boşu hatları için esdağılım katayım grafiği ( $x=0.7$ )



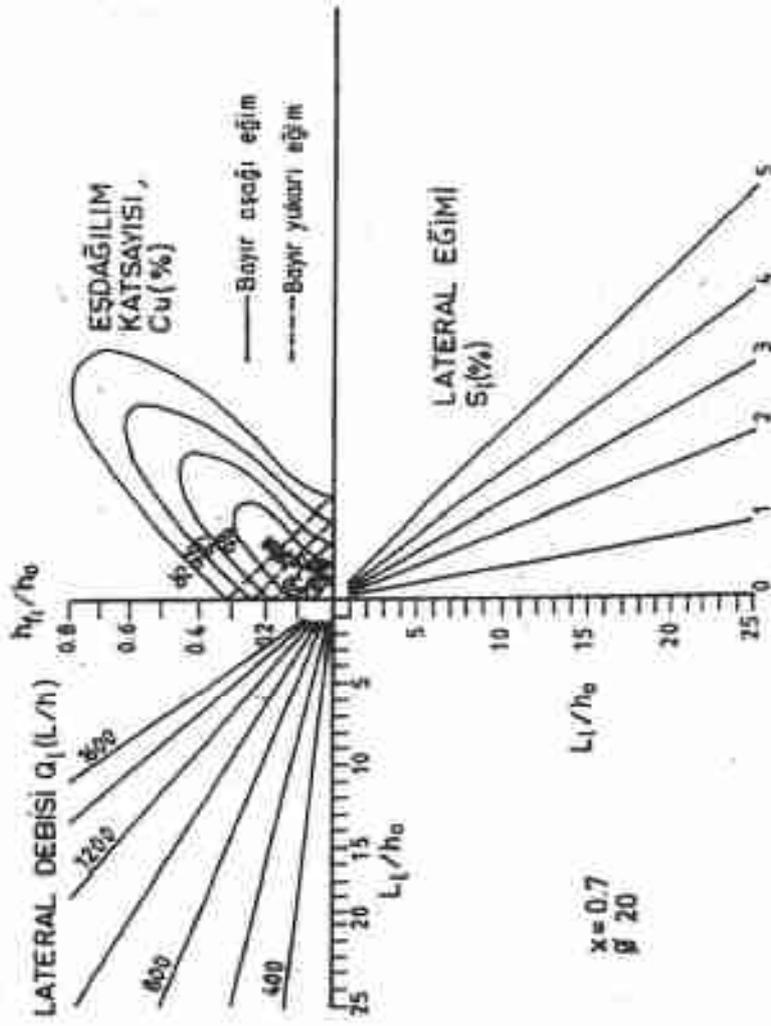
Şekil 4.19. 16 mm dış çaplı 4 atm işletmeye basınçlı PE damla sulama lateral boru hatları için eşdağılım katsayısı grafiği ( $x=0.8$ )



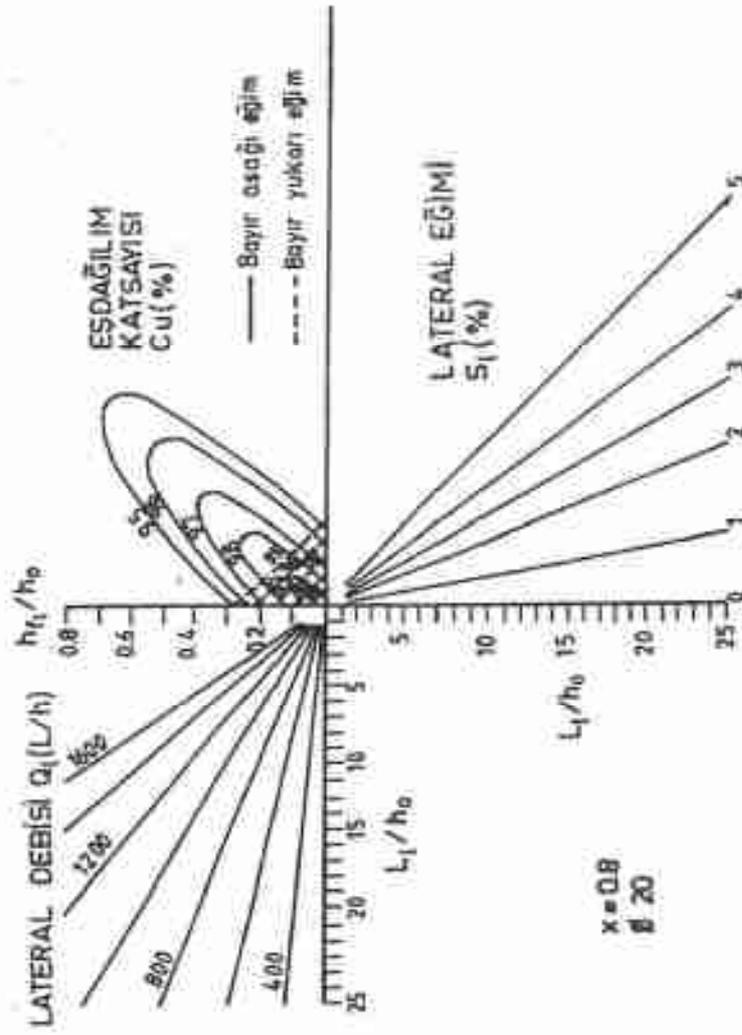
Şekil 4.20. 20 mm dış çaplı 4 atm işletme baskınlı PE damla sulama lateral bore hatları için eşdağılım katsayısı grafiği ( $x=0.5$ )



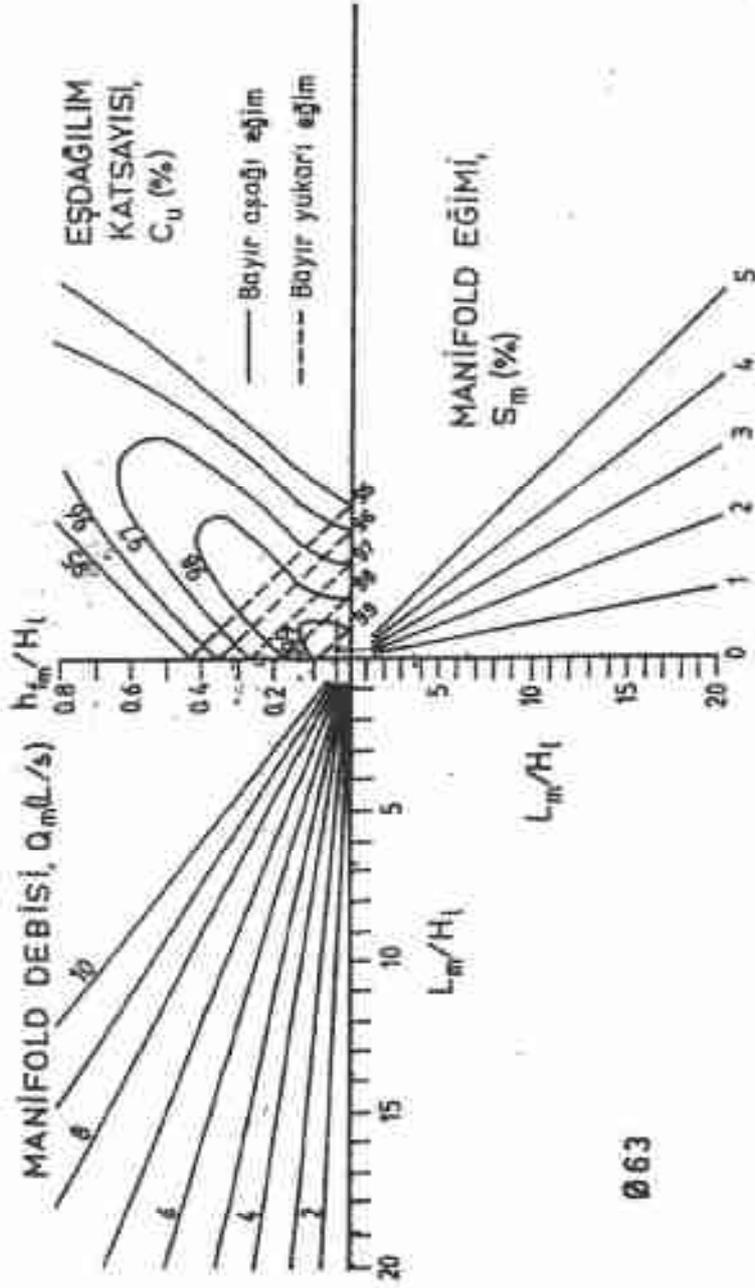
Şekil 4.21. 20 mm dış çaplı 4 atm işletme basınçlı PE diahbis sulama lateral boru hatları için esdağilim katsayısı grafiği ( $\alpha=0.6$ )



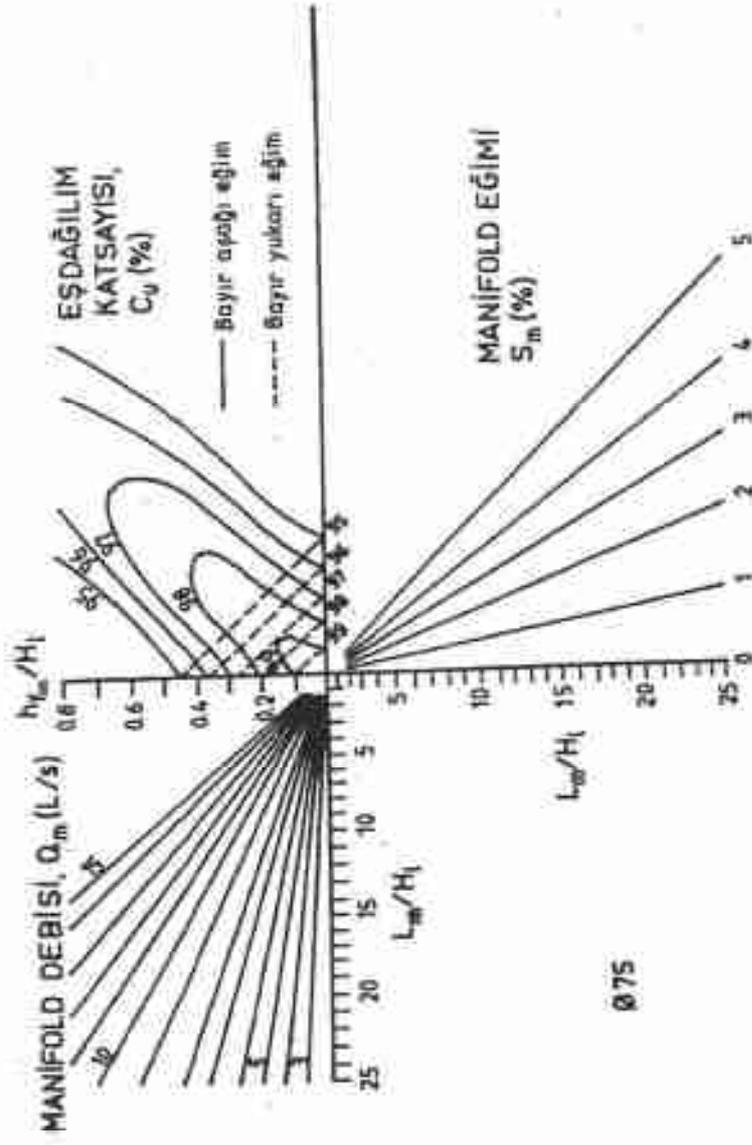
Şekil 4.22. 20 mm dış çaplı 4 arm içlerme basonçlı PE diarreli sulama lateral boru hatları için eşdeğirli katsayısı grafiği ( $x=0.7$ )



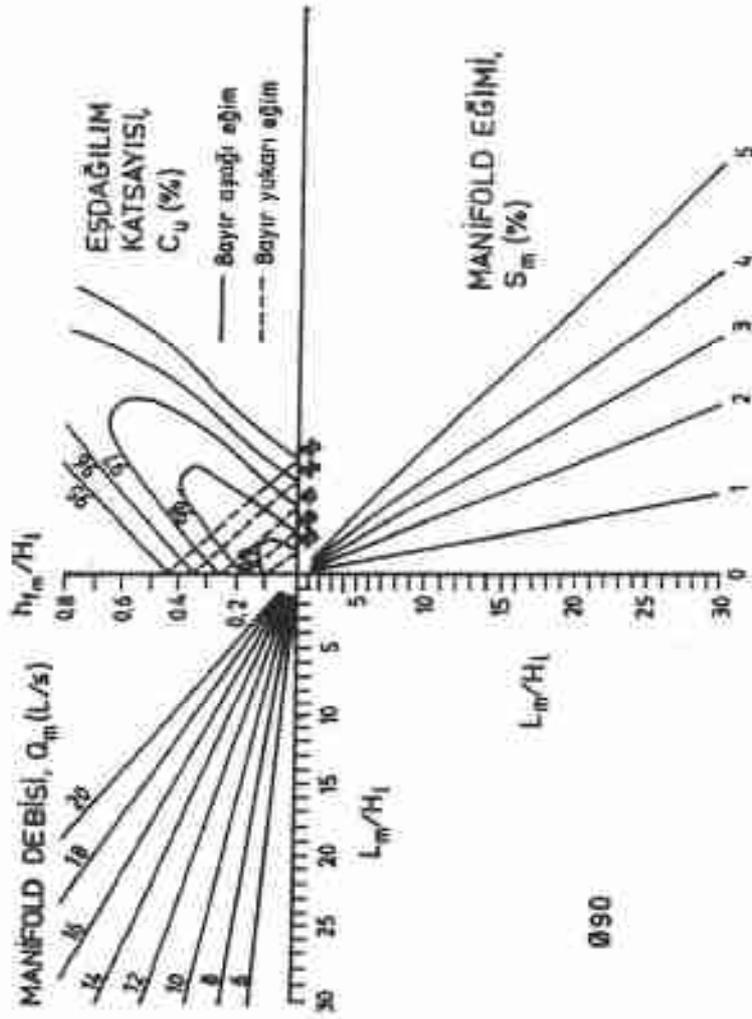
Şekil 4.23. 20 mm dış çaplı 4 atm işletme barmçlı PE damla sulama lateral boru hatları için esdağılım katsayısı grafiği ( $x=0,8$ )



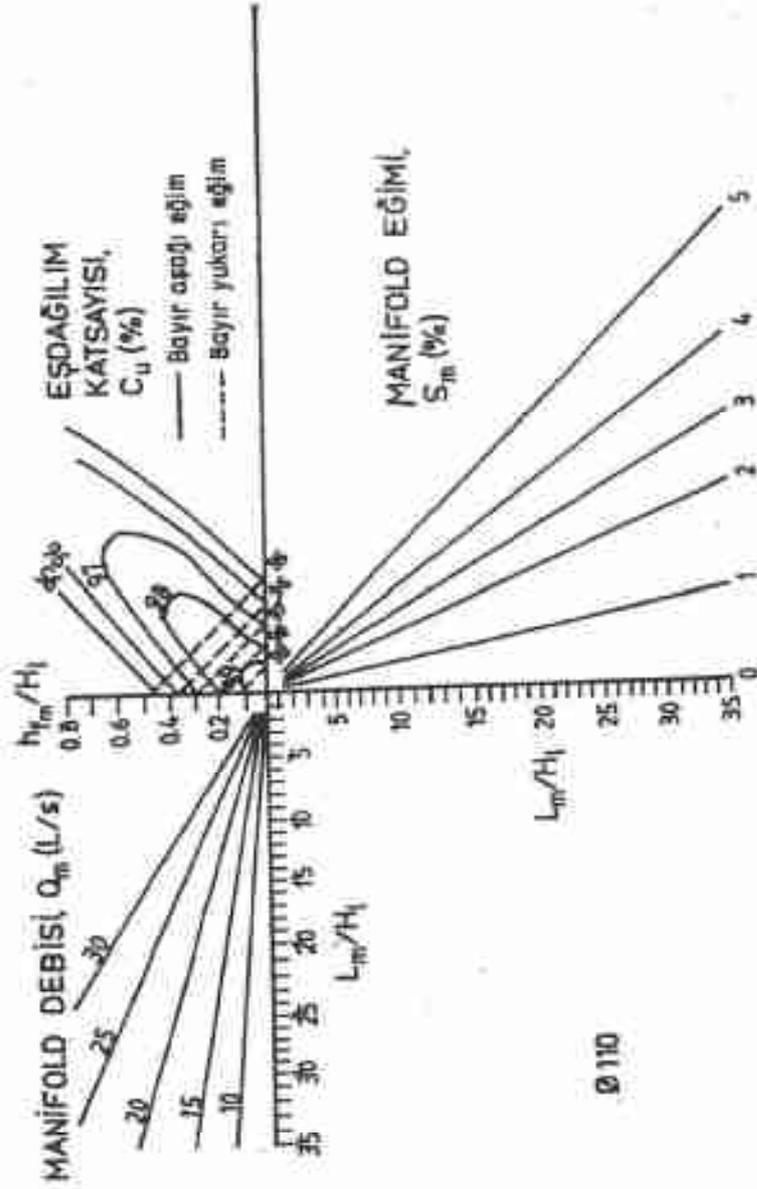
Şekil 4.24, 63 mm dış çaplı 6 atm işletme bamaçlı sert PVC manifold boru hatları için eşdağılım katsayısı grafiği.



Şekil 4.25. 75 mm dia çaplı 6 atm işletme basıncı sert PVC manifold boru hatları için eşdağılım katsayısı grafiği



Şekil 4.26. 90 mm dış çaplı 6 atrm ijetleme bantlı sert PVC manifold boru hatları için eşdağılım katsayısını gösteren grafik



Şekil 4.27. 110 mm dış çaplı 6 arm işletme basınçlı sert PVC manifold boru hatları için eşdağılım katsayısı grafiği

değerleri için ve ayrıca, 63 mm, 75 mm, 90 mm ve 110 mm dış çaplı sert PVC manifold boru hatları için hazırlanmıştır. Grafiklerin kullanılması ve sonuçta boru çapı ile hat boyunca oluşan toplam yük kayıplarının bulunması aşağıda açıklanmıştır.

- 1) Grafiğin sol üst bölümünde,  $L_l/h_o$  ya da  $L_w/H_l$  boyutsuz parametresinden yukarı doğru dik çıkılır ve debi değerini kesim noktasından sağa doğru, sağ üst bölüme geçinceye kadar paralel çizilir.
- 2) Grafiğin sağ alt bölümünde, yine  $L_l/h_o$  ya da  $L_w/H_l$  boyutsuz parametresinden sağa doğru paralel çizilir, eğim değerini kestiği noktadan yukarı doğru dik çıkılır ve bu dikin daha önce üst bölümde çizilen paraleli kesmesi sağlanır. Kesim noktasından, bayır aşağı eğim koşulu için düz, bayır yukarı eğim koşulu için kesik çizgilerden yararlanarak,  $C_u$  eşdağılım katsayısı okunur. Lateral boru hatları için  $C_u \geq \% 98$ , manifold boru hatları için  $C_u \geq \% 97.5$  koşulu sağlanırsa, kullanılan grafiğin ait olduğu boru çapı seçilir. Aksi durumda, bir büyük boru çapına ait grafikte, işlemler tekrarlanır. Eğimsiz koşullarda  $C_u$  değeri, üst bölümde çizilen paralelin düşey ekseni kestiği noktadan okunur.
- 3) Üst bölümde çizilen paralelin düşey ekseni kestiği noktadan  $h_g/h_o$  ya da  $h_w/H_l$  boyutsuz parametresi elde edilir. Bu değerden yararlanarak lateral ya da manifold boru hattı boyunca oluşan toplam yük kayıpları bulunur.

**Lateral ve manifold boru çapının bulunmasına ilişkin örnek :**

**Verilenler :**

- Damlatıcı debi-basınç ilişkisinde üs değeri ;  $x = 0.58$  [eğer bu değer bilinmiyorsa daha önce verilen yöntemle (5.9) nolu eşitlikten yararlanarak hesaplanabilir]
- Lateral uzunluğu ;  $L_l = 60$  m
- Lateral debisi ;  $Q_l = 300$  L/h
- Lateral eğimi ;  $S_l = \% 0$  (eğimsiz)
- İşletme basıncı ;  $h_o = 10$  m
- Lateral boru hatları 4 atm işletme basınçlı PE damla sulama borularından oluşturulacaktır.
- Manifold uzunluğu ;  $L_w = 80$  m
- Manifold debisi ;  $Q_w = 13.3$  L/s
- Manifold eğimi ;  $S_w = \% 1$  (bayır aşağı)

- Lateral giriş basıncı ;  $H_l = 10.70$  m
- Manifold boru hatları 6 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulacaktır.

**İstenenler :**

- Lateral ve manifold boru çapı
- Lateral ve manifold boru hatlarında oluşan toplam yük kayıpları

**Çözüm :**

1) Lateral boru çapı ve yük kayıpları

a)  $L_l/h_o$  boyutsuz parametresi ;

$$\frac{L_l}{h_o} = \frac{60}{10} = 6$$

b) Lateral boru çapı ;

Örnekte verilen,  $x = 0.58$  değeri  $0.60$ 'a daha yakın olduğundan  $x \approx 0.60$  alınabilir. İşleme, 16 mm dış çaptan başlanacağından, ilk aşamada, Şekil 4.17'de verilen grafik kullanılır. Grafiğin sol üst bölümünde,  $L_l/h_o = 6$  değerinden  $Q_l = 300$  L/h çizgisine kadar dik çıkılır ve buradan sağa doğru paralel çizilir. Lateral eğimsiz olduğu için, çizilen bu paralelin düşey eksenini kestiği noktadan  $C_u \approx \% 99$  bulunur. Bu değer  $\% 98$ 'den büyük olduğu için uygundur ve lateral boru dış çapı 16 mm seçilir.

c) Lateral boru hattında toplam yük kayıpları ;

Grafiğin üst bölümünde çizilen paralelin düşey eksenini kestiği noktadan  $h_f/h_o \approx 0.09$  okunur. Bu durumda, lateral boru hattında oluşan toplam yük kayıpları;

$$h_{f_l} = 0.09h_o = 0.09 \times 10 = 0.90 \text{ m}$$

bulunur.

2) Manifold boru çapı ve yük kayıpları

a)  $L_m/H_l$  boyutsuz parametresi ;

$$\frac{L_m}{H_l} = \frac{80}{10.70} = 7.5$$

b) Manifold boru çapı :

İşleme, 63 mm dış çaptan başlanacağından, ilk aşamada, Şekil 4.24'te verilen grafik kullanılır. Ancak, manifold debisi  $Q_m = 13.3$  L/s grafiğin dışında kaldığından ve uygun çözüm bulunamayacağı açık olduğundan, bir büyük çap olan 75 mm'ye geçilir. Şekil 4.25'teki grafiğin sol üst bölümünde,  $L_m/H_l = 7.5$  değerinden  $Q_m = 13.3$  L/s çizgisine kadar dik çıkılır ve buradan sağa doğru paralel çizilir. Sağ alt bölümde, yine  $L_m/H_l = 7.5$  değerinden  $S_m = \% 1$  doğrusuna kadar paralel çizilir ve buradan yukarı doğru dik çıkılarak, üst bölümde çizilen paraleli üst sağ bölümde kesmesi sağlanır. Bayır aşağı eğim söz konusu olduğu için, grafiğin sağ üst bölümünde düz çizgilerden yararlanarak, söz konusu kesim noktasından  $C_u \cong \% 96.5$  bulunur. Bu değer,  $\% 97.5$ 'ten küçük olduğu için uygun değildir. Bu durumda, işlemler Şekil 4.26'da 90 mm dış çap için tekrarlanır ve  $C_u \cong \% 98.7$  bulunur. Bu değer,  $\% 97.5$ 'ten büyük olduğundan uygundur. Sonuçta, manifold boru dış çapı 90 mm seçilir.

c) Manifold boru hatında toplam yük kayıpları :

Grafiğin üst bölümünde çizilen paralelin düşey ekseni kestiği noktadan  $h_{jm}/H_l \cong 0.16$  okunur. Bu durumda, lateral boru hatında oluşan toplam yük kayıpları;

$$h_{jm} = 0.09H_l = 0.16 \times 10.70 = 1.71 \text{ m}$$

bulunur.

**Lateral ve Manifold Giriş Basıncı**

Damla sulama sistemlerinde, bir işletme birimindeki kritik konumda olan lateral boru hattı boyunca, tüm damlatıcı basınçları ortalamasının işletme basıncına eşdeğer olması istenir. Lateral ve manifold boru hatlarında, ortalama basınç yükünün olduğu noktanın yeri, eğime bağlı olarak değişmektedir. Bilindiği gibi, lateral ya da manifold giriş basıncı, ortalama basınç değerinin, bu değer in olduğu nokta ile boru hattı girişi arasındaki yük kayıpları ve yükseklik farkı ile düzeltilmesi sonucunda bulunur. Diğer bir deyişle, lateral giriş basıncı;

$$H_l = h_m + E_s h_{f_l} \pm L_s h_{g_s} \quad (4.17)$$

ve manifold giriş basıncı;

$$H_m = H_l + E_s h_{f_m} \pm L_s h_{g_m} \quad (4.18)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Bu eşitliklerde;

$$H_l = \text{Lateral giriş basıncı, m,}$$

$h_s$  = İşletme basıncı, m,

$E_s$  = Boyutsuz yük kaybı oranı (ortalama basınç yükünün oluştuğu nokta ile boru hattı girişi arasındaki boru bölümünde oluşan yük kayıplarının, boru hattı boyunca oluşan toplam yük kayıplarına oranı),

$h_p$  = Lateral boru hattında oluşan toplam yük kayıpları, m,

$L_s$  = Boyutsuz uzunluk oranı (ortalama basınç yükünün oluştuğu nokta ile boru hattı girişi arasındaki boru bölümü uzunluğunun, toplam boru hattı uzunluğuna oranı),

$h_{sp}$  = Lateral boru hattı boyunca eğimden kaynaklanan yükseklik farkı (bayır aşağı eğimde, - alınır), m,

$H_m$  = Manifold giriş basıncı, m,

$h_{pm}$  = Manifold boru hattında oluşan toplam yük kayıpları, m ve

$h_{sm}$  = Manifold boru hattı boyunca eğimden kaynaklanan yükseklik farkı (bayır aşağı eğimde, - alınır), m'dir.

Bu eşitliklerdeki  $E_s$  ve  $L_s$  boyutsuz parametreleri, eğime bağlı olarak Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Lateral ve manifold giriş basıncına ilişkin örnek :**

**Verilenler :**

- Lateral uzunluğu ;  $L_L = 60$  m

- Lateral eğimi ;  $S_L = \%0$  (eğimsiz)

- İşletme basıncı ;  $h_s = 10$  m

Çizelge 4.4 Lateral ve manifold boru hatları için  $E_s$  ve  $L_s$  boyutsuz parametreleri

Lateral ya da manifold eğimi, S (%)	Boyutsuz yük kaybı oranı, $E_s$	Boyutsuz uzunluk oranı, $L_s$
0.00 (eğimsiz)	0.738	0.370
0.25 (bayır aşağı eğim)	0.724	0.358
0.50 " " "	0.705	0.346
1.00 " " "	0.675	0.328
2.50 " " "	0.636	0.288
5.00 " " "	0.510	0.230
0.25 (bayır yukarı eğim)	0.748	0.380
0.50 " " "	0.760	0.396
1.00 " " "	0.780	0.414
2.50 " " "	0.807	0.436
5.00 " " "	0.843	0.468

- Lateral boru hattında oluşan toplam yük kayıpları ;  $h_{\ell} = 0.90$  m
- Manifold uzunluğu ;  $L_m = 80$  m
- Manifold eğimi ;  $S_m = \% 1$  (bayır aşağı)
- Manifold boru hattında oluşan toplam yük kayıpları ;  $h_{\ell} = 1.71$  m

**İstenenler :**

- Lateral ve manifold giriş basıncı

**Çözüm :**

- 1) Lateral giriş basıncı

- a) Lateral boru hattı boyunca eğimden kaynaklanan yükseklik farkı ;

$$h_{\ell} = 0 \text{ (eğimsiz)}$$

- b)  $E_{\ell}$  ve  $L_{\ell}$  boyutsuz parametreleri ;

Çizelge 4.4'ten,  $S_{\ell} = \% 0$  için  $E_{\ell} = 0.738$  ve  $L_{\ell} = 0.370$

- c) Lateral giriş basıncı ;

$$H_{\ell} = H_a + E_{\ell} h_{\ell} \pm L_{\ell} h_m = 10 + 0.738 \times 0.90 + 0 \times 0.370 = 10.66 \text{ m}$$

- 2) Manifold giriş basıncı

- a) Manifold boru hattı boyunca eğimden kaynaklanan yükseklik farkı ;

$$h_{\ell} = S_m L_m = 0.01 \times 80 = 0.80 \text{ m (bayır aşağı)}$$

- b)  $E_m$  ve  $L_m$  boyutsuz parametreleri ;

Çizelge 4.4'ten,  $S_m = \% 1$  (bayır aşağı) için  $E_m = 0.675$  ve  $L_m = 0.328$

- c) Manifold giriş basıncı ;

$$\begin{aligned} H_m &= H_{\ell} + E_m h_{\ell} \pm L_m h_m \\ &= 10.66 + 0.675 \times 1.71 - 0.328 \times 0.80 = 11.55 \text{ m} \end{aligned}$$

**Kendüinden basınç regülatörlü damlatıcı koşulu için lateral ve manifold boru çapı**

Damla sulama sistemlerinde lateral ve manifold boru hatlarının herhangi birisinin yüksek bayır aşağı eğimde (özellikle % 5'ten yüksek), çok düşük olsa da bayır yukarı eğimde ya da dalgalı topografyaya sahip arazide döşenmesi durumunda, normal damlatıcılarla alan üzerinde eş su

dağılımının sağlanması son derece güçtür. Bu koşullarda genellikle, kendinden basınç regülatörlü damlatıcıların kullanılır. Bu tip damlatıcıların kullanılması durumunda ise lateral ve manifold boru çaplarının saptanmasında, buraya kadar normal damlatıcılar için açıklanan yöntemden farklı bir yol izlenir.

Kendinden basınç regülatörlü damlatıcıların kullanıldığı damla sulama sistemlerinde, lateral boru hattında işletme basıncının, manifold boru hattında lateral giriş basıncının % 40'ına kadar yük kayıplarına izin verilebilmektedir. Lateral ve manifold boru çapı bu koşul göz önüne alınarak seçilir. Bu koşul, normal damlatıcılara oranla, daha uzun lateral ve manifold boru hatlarının kullanımına olanak sağlayabilmektedir. Lateral ve manifold boru hatlarında oluşan yük kayıplarını bulmak için Şekil 4.16 - 4.27 arasındaki grafiklerin yalnızca üst sol bölümünden yararlanılır.

Kendinden basınç regülatörlü damlatıcılar kullanıldığında, işletme basıncının  $h_0 = 1$  atm alınması önerilir. Bunun yanında, alan üzerindeki tüm damlatıcılarda, lateral ve manifold girişlerinde basınç yükü 10 m'nin altında olmamalı, herhangi bir damlatıcıda giriş basıncı 30 m'nin üzerine çıkmamalıdır.

Kendinden basınç regülatörlü damlatıcılar kullanıldığında lateral giriş basıncı,

$$H_l = h_0 + h_{f_l} \pm h_{e_l} \quad (4.19)$$

ve manifold giriş basıncı,

$$H_m = H_l + h_{f_m} \pm h_{e_m} \quad (4.20)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Bu eşitliklerde;

$H_l$  = Lateral giriş basıncı, m,

$h_0$  = İşletme basıncı, m,

$h_{f_l}$  = Lateral boru hattında oluşan toplam yük kayıpları, m,

$h_{e_l}$  = Lateral boru hattı boyunca eğimden kaynaklanan yükseklik farkı (bayır aşağı eğimde, - alınır), m,

$H_m$  = Manifold giriş basıncı, m,

$h_{f_m}$  = Manifold boru hattında oluşan toplam yük kayıpları, m ve

$h_{e_m}$  = Manifold boru hattı boyunca eğimden kaynaklanan yükseklik farkı (bayır aşağı eğimde, - alınır), m'dir.

**Kendinden basınç regülatörlü damlatıcı koşulunda lateral ve manifold boru çapının bulunmasına ilişkin örnek**

**Verilenler :**

- Damlatıcı debisi ;  $q = 3 \text{ L/h}$
- Damlatıcı aralığı ;  $S_d = 0.75 \text{ m}$
- Lateral uzunluğu ;  $L_l = 120 \text{ m}$
- Lateral eğimi ;  $S_l = \% 6$  (bayır aşağı)
- İşletme basıncı ;  $h_s = 10 \text{ m}$
- Lateral boru hatları 4 atm işletme basınçlı PE damla sulama borularından oluşturulacaktır.
- Lateral aralığı ;  $S_l = 1.00 \text{ m}$
- Manifold uzunluğu ;  $L_m = 160 \text{ m}$
- Manifold eğimi ;  $S_m = \% 2$  (bayır aşağı)
- Manifold boru hatları 6 atm işletme basınçlı sert PVC borularından oluşturulacaktır.

**İstenenler :**

- Lateral ve manifold boru çapı
- Lateral ve manifold giriş basıncı

**Çözüm :**

1) Lateral boru çapı ve giriş basıncı

a) Lateral üzerinde damlatıcı sayısı

$$n_d = \frac{L_l}{S_d} = \frac{120}{0.75} = 160 \text{ adet}$$

b) Lateral debisi

$$Q_l = n_d q = 160 \times 3 = 480 \text{ L/h}$$

c)  $L_l/h_s$  boyutsuz parametresi ;

$$\frac{L_l}{h_s} = \frac{120}{10} = 12$$

d) Lateral boru çapı :

İşleme, 16 mm dış çaptan başlanır. Bu nedenle, Şekil 4.16, 4.17, 4.18 ya da 4.19'da verilen grafiklerden herhangi biri kullanılır. Örneğin, Şekil 4.16 göz önüne alınırsa, grafiğin sol üst bölümünde,  $L_e/h_e = 12$  değerinden  $Q_e = 480$  L/h çizgisine kadar dik çıkılır ve buradan sağa doğru paralel çizilir. Paralelin düşey eksenini kestiği noktadan  $h_e/h_e = 0.32$  bulunur. Bu değer 0.40'tan küçük olduğu için uygundur ve lateral boru dış çapı 16 mm seçilir.

e) Lateral boru hattında toplam yük kayıpları :

$$h_{f_t} = 0.32h_e = 0.32 \times 10 = 3.20 \text{ m}$$

f) Lateral boru hattında yükseklik farkı :

$$h_{s_t} = S_e L_e = 0.06 \times 120 = 7.20 \text{ m (bayır aşağı)}$$

g) Lateral giriş basıncı :

(4.19) nolu eşitlikten :

$$H_{f_t} = h_e + h_{f_t} \pm h_{s_t} = 10 + 3.20 - 7.20 = 6 \text{ m}$$

Kendinden basınç regülatörlü damlatıcılar kullanılmadığında, lateral giriş basıncı, işletme basıncı  $h_e = 10$  m'den düşük olamayacağı için,

$$H_{f_t} = 10 \text{ m}$$

alınmıştır.

2) Manifold boru çapı ve yük kayıpları

a) Manifold üzerinde lateral sayısı

$$n_f = \frac{L_m}{S_f} = \frac{160}{1.00} = 160 \text{ adet}$$

b) Manifold debisi

$$Q_m = \frac{n_f Q_f}{3600} = \frac{160 \times 480}{3600} = 21.3 \text{ L/s}$$

c)  $L_m/H_f$  boyutsuz parametresi :

$$\frac{L_m}{H_f} = \frac{160}{10} = 16$$

d) Manifold boru çapı ;

İşleme, düşük boru dış çapı ile başlanır. Ancak, Şekil 4.24, 4.25 ve 4.26'da verilen grafiklerde  $Q_m = 21.3$  L/s değerleri yer almamaktadır. Bu nedenle, Şekil 4.27'de verilen grafiğin sol üst bölümünde,  $L_m/H_f = 16$  değerinden  $Q_m = 21.3$  L/s çizgisine kadar dik çıkarılır ve buradan sağa doğru paralel çizilir. Paralelin dikey eksenini kestiği noktadan  $h_{fm}/H_f = 0.23$  bulunur. Bu değer 0.40'tan küçük olduğu için uygundur ve manifold boru dış çapı 110 mm seçilir.

e) Manifold boru hattında toplam yük kayıpları ;

$$h_{fm} = 0.23H_f = 0.23 \times 10 = 2.30 \text{ m}$$

f) Manifold boru hattında yükseklik farkı ;

$$h_{gm} = S_m L_m = 0.02 \times 160 = 3.20 \text{ m (buyur aşağı)}$$

g) Manifold giriş basıncı ;

(4.20) nolu eşitlikten ;

$$H_m = H_f + h_{fm} \pm h_{gm} = 10 + 2.30 - 3.20 = 9.10 \text{ m}$$

Kendinden basınç regülatörlü damlatıcılar kullanıldığında, manifold giriş basıncı, işletme basıncı  $h_m = 10$  m'den düşük olamayacağı için,

$$H_m = 10 \text{ m}$$

alınmıştır.

#### 4.7.5. Ana Boru Çapının Saptanması

Damla sulama sistemlerinde ana boru çapının saptanması, yağmurlama sulama yönteminde açıklandığı biçimde yapılır. Yalnızca, pompa birimi ile ana boru hattının yıllık toplam masraflarını en az yapacak ana boru çapı ve pompa birimi özellikleri saptanırken, manometrik yüksekliğin geçici olarak tahmininde, ana boru yük kayıpları yanında, 5 m kadar kontrol birimi yük kayıpları da dikkate alınır. Damla sulama sistemleri ana boru hattı çoğunlukla 6 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulur.

#### 4.7.6. Kontrol Birimi Unsurlarının Seçilmesi

Damla sulama sistemlerinde, kontrol birimi unsurları, bunları üreten kuruluşların verdikleri teknik bilgilerden yararlanarak seçilir.

Örnek olmak üzere, kontrol biriminde kullanılacak hidrosiklon, kum-çakıl filtre tankı, elek filtre ve basınç regülatörüne ilişkin teknik özellikler Çizelge 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8'de, bu unsurlara ilişkin yük kayıpları da Şekil 4.28, 4.29 ve 4.30'da verilmiştir. Yalnız, bu özelliklerin değişik kuruluşların ürettiği kontrol birimi unsurlarında değişebileceği unutulmamalıdır. Kontrol birimi unsurlarının seçiminde, birimin yerleştirileceği boru hattında iletilecek debi değeri dikkate alınır. Bunun yanında, unsurun giriş ve çıkış çapı, üzerine yerleştirileceği boru hattı çapı ile uyumlu olmalıdır.

Gübre tankının hacmi yaklaşık olarak,

$$V = \frac{FA}{C} \quad (4.21)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Bu eşitlikte;

$V$  = Gübre tankının hacmi, L,

$F$  = Uygulanacak gübre miktarı, kg/da,

$A$  = Sulama suyu (gübre) uygulanacak alan (genellikle işletme birimi alanı), da ve

$C$  = Tank dolu olduğunda eriyikteki gübre konsantrasyonu, kg/L.  
(projeleme aşamasında 0.5 kg/L alınabilir)

değerlerini göstermektedir. Uygulamada, ticari olarak hacmi 40-200 L arasında değişen gübre tankı söz konusudur. Yukarıdaki eşitlikle hesaplanacak olan değerler, bir büyüğü olan standart tank hacmi seçilir.

Elek filtrede mesh değeri, kullanılan damlatıcının akış yolu çapı dikkate alınarak seçilir. Elek filtrede delik çapı, en çok, damlatıcı akış yolu çapının % 25'i kadar olmalıdır. Mesh değerlerine karşılık gelen delik çapları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Örneğin, damlatıcı akış yolu çapı 0.5 mm için elek filtrede delik çapı en çok  $0.5 \times 0.25 = 0.125$  mm olması gerektiğinden, seçilecek elek filtre, en az 120 mesh olmalıdır.

#### ***Kontrol birimi unsurlarının seçilmesine ilişkin bir örnek :***

Bir damla sulama sistemine, proje alanı başından geçen açık kumaldan pompa birimi ile  $Q = 4$  L/s su alınacaktır. Sulama suyu kalite sınıfı  $C_2S_1$ 'dir ve sediment düşüktür. Kontrol birimi ana boru hattı başlangıcına yerleştirilecektir. Yapılan hesaplamalar sonucunda ana boru dış çapı 63 mm (2") bulunmuş, ayrıca manifold boru girişleri arasındaki basınç farklığının basınç regülatörü gerektirmeyecek kadar düşük olduğu saptanmıştır. Seçilen damlatıcıların akış yolu kesit alanı 0.6 mm'dir. Bunun yanında, aynı anda su verilecek, dolayısıyla gübre uygulanacak alan (işletme birimi alanı)  $A = 6$  da'dır ve damla sistemiyle her defasında verilecek gübre miktarı  $F = 4$  kg/da olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.5. Hidrosaklon teknik özellikleri

Giriş-çıkış çapı	Gövde çapı	Uygun debi sınırları (L/s)	
		Minimum	Maksimum
1.5"	6"	0.8	3.6
2"	8"	1.4	5.6
3"	8"	2.8	11.0
4"	16"	4.2	22.2
6"	20"	6.8	44.4

Çizelge 4.6. Kum-çakıl filtre teknik özellikleri

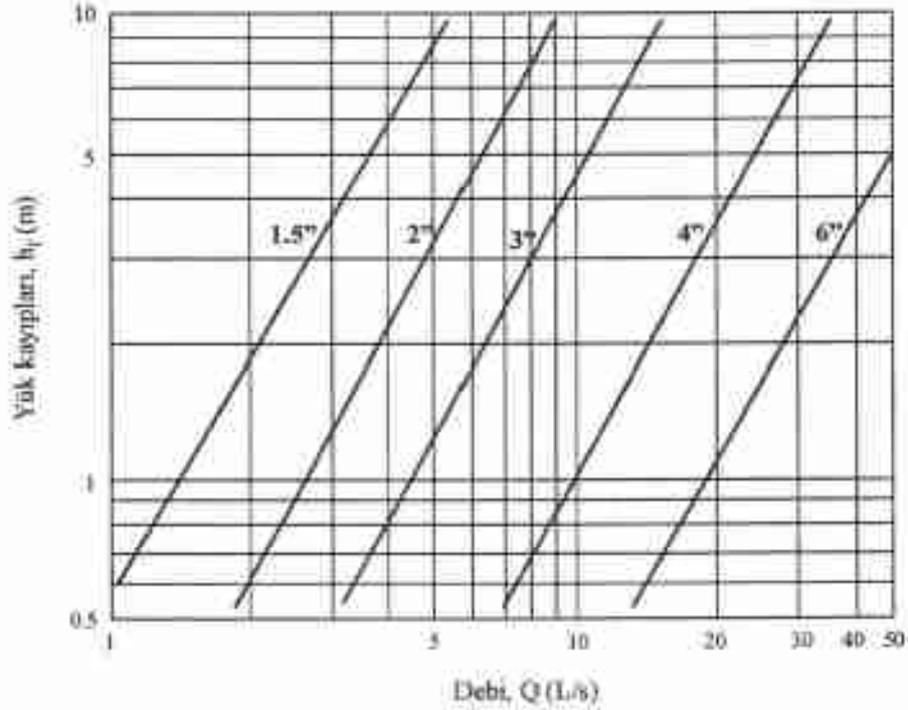
Giriş-çıkış çapı	Tank çapı	Maksimum debi (L/s)	
		Sediment yüksek	Sediment düşük
2"	20"	4	5
3"	36"	11	12.5
4"	48"	19	22

Çizelge 4.7. Eliek filtre teknik özellikleri

Giriş-çıkış çapı	Tank çapı	Maksimum debi (L/s)	
		Düşük kaliteli su	Yüksek kaliteli su
3/4"	2.5"	0.5	0.8
1"	3"	0.8	1.3
1.5"	4"	2.8	4
2"	6"	4.7	6
3"	6"	10	12
4"	6"	14.5	17

Çizelge 4.8. Basınç regülatörü teknik özellikleri

Model	Giriş-çıkış çapı	Uygun debi sınırları (L/s)	
		Minimum	Maksimum
3/4"	3/4"	0.2	1.4
1 1/2"	1 1/2"	0.4	2.8
2" (4 memeli)	2"	0.9	5.6
2" (6 memeli)	2"	1.3	8.3
3" (10 memeli)	3"	2.2	13.9



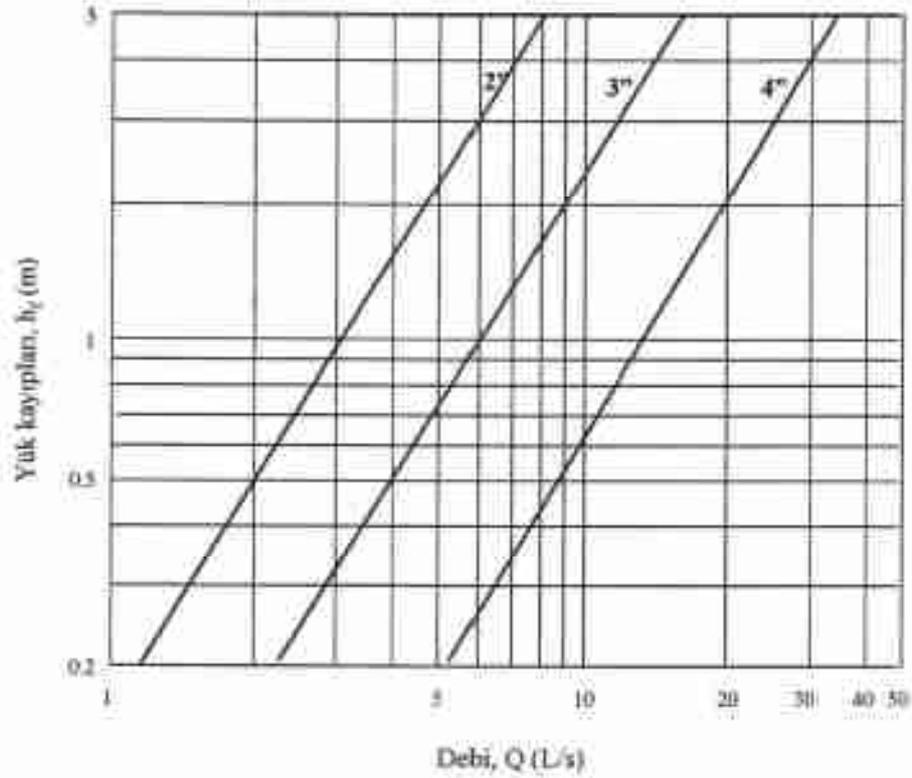
Şekil 4.28. Hidrosiklonlarda yük kayıpları

Bu verilere göre, kontrol birimi unsurlarının seçilmesi ve kontrol biriminde oluşacak toplam yük kayıplarının bulunması istenmektedir.

**Çözüm :**

1) Kontrol birimi unsurları;

Sisteme sulama suyu, açık kanaldan alındığı için, su içerisinde kum ve sediment ile yüzücü cisim bulunabilecektir. Bu nedenle kontrol birimine, kumun tutulduğu hidrosiklon ile sediment ve yüzücü cisimlerin tutulduğu kum-çakıl filtre tankının konulması gerekmektedir. Bunun yanında, her koşulda mutlaka gübre tankı ve elek filtre olacaktır. Bu örnekte, basınç regülatörüne gerek duyulmamıştır. Özetle, verilen örnekte kontrol birimi, sırasıyla, hidrosiklon, kum-çakıl filtre tankı, gübre tankı ve elek filtreden oluşturulacaktır. Ana boru çapı 2'' olduğundan, kontrol birimi unsurlarının giriş-çıkış çapları en az 2'' olmalıdır. Bu örnekte, teknik özellikleri Çizelge 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8'de verilen kontrol birimi unsurlarının kullanılacağı varsayılmıştır.



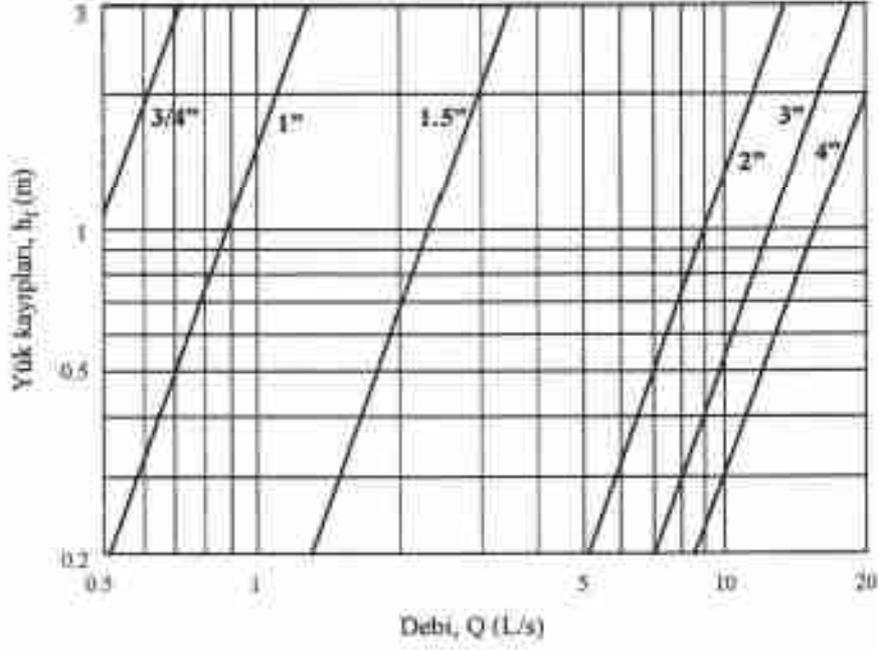
Şekil 4.29. Kum-çakıl filtre tankında yük kayıpları

2) Hidrosiklon özellikleri;

Sistem debisi  $Q = 4 \text{ L/s}$  için, Çizelge 4.5'ten, giriş-çıkış çapı 2" ve gövde çapı 8", olan hidrosiklon seçilmiştir.

3) Kum-çakıl filtre tankı özellikleri;

Sistem debisi  $Q = 4 \text{ L/s}$  için, Çizelge 4.6'dan, giriş-çıkış çapı 2" ve gövde çapı 20" olan kum-çakıl filtre tankı seçilmiştir. İçerisine 1-2 mm çaplı bazalt kum-çakıl karışımı konacaktır.



Şekil 4.30. Elek filtrede yük kayıpları

Çizelge 4.9. Elek filtrede mesh değerlerine karşılık gelen delik çapları

Mesh	Delik çapı (mm)
80	0.18
100	0.15
120	0.12
160	0.09
200	0.076

4) Gübre tankı hacmi;

Aynı anda gübre uygulanacak alan  $A = 6$  da ve her sulamada verilecek gübre miktarı  $F = 4$  kg/da için tank hacmi ilk aşamada (tasarım aşamasında  $C = 0.5$  kg/L alınabilir);

$$V = \frac{FA}{C} = \frac{4 \times 6}{0.5} = 48 \text{ L}$$

bulunur. Piyasada, bu değere en yakın bir büyük hacim 60 L olduğundan, gübre tankı hacmi 60 L seçilmiştir.

5) Elek filtre özellikleri;

Sistem debisi  $Q = 4$  L/s için Çizelge 4.7'den giriş çıkış-çapı 2" ve tank çapı 6" olan elek filtre seçilmiştir. Damlatıcı akış yolu çapı 0.6 mm olduğundan ve elek filtrede delik çapı damlatıcı akış yolu çapının en çok % 25'i olabileceğinden, elek filtre delik çapı en çok  $0.25 \times 0.6 = 0.15$  mm olabilecektir. Bu değere göre, Çizelge 4.9'dan elek filtre en az 100 mesh olmalıdır. Piyasada bulunabilecek, 100 mesh ve üzerindeki elek filtre kullanılabilir. Bu örnekte, 120 mesh elek filtre seçilmiştir.

6) Kontrol biriminde yük kayıpları;

Şekil 4.28, 4.29 ve 4.30'dan yararlanarak, sistem debisi  $Q = 4$  L/s ve yukarıda seçilen kontrol birimi unsurları ve özellikleri için yük kayıpları;

Ursur	Özellik	Yük kayıpları
Hidroklon	Giriş-çıkış çapı 2", gövde çapı 8"	2.50 m
Kum-çakıl filtre tankı	Giriş-çıkış çapı 2", tank çapı 20"	1.60 m
Gübre tankı	60 L hacminde	-
Elek filtre	Giriş-çıkış çapı 2", tank çapı 6"	0.20 m
Bağlantı elemanları	2" galvaniz ve Ø63 sert PE malzeme	1.00 m

$$h_{y_{k}} = 5.10 \text{ m} \approx 5 \text{ m}$$

Gübre tankı kontrol biriminin ana borusu dışına yerleştirildiğinden, bu tankta oluşacak yük kayıpları dikkate alınmaz. Yalnız kontrol birimi unsurlarını birbirine bağlayan elemanlardaki yersel yük kayıplarının eklenmesi gerekir. Her bağlantı elemanı için yersel yük kayıpları, amprik eşitliklerle bulunabileceği gibi, tasarım aşamasında, kabaca 1.00 m dolayında bir değer de doğrudan göz önüne alınabilir. Örnekte bu değer, yaklaşık 1.00 m alınmış ve bulunan kontrol birimi yük kayıpları m'nin katına yuvarlanmıştır.

#### 4.7.7. Pompa Biriminin Seçilmesi

Damla sulama sistemlerinde, gerekli basıncın sağlanması için pompa birimine ihtiyaç duyuluyorsa, su kaynağının özelliğine bağlı olarak, elektrik ya da diesel motor ile çalışan santrifüj, derin kuyu ya da dalgıç tipi pompalardan biri kullanılır.

Uygun pompa biriminin seçilmesi işlemi, hesaplamalar sonucunda bulunacak sistem debisi, manometrik yükseklik ve kullanılması öngörülen pompa ya da pompaların karakteristik eğrilerine göre yapılır.

Pompa biriminin seçilmesi konusu yağmurlama sulama sistemlerinin tasarımında ayrıntıları ile verildiği için burada ayrıca üzerinde durulmayacaktır.

#### 4.8. BİREYSEL DAMLA SULAMA SİSTEM TASARIMINA ÖRNEK

Bireysel damla sulama sistem tasarımına ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir.

**Kaynak araştırması :** Planı Şekil 4.31'de verilen, 120 x 160 m boyutlarındaki, 19.2 da şeftali bahçesinin damla yöntemi ile sulanması istenmektedir.

Ortalama topografik eğim, kuzey-güney doğrultusunda (uzun kenar boyunca) % 1 ve doğu-batı doğrultusunda (kısa kenar boyunca) % 0'dır (eğimsiz).

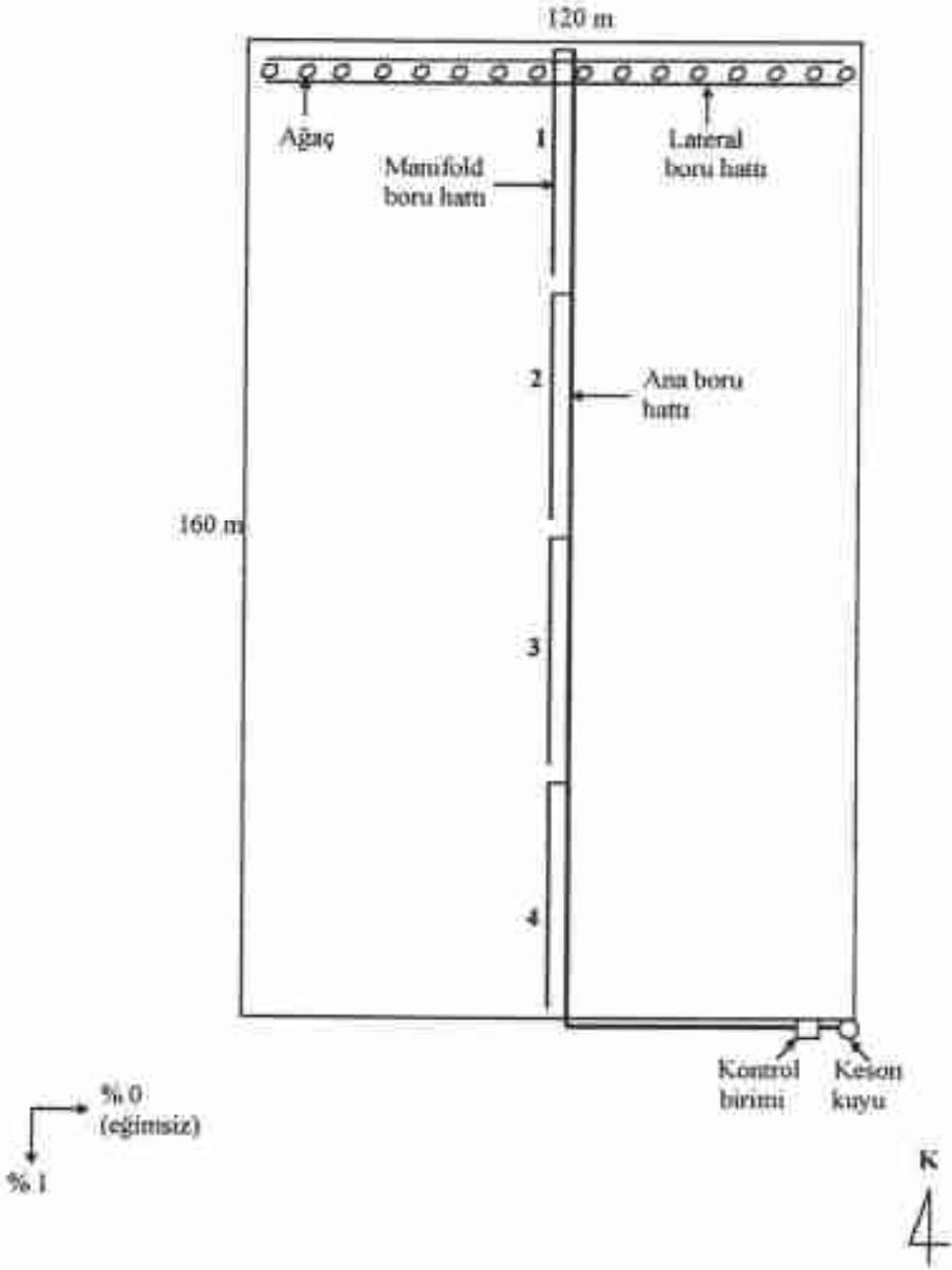
Alanda açılan bir adet profilden alınan toprak örneklerinin analizi ve ayrıca yapılan infiltrasyon testleri sonucunda, ortalama değerler olarak;

- Toprak bünye sınıfı : SCL (kumlu killi tın, orta bünye),
- Kullanılabilir su tutma kapasitesi :  $d_k = 137.2$  mm/m ve
- Su alma hızı :  $f = 7.4$  mm/h

biçiminde elde edilmiştir. Analiz değerlerinden ve profillerin incelenmesinden toprakların derin olduğu, herhangi bir tuzluluk, sodyumluluk ve drenaj sorununun bulunmadığı belirlenmiştir.

Meyve ağaçlarına ilişkin elde edilen bilgiler aşağıda verilmiştir.

- Tarımsal teknik açısından ağaç sıraları doğu-batı doğrultusunda, kısa kenar boyuncadır.
- Ağaç dikim aralıkları :  $S_r \times S_a = 5 \times 4$  m
- Maksimum bitki su tüketimi :  $ET = 6.4$  mm/gün
- Mevsimlik toplam sulama suyu gereksinimi :  $d_s = 476.9$  mm/mevsim



Şekil 4.31. Damla sulama sistemi tasarımına örnek yığılı bahçesinin planı

Alana su, bahçenin güney-doğu köşesinde bulunan keson kuyudan alınacaktır. Kuyuya ilişkin bilgiler şöyledir.

- Kuyu emniyetli debisi :  $Q = 4 \text{ L/s}$
- Dinamik emme yüksekliği :  $H_{de} = 6 \text{ m}$
- Sulama suyu kalite sınıfı :  $C_2S_1$

Alanda elektrik enerjisi mevcuttur. Bu nedenle, sisteme su, elektrik motorlu, yatay millî, santrifüj tipi pompa ile alınacaktır.

Proje alanı, yarı kurak iklim kuşağı içerisinde yer almaktadır.

İşletme sahibi, günde en çok 16 saat sulama yapmak ( $T_d = 16 \text{ h}$ ) ve sulamanın tamamlanacağı gün sayısının olanaklar ölçüsünde düşük olmasını istemektedir.

#### 1. aşama : Ön sistem tertibi

Ağaç sıraları kısa kenar boyunca olduğundan, lateral boru hatları bu doğrultuda döşenecektir. Kısa kenar boyunca arazi eğimsizdir ve manifold boru hatları laterallere iki yönde hizmet edebilecektir. Bu nedenle, manifold boru hatlarını uzun kenar boyunca ve arazi ortasına döşemek en uygun çözümdür. Buna göre, lateral uzunluğu  $L_c = 60 \text{ m}$ , lateral eğimi  $S_l = \% 0$  (eğimsiz) ve manifold eğimi  $S_m = \% 1$  (bayır aşağı) olacaktır.

#### 2. aşama : Uygun damlatıcı

##### 1) İşletme basıncı;

Damlı sulama sistemi için gerekli işletme basıncı pompa birimi ile sağlanacağından, işletme basıncı;

$$h_o = 1 \text{ atm} = 10 \text{ m}$$

seçilmiştir.

##### 2) Seçenek damlatıcı debileri;

Proje alanında orta bünyeli topraklar söz konusudur. Meyve bahçeleri için orta bünyeli topraklarda damlatıcı debisinin  $6 \text{ L/h} \cdot \text{m}$  üzerinde olması istenmemektedir. Bu nedenle,  $1 \text{ atm}$  işletme basıncında  $q = 2 \text{ L/h}$ ,  $q = 3 \text{ L/h}$ ,  $q = 4 \text{ L/h}$ ,  $q = 5 \text{ L/h}$  ve  $q = 6 \text{ L/h}$  damlatıcı debileri dikkate alınmıştır.

##### 3) Seçenek damlatıcı debilerinde damlatıcı aralıkları;

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

$$-q = 2 \text{ L/h için } S_d = 0.9x\sqrt{\frac{2}{7.4}} = 0.47 \text{ m}$$

$$-q = 3 \text{ L/h için } S_d = 0.9x\sqrt{\frac{3}{7.4}} = 0.57 \text{ m}$$

$$-q = 4 \text{ L/h için } S_d = 0.9x\sqrt{\frac{4}{7.4}} = 0.66 \text{ m}$$

$$-q = 5 \text{ L/h için } S_d = 0.9x\sqrt{\frac{5}{7.4}} = 0.74 \text{ m}$$

$$-q = 6 \text{ L/h için } S_d = 0.9x\sqrt{\frac{6}{7.4}} = 0.81 \text{ m}$$

4) Seçenek damlatıcı debilerinde farklı lateral tertip biçimleri için ıslatılan alan oranları;

Meyve ağaçlarında, öncelikle, her ağaç sırasına bir lateral boru hattı döşemesi düşünülür (Şekil 4.12 a). Bu koşul için, ıslatılan alan oranları şöyledir;

$$P = k \frac{S_d}{S_r}$$

Meyve ağaçlarında orta bünyeli topraklar için, tasarım aşamasında  $k = 1.2$  alınır (Çizelge 4.1).

$$-q = 2 \text{ L/h için } P = 1.2x\frac{0.47}{5.00} = 0.11$$

$$-q = 3 \text{ L/h için } P = 1.2x\frac{0.57}{5.00} = 0.14$$

$$-q = 4 \text{ L/h için } P = 1.2x\frac{0.66}{5.00} = 0.16$$

$$-q = 5 \text{ L/h için } P = 1.2x\frac{0.74}{5.00} = 0.18$$

$$-q = 6 \text{ L/h için } P = 1.2x\frac{0.81}{5.00} = 0.19$$

Yarı kurak iklim bölgelerinde, ıslatılan alan oranının  $P \geq 0.30$  olması istendiğinden, seçenek damlatıcı debilerinin hiçbirinde, her ağaç sırasına bir lateral boru hattı döşemekle, yeterli ıslatma oranı elde edilememektedir. Bu durumda, her ağaç sırasına iki lateral boru hattı döşeme yoluna gidilecektir (Şekil 4.12 b).

$$P = k \frac{2S_d}{S_r}$$

$$- q = 2 \text{ L/h için } P = 1.2x \frac{2x0.47}{5.00} = 0.23$$

$$- q = 3 \text{ L/h için } P = 1.2x \frac{2x0.57}{5.00} = 0.27$$

$$- q = 4 \text{ L/h için } P = 1.2x \frac{2x0.66}{5.00} = 0.32$$

$$- q = 5 \text{ L/h için } P = 1.2x \frac{2x0.74}{5.00} = 0.36$$

$$- q = 6 \text{ L/h için } P = 1.2x \frac{2x0.81}{5.00} = 0.39$$

Görüldüğü gibi,  $P \geq 0.30$  koşulu 4 L/h, 5 L/h ve 6 L/h damlatıcı debilerinde elde edilmektedir.

##### 5) Uygun damlatıcı ve lateral tertip biçimi;

Sistem debisini arttırmamak için, yeterli ıslatma oranının elde edildiği damlatıcı debileri içerisinde, en düşük olan  $q = 4 \text{ L/h}$  damlatıcı debisi seçilmiştir. Her ağaç sırasına iki lateral boru hattı döşenecek ve her sırada bulunan lateraller arasındaki mesafe;

$$S_r = k S_d = 1.2x0.66 \cong 0.80 \text{ m}$$

olacaktır (Şekil 4.12 b). Bu koşulda, ıslatılan alan oranı  $P = 0.32$ 'dir. Üretici kuruluşların teknik verileri incelenerek, daha ucuz olduğundan, lateral boyuna geçiş (in-line) tipte damlatıcıda karar kılınmıştır. Üretilen standart damlatıcı aralıkları 0.60 m ve 0.75 m'dir. Hesaplanan 0.66 m değeri, 0.60 m'ye daha yakın olduğundan, damlatıcı aralığı  $S_d = 0.60 \text{ m}$  seçilmiştir. Üretici kuruluşun teknik verilerinden, yapımcı katsayısının  $CV = \% 96.3$ , damlatıcı debi-basınç ilişkisindeki üs değerinin  $x = 0.64$  ve damlatıcı akış yolu en dar çapının 0.48 mm olduğu belirlenmiş ve bu değerler uygun bulunmuştur.

### 3. ayama : Ön projelendirme faktörleri

1) Sulama ile ıslatılacak toprak derinliği;

Proje alanında, topraklar derin olduğundan, sulama ile ıslatılacak toprak derinliği olarak, etkili kök derinliği dikkate alınmıştır. Meyve ağaçlarında etkili kök derinliği;

$$D = 1.20 \text{ m'dir.}$$

2) Her sulamada uygulanacak maksimum net sulama suyu miktarı;

Kullanılabilir su tutma kapasitesi mm/m cinsinden verildiğinden, (4.7) nolu eşitlikle hesaplanmış ve kullanılabilir su tutma kapasitesinin % 30'u tüketildiğinde sulamaya başlanacağı öngörülmüştür ( $R_s = 0.30$ ).

$$d_{s_{\max}} = d_k DR_s P = 137.3 \times 1.20 \times 0.30 \times 0.32 = 15.8 \text{ mm}$$

3) Damla yöntemi altında bitki su tüketimi;

$$T = ET \frac{P_s}{85} = 6.4 \times \frac{70}{85} = 5.3 \text{ mm/gün}$$

Meyve ağaçları için, maksimum örtü düzeyinde gölgelenen alan yüzdesi  $P_s = \% 70$  alınmıştır.

4) Maksimum sulama aralığı;

$$SA_{\max} = \frac{d_{s_{\max}}}{T} = \frac{15.8}{5.3} = 3 \text{ gün}$$

5) Proje sulama aralığı;

$$SA = SA_{\max} = 3 \text{ gün}$$

seçilmiştir.

6) Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı;

$$d_n = T(SA) = 5.3 \times 3 = 15.9 \text{ mm}$$

7) Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı;

$$d_s = \frac{d_n}{E_s} = \frac{15.9}{0.85} = 18.7 \text{ mm}$$

Su uygulama randımanı  $E_s = \% 85$  alınmıştır.

8) Birim alandaki damlatıcı sayısı;

Ağaç başına  $(4.00/0.60) \times 2$  adet damlatıcı düşmektedir. Bir dekar alanda  $1000/(5.00 \times 4.00) = 50$  adet ağaç bulunmaktadır. Dolayısıyla, birim alan damlatıcı sayısı;

$$N_d = \frac{4.00}{0.60} \times 2 \times 50 = 667 \text{ adet/da}$$

bulunur.

9) Sulama süresi;

$$T_s = \frac{1000d_i}{qN_d} = \frac{1000 \times 18.7}{4 \times 667} = 7 \text{ h}$$

10) Maksimum işletme birimi sayısı;

$$N_{max} = \left(\frac{T_s}{T_d}\right)(SA) = \left(\frac{16}{7}\right) \times 3 = 2 \times 3 = 6 \text{ adet}$$

11) Proje işletme birimi sayısı;

Şekil 4.31'den izleneceği gibi, manifold boru hatları uzun kenar boyunca toplam 160 m mesafede döşenecektir. Eğer, işletme birimi sayısı  $N = N_{max} = 6$  adet seçilirse, hem sulama 3 günde tamamlanır, hem de manifold boru uzunluğu 26.7 m ve manifoldun hizmet edeceği ağaç sayısı 6 adet olur. Su kaynağının yeterli olduğu koşullarda (ilerideki hesaplamalarda yeterli olduğu görülecektir), manifold boru uzunluğunun 40-50 m'nin altında alınması önerilmemektedir. Bu nedenle, proje işletme birimi sayısının  $N = 4$  adet ve manifold boru uzunluğunun  $L_m = 40$  m alınması, sulamanın ise çiftçi isteğine uyarak 2 günde tamamlanması öngörülmüştür.

4. aşama : Sistem tertibi

Sistem tertibi, Şekil 4.31'deki plan üzerinde gösterilmiştir.

5. aşama : Lateral boru çapı

1) Lateral uzunluğu ;  $L_d = 60 \text{ m}$

2) Lateral üzerinde damlatıcı sayısı ;

$$n_d = \frac{L_d}{S_d} = \frac{60}{0.60} = 100 \text{ adet}$$

3) Lateral debisi ;

$$Q_l = n_s q = 100 \times 4 = 400 \text{ L/h}$$

4) Lateral eğimi ;  $S_l = \%0$  (eğimsiz)

5) İşletme basıncı ;  $h_o = 10 \text{ m}$

6) Projede, lateral boru hatlarının, 4 atm işletme basınçlı PE damla sulama borularından oluşturulması ön görülmüştür.

7)  $L_s/h_o$  boyutsuz parametresi ;

$$\frac{L_s}{h_o} = \frac{60}{10} = 6$$

8) Lateral boru çapı ;

$x = 0.64$  değeri  $0.60$ 'a daha yakın olduğundan,  $x \approx 0.60$  alınabilir. Lateral boru dış çapının  $16 \text{ mm}$  olduğu koşul için, Şekil 4.17'den  $C_s \approx \%98.7$  bulunur. Bu değer,  $\%98$ 'den büyük olduğundan, uygundur. Lateral boru hatları,  $16 \text{ mm}$  dış çaplı, 4 atm işletme basınçlı, PE damla sulama borularından oluşturulmuştur.

9) Lateral boru hattında toplam yük kayıpları ;

Şekil 4.17'de, grafiğin üst bölümünde çizilen paralelin, düşey eksenini kestiği noktadan,  $h_f/h_o \approx 0.11$  okunur. Bu durumda, lateral boru hattında oluşan toplam yük kayıpları;

$$h_f = 0.11 h_o = 0.11 \times 10 = 1.10 \text{ m}$$

bulunur.

10) Lateral boyunca eğimden kaynaklanan yükseklik farkı ;

Lateral eğimsiz olduğundan,  $h_M = 0$  olur.

11)  $E_s$  ve  $L_s$  boyutsuz parametreleri ;

Çizelge 4.4'ten, lateral eğimi  $S_l = \%0$  (eğimsiz) için,  $E_s = 0.738$  ve  $L_s = 0.370$  bulunur.

12) Lateral giriş basıncı ;

$$H_s = h_o + E_s h_f \pm L_s h_M = 10 + 0.738 \times 1.10 + 0.370 \times 0 = 10.81 \text{ m}$$

6. ayama : Manifold boru çapı

1) Manifold uzunluğu ;  $L_m = 40 \text{ m}$

2) Manifold üzerinde lateral sayısı ;

Her ağaç sırasına iki lateral boru hattı düşenecektir. Ayrıca, manifold boru hatları lateralere iki yönde hizmet edecektir. Dolayısıyla, manifold üzerinde toplam lateral sayısı;

$$n_l = 2 \times 2 \times \frac{L_m}{S_n} = 2 \times 2 \times \frac{40}{5.00} = 32 \text{ adet}$$

3) Manifold debisi ;

$$Q_m = \frac{n_l q}{3600} = \frac{32 \times 400}{3600} = 3.6 \text{ L/s}$$

Bu değer su kaynağından emniyetle alınabilecek debiden (4 L/s) düşük olduğu için uygundur.

4) Manifold eğimi ;  $S_m = \% 1$  (bayır aşağı)

5) Lateral giriş basıncı ;  $H_l = 10.81 \text{ m}$

6) Projede, manifold boru hatlarının, 6 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulması ön görülmüştür.

7)  $L_m H_l$  boyutsuz parametresi ;

$$\frac{L_m}{H_l} = \frac{40}{10.81} = 3.7$$

8) Manifold boru çapı ;

Manifold boru dış çapı 63 mm koşulu için, Şekil 4.24'ten,  $C_s \cong \% 99.5$  bulunur. Bu değer,  $\% 97.5$ 'ten büyük olduğundan uygundur. Manifold boru hatları 63 mm dış çaplı, 6 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulmuştur.

9) Manifold boru hattında toplam yük kayıpları ;

Şekil 4.24'te, grafiğin üst bölümünde çizilen paralelin düşey eksenini kestiği noktadan  $h_{f_w} H_l = 0.07$  okunur. Bu durumda manifold boru hattında oluşan yük kayıpları;

$$h_{f_w} = 0.07 H_l = 0.07 \times 10.81 = 0.76 \text{ m bulunur.}$$

10) Manifold boyunca eğimden kaynaklanan yükseklik farkı :

$$h_{e_m} = S_m L_m = 0.01 \times 40 = 0.40 \text{ m (bayır aşağı)}$$

11)  $E_v$  ve  $L_v$  boyutsuz parametreleri ;

Çizelge 4.4'ten, manifold eğimi  $S_m = \% 1$  (bayır aşağı) için,  $E_v = 0.675$  ve  $L_v = 0.328$  bulunur.

12) Manifold giriş basıncı :

$$\begin{aligned} H_m &= H_t + E_v h_{f_m} \mp L_v h_{e_m} \\ &= 10.81 + 0.675 \times 0.76 - 0.328 \times 0.40 = 11.19 \text{ m} \end{aligned}$$

Bu projede, ana boru hattının bayır yukarı eğimindedir ve Şekil 4.31'den izleneceği gibi 1 ve 4 nolu manifold girişleri arasındaki yükseklik farkı,

$$h_y = 0.01 \times 120 = 1.20 \text{ m}$$

olacaktır. Yine bu iki manifold arasındaki olası yük kayıpları;

$$h_f = (1.5 / 100) \times 120 = 1.80 \text{ m}$$

civarında olacağı söylenebilir. Dolayısı ile, 1 ve 4 nolu manifold girişleri arasındaki basınç farklılığı 3.00 m'yi bulabilecektir. Bu değer, işletme basıncının  $\% 20$ 'si olan 2 m değerini geçmektedir. Bu nedenle, manifold boru hattı girişlerine basınç regülatörü konulması öngörülmüştür. Basınç regülatörü çıkış basınçları standarttır ve genellikle 5 m'nin (0.5 atm'nin) katları biçimindedir. Bu nedenle, basınç regülatörü çıkış basıncı 15 m alınmıştır. Bu durumda, manifold giriş basıncı da;

$$H_m = 15 \text{ m}$$

olacaktır.

13) Ana boru hattında istenen basınç ;

$$H_a = H_m + h_f = 15 + 1 = 16 \text{ m}$$

Ana boru hattından, manifold boru hattına geçiş elemanlarındaki yersel kayıpların,  $h_s = 1 \text{ m}$  olacağı varsayılmıştır.

**7. aşama :** Sistem debisi

Aynı anda bir işletme birimine su verileceğinden, ana boru hattı boyunca ütilecek sistem debisi,

$$Q = Q_a = 3.6 \text{ L/s}$$

olur.

**8. aşama :** Ana boru çapı

1) Pompanın yıllık çalışma süresi ;

$$T = \frac{Ad}{3.6Q} = \frac{19.2 \times 476.9}{3.6 \times 3.6} = 707 \text{ h}$$

2) Pompa biriminin fren gücü-saat başına düşen maliyeti ;

a) Manometrik yükseklik,

Bu aşamada, ana boru hattındaki yük kayıplarının  $h_{fB} = 1.5 \text{ m}/100 \text{ m}$  ve kontrol birimindeki yük kayıplarının  $h_{ks} = 5 \text{ m}$  olacağı yaklaşımla yapılmıştır.

$$h_{fB} = \frac{1.5}{100} \times 220 = 3.30 \text{ m}$$

$$h_{f_s} = S_a L_a = 0.01 \times 160 + 0 \times 60 = 1.60 \text{ m (bayır yukarı)}$$

$$H_m = H_a + H_{ks} + h_{fB} + h_{f_s} + h_{m}$$

$$= 16 + 3.30 + 5 + 1.60 = 31.90 \text{ m} = 32 \text{ m}$$

b) Fren gücü;

$$fBG = \frac{H_m Q}{75 \eta_p} = \frac{32 \times 3.6}{75 \times 0.80} = 1.9 \text{ BG}$$

Elektrik motorlu pompa söz konusu olduğundan, pompa randımanı  $\eta_p = \% 80$  alınmıştır.

e) Pompa biriminin tesis masrafı;

$H_m = 32 \text{ m}$  ve  $Q = 3.6 \text{ L/s}$  özelliklerindeki, elektrik motorlu santrifüj tipi pompanın tesis masrafları  $TM = 1.200 \text{ TL}$  olarak bulunmuştur.

d) Pompa biriminin fren gücü başına tesis masrafı;

$$TM_{fBG} = \frac{TM}{fBG} = \frac{1.200}{1.9} = 631.58 \text{ TL/fBG}$$

e) Pompa birimi servis ömrü;

Elektrik motoru için,  $n = 25$  yıl (Çizelge 3.8).

f) Faiz oranı;

Faiz oranı  $i = \% 10$  alınmıştır.

g) Amortisman faktörü;

$$AF = \frac{i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}} = \frac{0.10}{1 - \frac{1}{(1+0.10)^{25}}} = 0.11017$$

h) Pompa biriminin fren gücü-yıl başına sabit masrafları;

$$SM_{\text{BG-yıl}} = (AF)(TM_{\text{BG}}) = 0.11017 \times 631.58 = 69.58 \text{ TL/BG-yıl}$$

i) Pompa biriminin fren gücü-saat başına sabit masrafları;

$$SM_{\text{BG-h}} = \frac{SM_{\text{BG-yıl}}}{T} = \frac{69.58}{707} = 0.10 \text{ TL/BG-h}$$

j) Pompa biriminin fren gücü-saat başına enerji masrafları;

Elektrik motorlu pompalar söz konusu olduğundan;

$$EM_{\text{BG-h}} = 0.736 P_e = 0.736 \times 0.15 = 0.11 \text{ TL/BG-h}$$

Elektrik enerjisi birim fiyatı,  $P_e = 0.15 \text{ TL/kW-h}$ 'tir.

k) Pompa biriminin fren gücü-saat başına bakım masrafları;

Elektrik motorlu pompa söz konusu olduğundan;

$$BM_{\text{BG-h}} \cong 0 \text{ TL/BG-h}$$

alınmıştır.

l) Pompa biriminin fren gücü-saat başına toplam masrafları;

$$M_{\text{BG-h}} = SM_{\text{BG-h}} + EM_{\text{BG-h}} + BM_{\text{BG-h}} \\ = 0.10 + 0.11 + 0 = 0.21 \text{ TL/BG-h}$$

3) Pompa biriminin fren gücü-yıl başına düşen maliyeti;

$$M_{\text{BG-yıl}} = T(M_{\text{BG-h}}) = 707 \times 0.21 = 148.47 \text{ TL/BG-yıl}$$

4) Pompa biriminin hidrolik güç-yıl başına düşen maliyeti;

$$M_{\text{HG-yıl}} = \frac{M_{\text{BG-yıl}}}{\eta_p} = \frac{148.47}{0.80} = 185.59 \text{ TL/hBG-yıl}$$

5) Ekonomik boru çapı;

Ekonomik boru çapına ilişkin hesaplamalar, Çizelge 4.10' verilmiştir. Çizelgede;

(a) satırına, seçenek boru dış çapları yazılmıştır. Sistem debisi  $Q = 3.6 \text{ L/s}$  olduğundan, bu debide ortalama akış hızının  $0.5\text{-}2.0 \text{ m/s}$  arasında kaldığı boru dış çapları 63, 75 ve 90 mm'dir (Çizelge 3.10).

(b) satırındaki değerler, alternatif boru çaplarında, 100 m boru hattı uzunluğunun proje keşif bedelidir. 6 atm işletme basıncılı sert PVC borularda, proje keşif bedelleri, 63 mm dış çap için 3.00 TL/m, 75 mm dış çap için 4.20 TL/m ve 90 mm dış çap için 6.10 TL/m bulunmuş ve bu değerler TL/100 m değerine çevrilmiştir.

(c) satırına, ardışık çaplar arasındaki maliyet farkları yazılmıştır.

(d) satırına, boru hattı servis ömrü yazılmıştır. Çizelge 3.8'ten, gömülü PVC borular için bu değer  $n = 35$  yıldır.

(e) satırına, faiz oranı yazılmıştır. Projede, faiz oranı % 10 alınmıştır.

Çizelge 4.10. Örnek tasarıma ilişkin ana boru hattındaki kritik debi hesapları

a) Seçenek boru dış çapı, mm	63	75	90
b) 100 m boru uzunluğunun maliyeti, $10^9 \text{ TL}/100 \text{ m}$	300	420	610
c) Boru çapları arasındaki maliyet farkı, $10^9 \text{ TL}/100 \text{ m}$	120	190	
d) Boru hattı servis ömrü, yıl	35	35	
e) Faiz oranı, %	10	10	
f) Amortisman faktörü	0.10369	0.10369	
g) Boru çapları arasında yıllık maliyet farkı, $10^9 \text{ TL}/100 \text{ m-yıl}$	12.44	19.7	
h) Bir sonraki geniş boru çapının ekonomik olabilmesi için tasarrufu gereken hidrolik güç, BG	0.067	0.106	
i) Bir sonraki geniş boru çapının ekonomik olabilmesi için tasarrufu gereken yük kayıpları, $\text{m}/100 \text{ m}$	1.40	2.21	
j) Kritik debi, L/s	3.3	6.6	

(f) satırına, servis ömrü  $n = 35$  yıl ve faiz oranı  $i = \% 10$  için, (3.17) nolu eşitlikle hesaplanan amortisman faktörü yazılmıştır.

(g) satırındaki yıllık maliyet farkları, (c) satırındaki maliyet farklarının amortisman faktörü ile çarpılması sonucunda bulunmuştur.

(h) satırındaki değerler, (g) satırında hesaplanan yıllık maliyet farklarının,  $M_{hbc,yıl} = 185.59$  TL/hBG-yıl biçiminde hesaplanan, pompa biriminin hidrolik güç-yıl başına düşen maliyetine, bölünmesi ile elde edilmiştir.

(i) satırındaki değerler,

$$\Delta h_f = \frac{75 hBG}{Q} = \frac{75 x hBG}{3.6}$$

eşitliğinde,  $hBG$  yerine (h) satırındaki değerler konularak bulunmuştur.

(j) satırındaki kritik debi değerleri, Şekil 3.29'daki 6 atm işletme basınçlı sert PVC borular için hazırlanan yük kayıpları grafiğinden yararlanılarak bulunmuştur.

Projede, ana boru hattının tamamında iletilen debi değeri  $Q = 3.6$  L/s'dir. Bu değer, (j) satırındaki 3.3 L/s ile 6.6 L/s kritik debi değerleri arasında kalmaktadır. Dolayısıyla, ekonomik ana boru dış çapı 75 mm olacaktır. Başka bir deyişle, ana boru hattı, 75 mm dış çaplı, 6 atm işletme basınçlı, sert PVC borulardan oluşturulmuştur.

Ana boru çapı, doğrusal programlama modeli oluşturularak ta bulunabilir. Konuya ilişkin ayrıntılı bilgi, önceki bölümlerde yer alan yağmurlama sulama sistem tasarımında verilmiştir.

6) Ana boru giriş basıncı (kontrol birimi çıkış basıncı) :

Ana boru giriş basıncı, ana boru hattında istenen basınca, boru hattı boyunca oluşan yük kayıpları eklenerek ve elde edilen sonuç, eğimden kaynaklanan yükseklik farkı ile düzeltilerek bulunur.

a) Ana boru hattı boyunca oluşan yük kayıpları :

Sistem debisi  $Q = 3.6$  L/s, ana boru dış çapı 75 mm ve ana boru uzunluğu  $L_w = 220$  m için, Şekil 3.29'dan;

$$h_{s0} = \frac{1.25}{100} x 220 = 2.75 \text{ m}$$

b) Ana boru hattı boyunca eğimden kaynaklanan yükseklik farkı ;

$$h_{m0} = 0.01 x 160 + 0 x 60 = 1.60 \text{ m (bayır yukarı)}$$

e) Ana boru giriş basıncı ;

$$H = H_a + h_{fs} \pm h_{gs} = 16 + 2.75 + 1.60 = 20.35 m$$

#### 9. aşama : Kontrol birimi unsurları

Sisteme, sulama suyu, keson kuyudan alındığı için, su içerisinde kum ve yosun bulunabilecektir. Bu nedenle, kontrol birimi, sırasıyla, kumun tutulduğu hidrosiklon, yosunun tutulduğu kum-çakıl filtre tankı, bitki besin elementlerinin sulama suyuna karıştırıldığı gübre tankı ile kum-çakıl filtre tankından ve gübre tankından gelebilecek çok küçük parçacıkların tutulduğu elek filtreden oluşturulmuştur. Ana boru hatından manifolda geçiş noktaları arasında, önemli düzeyde basınç farklılığı olabileceğinden, basınç regülatörlerinin, manifold boru hattı girişlerine konulması öngörülmüştür.

Projede, ana boru dış çapı 75 mm, başka bir deyişle, 2.5" tir. Bu nedenle, kontrol birimi unsurları giriş-çıkış çaplarının en az 2.5" olması gerekir. Ancak, hazır kuruluşlar 2.5" çaplı kontrol birimi elemanı üretmemektedir (örneğin, teknik özellikleri Çizelge 4.5 - 4.8'de verilen kuruluşta olduğu gibi). Projede, kontrol birimi pompadan hemen sonra yerleştirileceği için, bu durumda, 3" kontrol birimi elemanları seçilerek sorun çözülür. Projede, teknik özellikleri Çizelge 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8'de verilen kuruluşun ürettiği unsurların kullanılacağı varsayılarak, sistem debisi olan  $Q = 3.6$  L/s kapasiteli aşağıdaki unsurlar seçilmiştir.

##### 1) Hidrosiklon özellikleri;

Çizelge 4.5'ten, giriş-çıkış çapı 3", gövde çapı 8" olan hidrosiklon seçilmiştir.

##### 2) Kum-çakıl filtre tankı özellikleri;

Çizelge 4.6'dan, giriş-çıkış çapı 3", gövde çapı 36" olan kum-çakıl filtre tankı seçilmiştir. İçerisine 1-2 mm çaplı bazalt kum-çakıl karışımı konacaktır.

##### 3) Gübre tankı hacmi;

Aynı anda bir işletme birimine gübre uygulanabilecektir. Bu nedenle, gübre uygulanacak alan  $A = 4.8$  da'dır. Yapılan incelemelerden, her sulamada verilecek en çok gübre miktarının,  $F = 4$  kg/da olduğu anlaşılmıştır. Bu verilere göre, tank hacmi; ilk aşamada (projelemede  $C = 0.5$  kg/L alınır);

$$V = \frac{FA}{C} = \frac{4 \times 4.8}{0.5} = 38.4 L$$

bulunmuş ve piyasada bu değere en yakın bir büyük hacim olan, 40 L kapasiteli gübre tankı seçilmiştir.

#### 4) Elek filtre özellikleri;

Çizelge 4.7'den, giriş-çıkış çapı 3", tank çapı 6" olan elek filtre seçilmiştir. Damlatıcı akış yolu çapı 0.48 mm olduğundan ve elek filtrede delik çapı damlatıcı akış yolu çapının en çok % 25'i olabileceğinden, elek filtre delik çapı, en çok,  $0.25 \times 0.48 = 0.12$  mm olabilecektir. Bu değere göre, Çizelge 4.9'dan 120 mesh elek filtre seçilmiştir.

#### 5) Basınç regülatörü özellikleri;

Bu örnekte, basınç regülatörlerinin manifold boru hatlarının başlangıcına konması öngörülmüştür. Manifold boru hattı, 63 mm dış çaplı (2") borulardan oluşturulmuştur. Çizelge 4.8'den izleneceği gibi, manifold debisi  $Q_w = 3.6$  L/s için giriş-çıkış çapı 2", çıkış basıncı 1.5 atm olan basınç regülatörü kullanılacaktır.

#### 6) Kontrol biriminde yük kayıpları;

Şekil 4.29, 4.30 ve 4.31'den yararlanarak,  $Q = 3.6$  L/s ve yukarıda seçilen modeller için yük kayıpları;

Unsur	Özellik	Yük kayıpları
Hidrosiklon	Giriş-çıkış çapı 3", gövde çapı 8"	0.70 m
Kum-çakıl filtre tankı	Giriş-çıkış çapı 3", tank çapı 36"	0.40 m
Gübre tankı	40 L hacminde	-
Elek filtre	Giriş-çıkış çapı 3", tank çapı 6"	0.15 m
Bağlantı elemanları	3" galvaniz ve Ø90 sert PE malzeme	1.00 m

$$h_{f,ku} = 2.25 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$$

Burada, kontrol birimi unsurlarını birbirine bağlayan elemanlardaki yersel yük kayıpları için, yaklaşık 1.00 m kadar bir değer ilave edilmiş ve toplam m'nin katına yuvarlatılmıştır.

#### 10. aşama : Pompa birimi

##### 1) Manometrik yükseklik;

Ana boru giriş basıncına (H), kontrol birimi yük kayıpları ( $h_{f,ku}$ ) ve dinamik emme yüksekliği eklenerek bulunmuştur.

$$H_m = H + h_{f,ku} + H_{em} = 20.35 + 2.00 + 6 = 28.35 \text{ m} \approx 28 \text{ m}$$

##### 2) Uygun pompa birimi;

Piyasadan,  $H_m = 28$  m ve  $Q = 3.6$  L/s özelliklerine sahip, elektrik motorlu, yatay milli, santrifüj tipi pompaların karakteristik eğrileri incelenir ve en yüksek randımana sahip en ucuz pompa seçilir.

Tasarım sonuçlarına göre, ana boru hattından manifold ve lateral boru hatlarına geçiş elemanlarının döşeme planı Şekil 4.32'te, kontrol birimi döşeme planı ise Şekil 4.33'te verilmiş ve her elemanın özelliği plan üzerine yazılmıştır.

#### 4.9. TOPLU DAMLA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI

Çok sayıda tarım işletmesine hizmet götüren ve her tarım işletmesinde damla ya da ağaç altı mikro yağmurlama sulama yönteminin uygulandığı toplu damla sulama sistemlerinin tasarım, toplu yağmurlama sulama sistemlerinin tasarım bölümünde ayrıntıları ile açıklandığı gibi yapılır. Konuya bu bölümde bir kez daha girilmeyecektir. Yalnız, alman debilerinin saptanması ve almanlar üzerindeki basınç regülatörleri çıkış basıncını saptamak amacıyla bireysel damla sulama sistem tasarımlarının yapılacağı farklı büyüklük gruplarındaki örnek tarım işletmelerinin seçimi, tarla bitkileri ve sebzeler, bağ, farklı sıra aralığına sahip meyve ağaçlarının bulunduğu tarım işletmeleri için ayrı yapılır.

Toplu damla sulama sistemleri genellikle istek işletme yöntemine göre tasarlanır. İstek işletme yöntemine göre tasarımda, yalnızca % 99 başarı olasılığı (işletim niteliği katsayısı,  $U(P) = 2.324$ ) göz önüne alınır. Su kaynağı kısıtlı olsa da tasarımın % 95 başarı olasılığına göre yapılması önerilmemektedir. Toplu damla sulama sistemlerinin nöbet (rotasyon) yöntemine göre ancak, proje alanındaki tüm tarım işletmelerinde aynı tarım şekli, örneğin bağ ya da sıra aralıkları ve su tüketimleri birbirine kabul edilebilecek kadar yakın olan meyve ağaçları söz konusu olduğunda işletilebilir. Proje alanındaki tarım işletmelerinde, uygulanacak sulama suyu miktarı, sulama aralığı ve sulama süresi farklı olan bitkilerin yetiştirilmesi söz konusu olduğunda toplu damla sulama sisteminin nöbet yöntemine göre işletilmesi çok zor, hatta olanaklıdır.

#### 4.9. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ

1) Planı Şekil 4.34'te verilen, 100 x 200 m boyutlarında ve  $A = 20$  da büyüklüğündeki sebze bahçesinin damla yöntemi ile sulanması istenmektedir.

Ortalama topografik eğim, kuzey-güney doğrultusunda (uzun kenar boyunca) % 0.5 ve batı-doğu doğrultusunda (kısa kenar boyunca) % 0.2'dir.

Alanda açılan iki adet profilden alınan toprak örneklerinin analizi ve ayrıca yapılan infiltrasyon testleri sonucunda, ortalama değerler olarak;

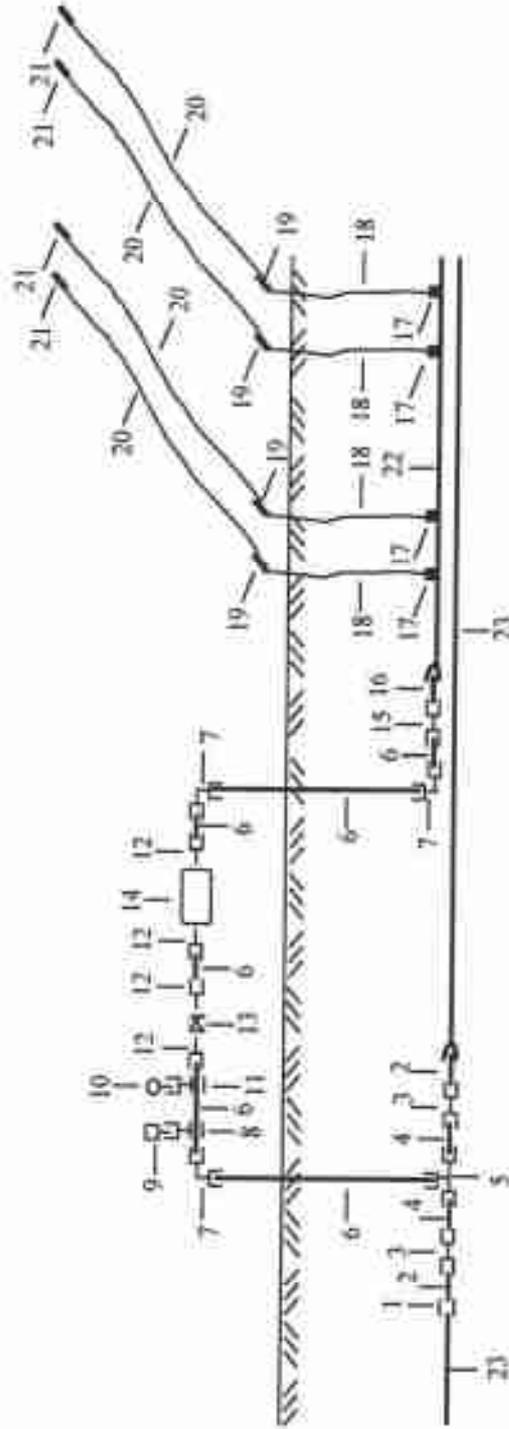
- Toprak bünye sınıfı : SL (kumlu tın),
- Kullanılabilir su tutma kapasitesi :  $d_k = 120$  mm/m ve
- Su alma hızı :  $I = 16.5$  mm/h

biçiminde elde edilmiştir. Analiz değerlerinden ve profillerin incelenmesinden toprakların derin olduğu, herhangi bir tuzluluk, sodyumluluk ve drenaj sorununun bulunmadığı belirlenmiştir.

- 1 475 sert PVC kayar manifold
- 2 475 sert PVC adaptör
- 3 475 sert PE kaplin dışı adaptör
- 4 475 sert PE boru parçası
- 5 475/63 sert PE kaplin T
- 6 463 sert PE boru parçası
- 7 463 sert PE kaplin 90° dirsek
- 8 463/1" sert PE jant kolye

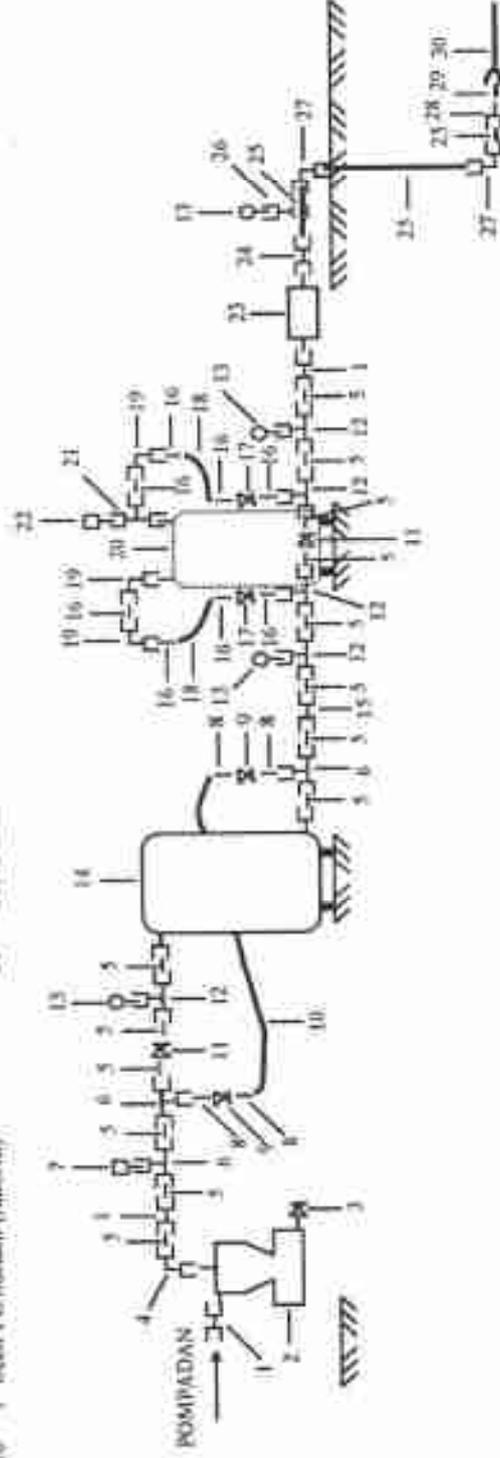
- 9 1" hava boşaltma aracı
- 10 6 kg/cm<sup>2</sup> manometre
- 11 463/1.2" sert PE jant kolye
- 12 463 sert PE kaplin erkek adaptör
- 13 2" küresel vana (döküm)
- 14 2" basınç regülatörü
- 15 463 sert PE kaplin dışı adaptör
- 16 463 sert PVC adaptör

- 17 416 lateral bağlantısı (start-connector)
- 18 416 PE damla borusu (damlatıcılar)
- 19 416 sert PE tüp
- 20 416 PE lateral boru hattı (damlatıcılar)
- 21 416 sert PE koruma
- 22 463 sert PVC manifold boru hattı
- 23 475 sert PVC ana boru hattı

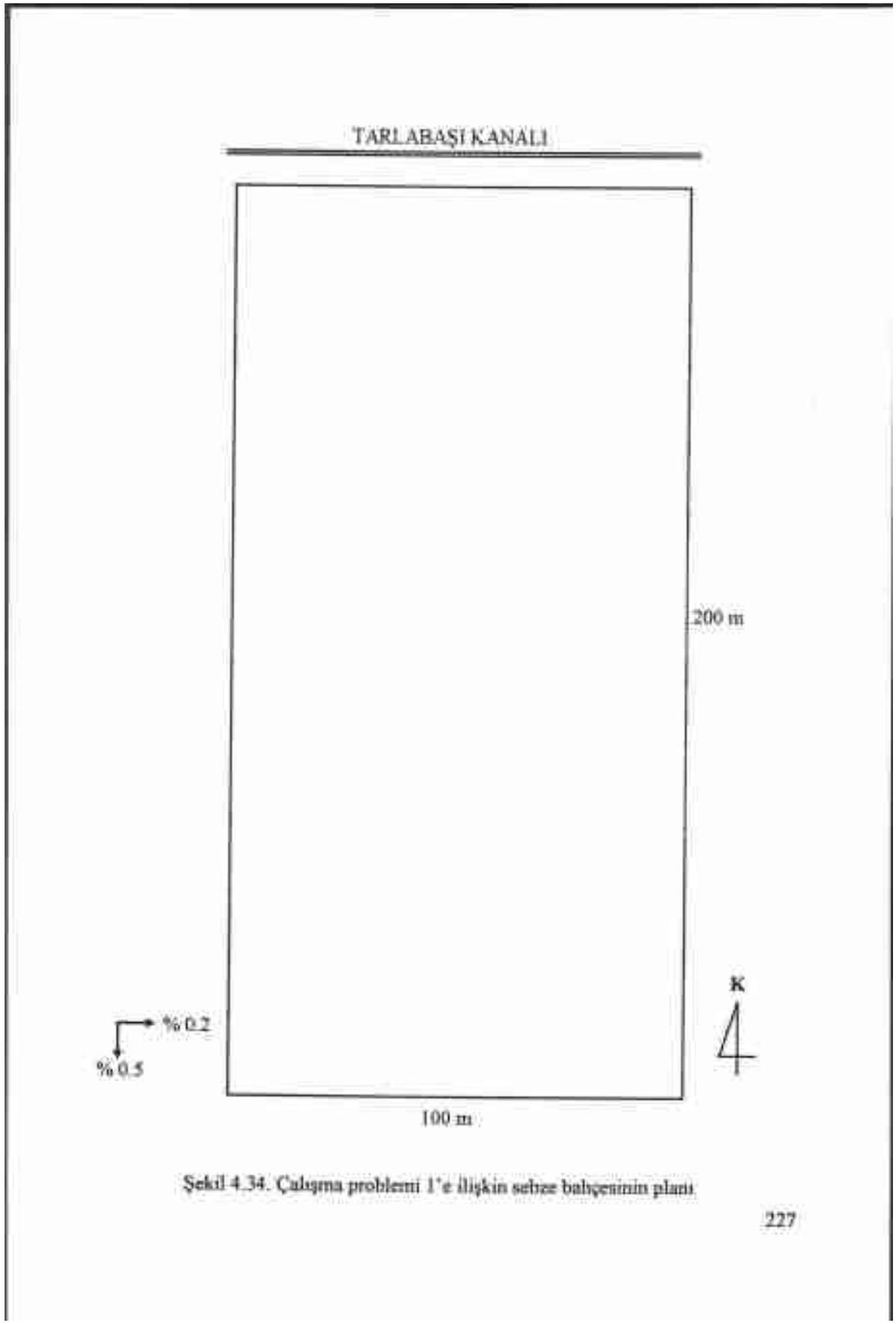


Şekil 4.32. Ana boru hattından manifold ve lateral boru hatlarına geçiş elemanları düzenleme planı

- |    |                             |    |                                |    |                                  |
|----|-----------------------------|----|--------------------------------|----|----------------------------------|
| 1  | 3" galvaniz konik rakor     | 11 | 3" küresel vana (döküm)        | 21 | 1/2"/1/2" galvaniz T             |
| 2  | 3" hidrostatik              | 12 | 3"/1/2" galvaniz T             | 22 | 1/2" hava boşaltma aracı         |
| 3  | 3/4" küresel vana (döküm)   | 13 | 6 kg/cm <sup>2</sup> manometre | 23 | 3" elek filtre                   |
| 4  | 3" galvaniz 90° dirsek      | 14 | 3" kum-çakıl filtre tankı      | 24 | Ø90 sert PE kaplin sifai adaptör |
| 5  | 3" galvaniz nipel           | 15 | 3" piring çekvalf              | 25 | Ø90 sert PE boru parçası         |
| 6  | 3"/1" galvaniz T            | 16 | 1/2" galvaniz nipel            | 26 | Ø90/1/2" sert PE prize kolye     |
| 7  | 1" hava boşaltma aracı      | 17 | 1/2" küresel vana (döküm)      | 27 | Ø90 sert PE kaplin 90° dirsek    |
| 8  | 1" galvaniz nipel           | 18 | 1/2" peşaf hortum (rakorlu)    | 28 | Ø90 sert PVC adaptör             |
| 9  | 1" küresel vana (döküm)     | 19 | 1/2" galvaniz 90° dirsek       | 29 | Ø90/75 sert PVC redüksiyon       |
| 10 | 1" bezi PE hortum (rakorlu) | 20 | Galvaniz tankı                 | 30 | Ø75 sert PVC ana boru hattı      |



Şekil 4.33. Kontrol birimi düzenleme plattı



Şekil 4.34. Çalışma problemi 1'e ilişkin sebze bahçesinin planı

İşletme sahibi, alanda, domates, biber ve taze fasulye tarımı yapmaktadır. Belirli bir yılda, bu bitkilerden yalnızca biri yetiştirildiği gibi, her üçü de aynı anda yetiştirilebilecektir. Yerinde yapılan incelemeler ile bitki su tüketimi ve sulama suyu gereksinimi hesaplamaları sonucunda elde edilen bitki sıra aralıkları, büyüme mevsimi boyunca maksimum bitki su tüketimi değerleri ve mevsimlik toplam sulama suyu gereksinimleri Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Alana su, bahçenin hemen kuzey sınırından geçen ve bir açık kanal sulama sistemine ait olan, tarla başı kanalından alınacaktır. Sulama mevsimi boyunca kanalda sürekli su bulundurulmaktadır. Alınan su örneklerinin analizi sonucunda, sulama suyu kalite sınıfı C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> olarak saptanmıştır. Bunun yanında, su içerisinde düşük düzeyde sediment bulunmaktadır.

Alanda elektrik enerjisi bulunmamaktadır. Bu nedenle, sisteme su diesel motorlu, yatay milli santrifuj tipi pompa ile alınacaktır.

Proje alanı, yarı kurak iklim kuşağı içersindedir.

İşletme sahibi, günde en çok 12 saat sulama yapmak istemektedir.

2) Planı, Şekil 4.35'te verilen bağm damla yöntemiyle sulanması istenmektedir. Bağ, yamaç araziye tesis edilmiştir. Her biri, 80 x 162 m boyutlarındaki 4 adet parselden oluşmaktadır. Parseller arasında, 8 m genişliğinde yol bulunmaktadır.

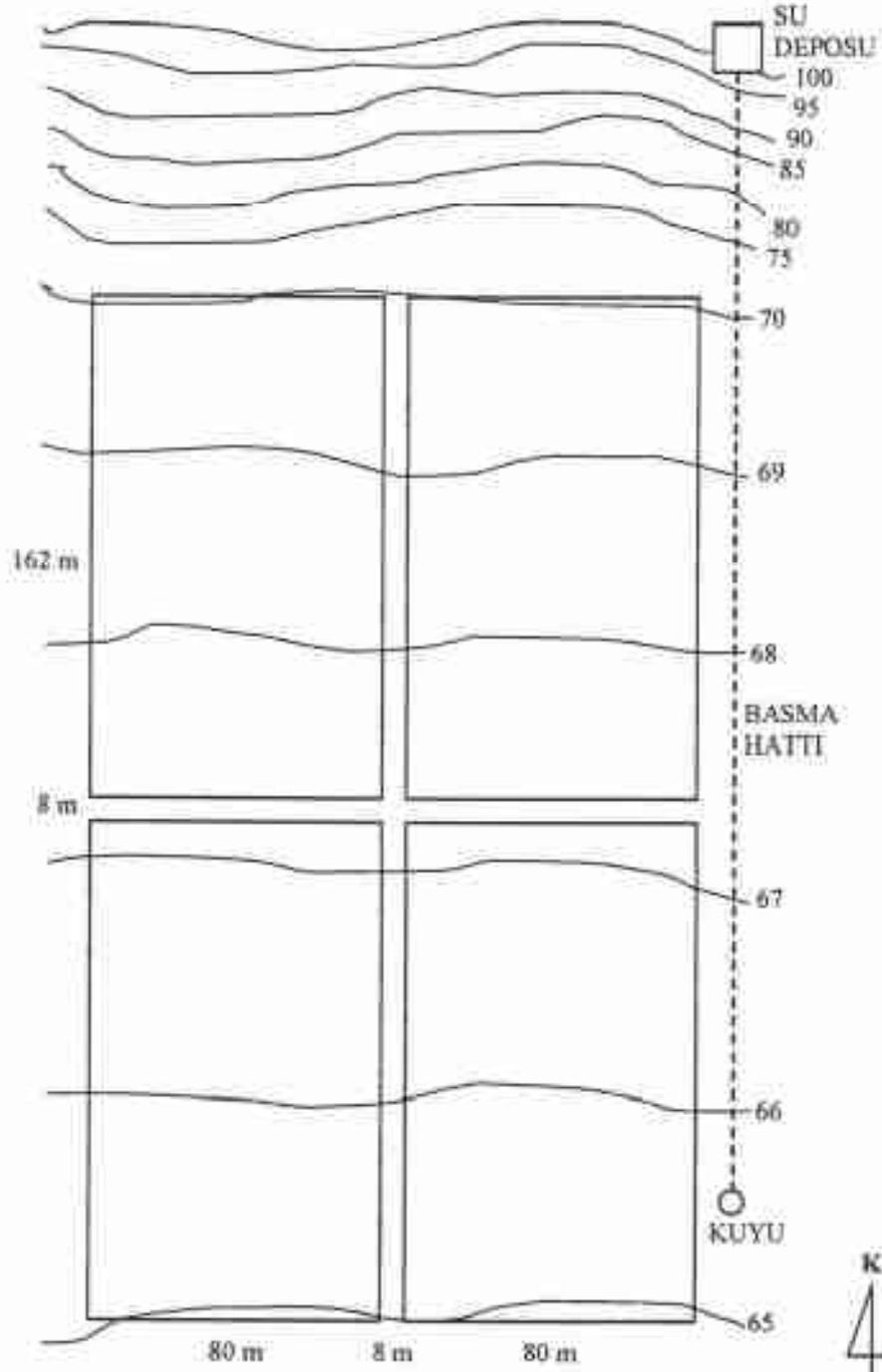
Ortalama topografik eğim, kuzey-güney doğrultusunda (parsellerin uzun kenarı boyunca) % 1.6 ve batı-doğu doğrultusunda (parsellerin kısa kenarı boyunca) eğimsizdir (% 0).

Alanda, her parselde açılan birer adet profilden alınan toprak örneklerinin analizi ve ayrıca yapılan infiltrasyon testleri sonucunda, ortalama değerler olarak;

- Toprak bünye sınıfı : CL (killi tın),
- Kullanılabilir su tutma kapasitesi :  $d_k = 158.3$  mm/m

Çizelge 4.11. Çalışma problemi 1'e ilişkin bitki özellikleri

Bitki cinsi	Sıra aralığı, $S_r$ (m)	Etkili kök derinliği, $D$ (m)	Maksimum bitki su tüketimi, $ET$ (mm/gün)	Mevsimlik toplam sulama suyu gereksinimi, $d_s$ (mm)
Domates	1.00	0.90	7.1	617.7
Biber	0.60	0.60	6.2	465.0
Taze fasulye	0.60	0.60	6.2	335.8



Şekil 4.35. Çalışma problemi 2'ye ilişkin bağımlı planı

- Su alma hızı :  $I = 5.1$  mm/h

biçiminde elde edilmiştir. Analiz değerlerinden ve profillerin incelenmesinden toprakların derin olduğu, herhangi bir tuzluluk, sodyumluluk ve drenaj sorununun bulunmadığı belirlenmiştir.

Tarımsal teknik açısından, omca sıraları doğu-batı doğrultusundadır (parsellerin kısa kenarı boyunca). Omca dikim aralıkları  $S_n \times S_b = 3 \times 2$  m'dir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, sulama suyuna en çok gereksinim duyulan periyotta su tüketimi  $ET = 5.7$  mm/gün olarak belirlenmiştir.

Alanın hemen güney doğusunda bir derin kuyu bulunmaktadır. Kuyudan emniyetle alınabilecek debi  $Q = 5$  L/s dir. İşletme sahibi, alanın kuzey doğusundaki tepe üzerine,  $100$  m<sup>3</sup> kapasiteli bir betonarme gömme depo yaptırmıştır. Ayrıca, kuyudan depoya su dalgıç tipi pompa ile basılmaktadır. Pompa, kuyuya yerleştirilmiş ve hasma hattı döşenmiş durumdadır. Proje alanına sulama suyu, gömme depodan alınacak ve gerekli işletme basıncı yerçekimi (kot farkı) ile sağlanacaktır.

Alınan su örneklerinin analizi sonucunda, sulama suyunun elektriksel iletkenlik değeri,  $EC \times 10^6$  ( $25$  °C) =  $1.060$   $\mu$ mhos/cm ve kalite sınıfı C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> olarak saptanmıştır.

Proje alanına en yakın meteoroloji istasyonundan alınan değerlere göre, yıllık toplam yağışın uzun yıllar ortalaması  $453.7$  mm'dir ve dolayısıyla, alan, yarı kurak iklim kuşağı içerisinde yer almaktadır.

İşletme sahibi, günde, pompanın çalışma süresi olan  $20$  saat kadar sulama yapabilecektir.

## **AĞAÇ ALTI MİKRO YAĞMURLAMA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI**

### **5.1. AĞAÇ ALTI MİKRO YAĞMURLAMA SULAMA YÖNTEMİ**

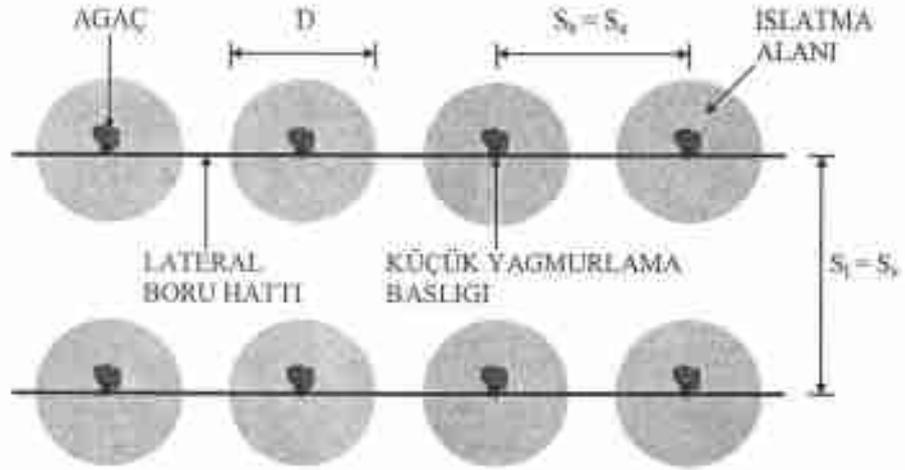
Ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemi, meyve ağaçlarının sulanmasında kullanılır. Bu yöntemde, her ağacın altına bir adet küçük yağmurlama başlığı yerleştirilir. Yalnızca, ağacın altında belirli bir kesim ıslatılır. Ağaçlar arasında ıslanmayan kuru alan kalır. Sulama suyu, kaynaktan yağmurlama başlıklarına kadar basınçlı boru hatları ile iletilir. Yağmurlama başlıklarında su basınç altında püskürtülerek atmosfere verilir. Su buradan doğal yağışa benzer biçimde toprak yüzeyine düşer ve infiltrasyonla toprak içerisine girer. Böylece, istenen miktarda sulama suyu kök bölgesinde depolanır.

Meyve ağaçlarının sulanmasında, öncelikle damla sulama yöntemi göz önüne alınır. Damla sulama yöntemi ile, her ağaç sırasına ikili lateral tertip biçiminde bile yeterli ıslatma oranının elde edilemediği geniş dikim aralıklarına sahip meyve ağaçlarında, sulama, ağaç altı mikro yağmurlama yöntemi ile yapılır.

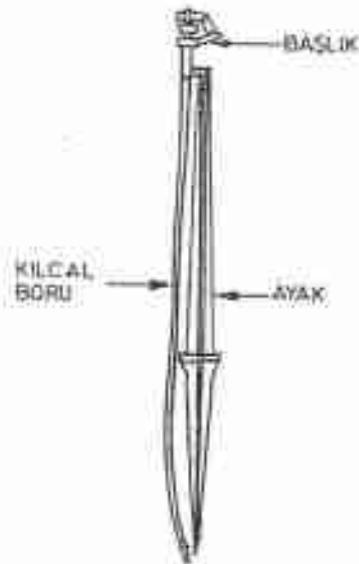
Ağaç altı mikro yağmurlama sulama sistemleri, damla sulama sistemleri ile hemen aynıdır. Tek fark, her ağaç sırasına bir adet lateral boru hattının döşenmesi ve lateral boru hattı üzerine, damlatıcılar yerine, her ağacın altına bir adet küçük yağmurlama başlığının yerleştirilmesidir (Şekil 5.1). Diğer bir deyişle, tipik bir ağaç altı mikro yağmurlama sulama sistemi, sırasıyla, pompa birimi, kontrol birimi, ana boru hattı, manifold boru hatları, lateral boru hatları ve küçük yağmurlama başlıklarından oluşur. Diğer sistem unsurları hakkında damla sulamada bilgi verildiğinden, burada yalnızca küçük yağmurlama başlıkları üzerinde durulacaktır.

### **5.2. KÜÇÜK YAĞMURLAMA BAŞLIKLARI**

Meyve ağaçlarının sulanmasında kullanılan küçük yağmurlama başlıkları döner tipte olabildiği gibi, sabit tipte (sprey, mikro-jet) de olabilmektedir. Bu tip başlıklar genellikle sert plastikten yapılmaktadır. Başlık, toprağa saplanan plastik ya da metal ayak üzerine yerleştirilir. Genellikle, lateral boruya olan bağlantı, kılcak bir boru ile yapılır (Şekil 5.2). Ağaç yapraklarını ıslatmamak için, su püskürtme açılı, son derece düşüktür.



Sekil 5.1. Ağaç altı mikro yağmurlama sulama sisteminde lateral tertip biçimi.



Sekil 5.2. Küçük yağmurlama başlığı

Küçük yağmurlama başlıklarında ıslatma açısı çoğunlukla 360°'dir. Ancak, gövdenin ıslatılması sakıncalı olan meyve ağaçlarında, ıslatma açısı 310°-320° derece olan başlıklar kullanılır (Şekil 5.3).

Küçük yağmurlama başlıklarında, meme çapı 0.8-2.5 mm, işletme basıncı 1-2.5 atm, başlık debisi 20-200 L/h ve ıslatma çapı 2-10 m kadar olabilmektedir. İyi bir su dağılımı açısından başlıkların en az 1.5 atm işletme basıncında çalıştırılması önerilmektedir. Sistem basıncının pompa birimi ile sağlandığı koşullarda, işletme basıncı 1.5 atm alınır.

Eğimin yüksek ya da dalgalı topografyanın söz konusu olduğu koşullarda kullanılmak üzere kendinden basınç regülatörlü küçük yağmurlama başlıkları da bulunmaktadır.

### 5.3. AĞAÇ ALTI MİKRO YAĞMURLAMA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI

Ağaç altı mikro yağmurlama sulama sistemlerinin tasarımında, sistem tertibi, lateral ve manifold boru çapının saptanması, ekonomik ana boru çapının bulunması, kontrol birimi ve pompa biriminin seçilmesi, damla sulama sistemlerinin tasarımında açıklandığı gibi yapılır. Yalnızca, uygun yağmurlama başlığının seçilmesi farklılık göstermektedir.

Ağaç altı mikro yağmurlama sulama sistemlerinde ıslatılan alan oranı,

$$P = \frac{\pi D^2}{4S_x S_y} \quad (5.1)$$

eşitliği ile hesaplanır. ıslatma açısı 360° den küçük olduğunda, eşitlik  $\alpha^\circ/360^\circ$  ile düzeltilir.

$$P = \frac{\alpha^\circ}{360^\circ} \frac{\pi D^2}{4S_x S_y} \quad (5.2)$$

Bu eşitliklerde;

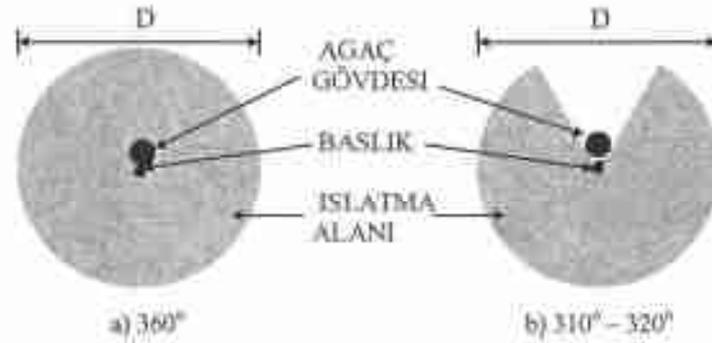
$P$  = ıslatılan alan oranı,

$D$  = ıslatma çapı, m,

$S_x$  = Sıra üzerinde ağaç aralığı, m ve

$S_y$  = Ağaç sıra aralığı, m ve

$\alpha$  = ıslatma açısıdır.



Şekil 5.3. Küçük yağmurlama başlığında ıslatma açisi

Ağaç altı mikro yağmurlama sulama yönteminde, ıslatılan alan oranının, en az, kurak bölgelerde % 35, yarı kurak bölgelerde % 30 ve nemli bölgelerde % 25, en çok ta % 50 olması istenir.

Örneğin, dikim aralıkları  $S_x S_y = 8 \times 6$  m olan meyve ağaçlarında, ıslatma çapı  $D = 5.4$  m olan başlık kullanıldığında,  $360^\circ$  ıslatma açisi için ıslatılan alan oranı;

$$P = \frac{\pi D^2}{4S_x S_y} = \frac{3.14 \times (5.4)^2}{4 \times 6 \times 8} = 0.48$$

ve ıslatma açisi  $\alpha = 310^\circ$  için ıslatılan alan oranı;

$$P = \frac{\alpha}{360} \times \frac{\pi D^2}{4S_x S_y} = \frac{310}{360} \times \frac{3.14 \times (5.4)^2}{4 \times 6 \times 8} = 0.41$$

bulunur.

Diğer yandan, ön projelene faktörleri içerisinde, yağmurlama hızı;

$$I_r = \frac{4q}{\pi D^2} \quad (5.3)$$

esitliği ile hesaplanır. ıslatma açisi  $360^\circ$  den küçük olduğunda esitlik  $360^\circ / \alpha$  ile düzeltilir.

$$I_r = \frac{360}{\alpha} \times \frac{4q}{\pi D^2} \quad (5.4)$$

Ağaç altı mikro yağmurlama sulama sistemlerinde sulama süresi :

$$T_s = \frac{d_s}{I_p} \quad (5.5)$$

eşitliği ile saptanır. Bu eşitliklerde;

$I_p$  = Yağmurlama hızı, mm/h,

$q$  = Başlı debisi, L/h,

$D$  = Başlık ıslatma çapı, m,

$\alpha$  = ıslatma açısı,

$T_s$  = Sulama süresi, h ve

$d_s$  = Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm'dir.

### 5.3.1. Uygun Yağmurlama Başlığının Seçilmesi

Ağaç altı mikro yağmurlama sulama sistemlerinde, koşullara en uygun yağmurlama başlığı, üretici kuruluşların verdiği teknik bilgilerden yararlanarak seçilir. Her üretici kuruluş, değişik meme çapı ve işletme basınçlarında, başlık debisi ve ıslatma çaplarını içeren bir teknik çizelgeyi kullanıcılara vermekle yükümlüdür. Böyle bir teknik çizelge, örnek olmak üzere, Çizelge 5.1'de görülmektedir.

Yukarıda verilen (5.3) ya da (5.4) nolu eşitliklerle hesaplanacak yağmurlama hızı, toprağın su alma hızına eşit ya da küçük olmalıdır ( $I_p \leq I$ ). Aksi durumda, yüzey akış ve erozyon sorunu ile karşılaşılabilir.

Ayrıca, (5.5) nolu eşitlikle bulunacak sulama süresi, günlük sulama yapılabilecek süreyi aşmamalıdır ( $T_s \leq T_g$ ). Sulama süresi, günlük sulama süresine, yarısına, üçte birine, ... eşit olduğunda sistem debisi en düşük değerde olur. Bu ise sistem maliyetini azaltır.

Ağaç altı mikro yağmurlama sulama yönteminde, tam gelişme durumunda en çok ağaç taç izdüşümünün ıslatılması istenir. Tarımsal teknik açısından, genellikle, sıra üzerindeki ağaç aralığı taç izdüşüm çapına eşit olduğundan, başlık ıslatma çapı en çok sıra üzerindeki ağaç aralığına eşit alınabilir. Ancak, ağaç altı mikro yağmurlamada ıslatılan alan oranı % 50'yi geçmemelidir.

Ağaç altı mikro yağmurlama sulama sistemlerinde uygun yağmurlama başlığının seçilmesi ve ön projelendirme faktörlerinin hesaplanmasına ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.1. Küçük yağmurlama başlığına ilişkin örnek teknik çizelge

Meme çapı (mm)	İşletme basıncı, $h_p$ (atm)	Başlık debisi, $q$ (L/h)	İslatma çapı, $D$ (m)
1,0	1,0	32	4,8
	1,5	40	5,4
	2,0	47	6,3
	2,5	53	6,8
1,3	1,0	52	5,0
	1,5	64	6,0
	2,0	75	6,8
	2,5	83	7,0
1,5	1,0	77	5,2
	1,5	95	6,0
	2,0	110	6,7
	2,5	123	7,2

**Örnek :**

**Verilenler :**

- Kiraz bahçesi
- Ağaç dikim aralıkları :  $S_x \times S_y = 8 \times 6$  m
- Etkili kök derinliği :  $D = 120$  cm
- Büyüme mevsimi boyunca en yüksek bitki su tüketimi :  
 $ET = 6,0$  mm/gün
- Toprak bünye sınıfı : Tın (L)
- Kullanılabilir su tutma kapasitesi :  $d_k = 130$  mm/m
- Su alma hızı :  $l = 9$  mm/h
- İşletme basıncı pompa birimi ile sağlanacaktır.
- Günde en çok 15 h sulama yapılabilir (  $T_p = 20$  h )
- Proje alanı yarı kurak iklim bölgesindedir.
- Ağaç gövdesinin ıslatılması istenmemektedir. Bu nedenle, ıslatma açısı,  $\alpha = 320^\circ$  olan başlıklar kullanılacaktır.

**İstenenler :**

- Uygun yağmurlama başlığı
- Ön projelendirme faktörleri

### **Çözüm :**

#### **1) Damla sulama yöntemi uygulama olanakları;**

Meyve bahçelerine modern sulama teknolojilerinin uygulanması düşünüldüğünde, önce damla sulama yönteminin uygulanması olanakları araştırılır. Eğer, damla yöntemiyle, her ağaç sırasına iki lateral boru hattı döşendiğinde bile yeterli ıslatma oranı elde edilemezse, ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemi tercih edilir.

Verilen örnekte, toprak bünye sınıfı tündür. Başka bir deyişle, orta bünyeli toprak söz konusudur ve bu tip topraklarda göz önüne alınabilecek en yüksek damlatıcı debisi  $q = 6$  L/h tr. Damlatıcı debisi  $q = 6$  L/h seçilse ve her ağaç sırasına iki lateral boru hattı döşense bile, damlatıcı aralığı;

$$S_d = 0.9 \sqrt{\frac{q}{I}} = 0.9 \times \sqrt{\frac{6}{9}} = 0.73 \text{ m}$$

ve ıslatılan alan oranı,

$$P = 1.2 \frac{2S_d}{S_s} = 1.2 \times \frac{2 \times 0.73}{8.00} = 0.22$$

biçiminde elde edilir. Görüldüğü gibi, bu değer yarı kurak iklim bölgeleri için öngörülen  $P \geq 0.30$  koşuluna sağlamamaktadır. Damla sulama yöntemiyle yeterli ıslatma oranı elde edilemediğinden, ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemi üzerinde durulacaktır.

#### **2) Uygun yağmurlama başlığı;**

##### **a) İşletme basıncı;**

Gerekli basınç pompa birimi ile sağlandığından, işletme basıncı,

$$h_o = 1.5 \text{ atm} = 15 \text{ m seçilmiştir.}$$

##### **b) ıslatma çapı sınırları**

Sıra üzerinde ağaç aralığı  $S_s = 6$  m olduğundan, başlık ıslatma çapının 6 m'nin üzerinde olmaması gerekir. Yarı kuşak iklim kuşağı için, ıslatılan alan oranının  $P \geq 0.30$ , bunun yanında  $P \leq 0.50$  olması istenir.

$$P = \frac{\alpha^\circ}{360^\circ} \frac{\pi D^2}{4S_a S_s}$$

$$P = 0.30 \text{ için}$$

$$0.30 = \frac{320}{360} \times \frac{3.14 \times D^2}{4 \times 8 \times 6}$$

$$D = 4.54 \text{ m}$$

$P = 0.50$  için

$$0.50 = \frac{320}{360} \times \frac{3.14 \times D^2}{4 \times 8 \times 6}$$

$$D = 5.86 \text{ m}$$

Bu değerlere göre, seçilecek yağmurlama başlığında ıslatma çapı, 4.54 – 5.86 m arasında olmalıdır.

c) Uygun yağmurlama başlığı

Teknik özellikleri Çizelge 5.1'de verilen küçük yağmurlama başlıkları kullanılırsa, 1.5 atm işletme basıncında, hesaplanan ıslatma çapı sınırlarına göre, yalnızca debisi  $q = 40$  L/h olan başlık istenen koşulları sağlamaktadır. Sonuçta, verilen örnek için, işletme basıncı  $h_s = 1.5 \text{ atm} = 15 \text{ m}$ , debisi  $q = 40$  L/h ve ıslatma çapı  $D = 5.40 \text{ m}$  olan başlık seçilir.

Saptanan ıslatma çapı sınırlarında, istenen koşulu sağlayan birden fazla başlık söz konusu olursa, en düşük debiye sahip olanını seçmek daha doğru olur.

d) Islatılan alan oranı

$$P = \frac{\alpha^\circ}{360^\circ} \frac{\pi D^2}{4 S_x S_y} = \frac{320}{360} \times \frac{3.14 \times (5.40)^2}{4 \times 8 \times 6} = 0.48$$

e) Yağmurlama hızı,

$$I_r = \frac{360^\circ}{\alpha^\circ} \frac{4q}{\pi D^2} = \frac{360}{320} \times \frac{4 \times 40}{3.14 \times 5.4^2} = 2.0 \text{ mm/h} < I - 9 \text{ mm/h} \text{ uygun}$$

3) Her sulamada uygulanacak maksimum net sulama suyu miktarı;

Ağaç altı mikro yağmurlama yöntemiyle sulanan meyve ağaçlarında kullanılabilir su tutma kapasitesinin %40'ı tüketildiğinde sulamaya başlanır ( $R_s = 0.40$ ),

$$d_{\text{net}} = d_s DR_s P = 130 \times 1.20 \times 0.40 \times 0.48 = 30.0 \text{ mm}$$

- 4) Ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemi altında bitki su tüketimi;

$$T = ET \frac{P_e}{85} = 6.0 \times \frac{70}{85} = 4.9 \text{ mm gün}$$

Ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemi için, tasarım aşamasında, maksimum örtü düzeyinde gölgelenen alan yüzdesi  $P_e = \% 70$  alınabilir.

- 5) Maksimum sulama aralığı;

$$SA_{max} = \frac{d_{nmax}}{T} = \frac{30.0}{4.9} = 6 \text{ gün}$$

- 6) Proje sulama aralığı;

$$SA = SA_{max} = 6 \text{ gün seçilmiştir.}$$

- 7) Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı;

$$d_n = T(SA) = 4.9 \times 6 = 29.4 \text{ mm}$$

- 8) Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı;

$$d_t = \frac{d_n}{E_s} = \frac{29.4}{0.70} = 42.0 \text{ mm}$$

Ağaç altı mikro yağmurlama sulama sistemlerinde, tasarım aşamasında, su uygulama randımanı  $E_s = \% 70$  alınır.

- 9) Sulama süresi;

$$T_s = \frac{d_t}{I_s} = \frac{42.0}{2.0} = 21 \text{ h}$$

Görüldüğü gibi, sulama süresi  $T_s = 21 \text{ h}$ , günlük sulama süresi olan  $T_g = 15 \text{ h}$  değerini aşmaktadır ve uygun değildir. Sorun, başka üretici kuruluşların yağmurlama başlıkları incelenerek ve öngörülen  $q = 40 \text{ L/h}$  başlık debisini artırarak çözülebildiği gibi, 6. aşamada belirlenen sulama süresini azaltarak sorunu çözmek daha iyi bir yaklaşımdır. Bu örnekte, tekrar 6. aşamaya dönerek sulama süresini azaltma yolu tercih edilmiştir.

- 6) Proje sulama aralığı;

$$SA = 4 \text{ gün seçilmiştir.}$$

- 7) Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı;

$$d_n = T(SA) = 4.9 \times 4 = 19.6 \text{ mm}$$

8) Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı;

$$d_s = \frac{d_n}{E_s} = \frac{19,6}{0,70} = 28,0 \text{ mm}$$

9) Sulama süresi;

$$T_s = \frac{d_s}{I_s} = \frac{28,0}{2,0} = 14 \text{ h}$$

10) Maksimum işletme birimi sayısı;

$$N_{\max} = \left(\frac{T_e}{T_s}\right)(SA) = \left(\frac{15}{14}\right) \times 4 = 1 \times 4 = 4 \text{ adet}$$

Proje alanı, en çok 4 adet işletme birimine ayrılacaktır.

**Sonuç :**

Verilen örnek için,  $h_s = 1,5$  atm işletme basıncında, debisi  $q = 40$  L/h ve ıslatma çapı  $D = 5,40$  m olan yağmurlama başlığı seçilmiştir. Bu koşulda, proje sulama aralığı  $SA = 4$  gün ve sulama süresi  $T_s = 14$  h olacaktır.

#### 5.4. ÇALIŞMA PROBLEMİ

Planı Şekil 5.4'te verilen,  $175 \times 280$  m boyutlarında, 49 da büyüklüğündeki vişne bahçesinin ağaç altı mikro yağmurlama yöntemi ile sulanması istenmektedir.

Ortalama topografik eğim, kuzey-güney doğrultusunda (uzun kenar boyunca) % 0,6 ve batı-doğu doğrultusunda (kısa kenar boyunca) % 0,4'tür.

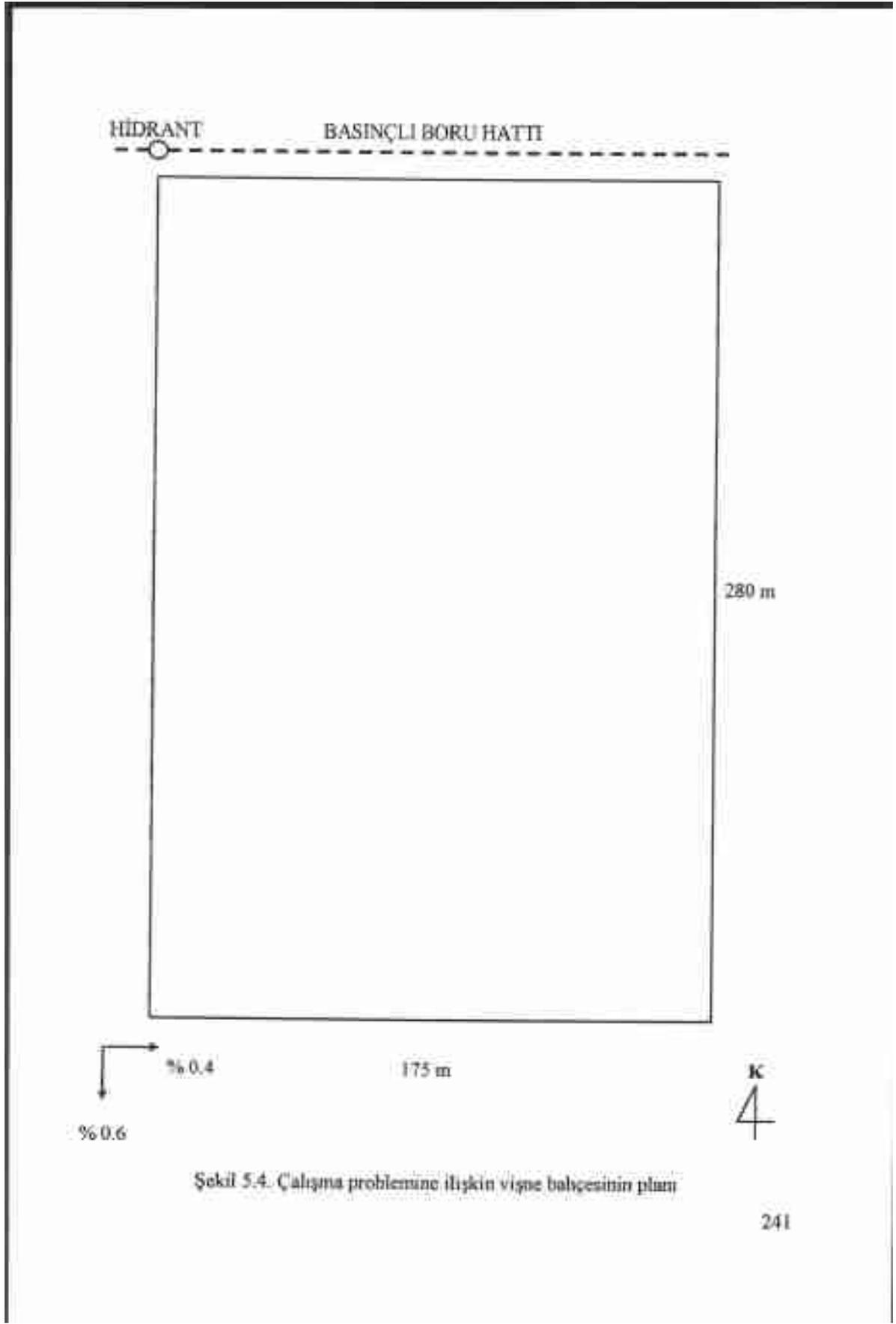
Alanda açılan iki adet profilden alınan toprak örneklerinin analizi ve ayrıca yapılan infiltrasyon testleri sonucunda, ortalama değerler olarak;

- Toprak bünye sınıfı : SL (kumlu tın),
- Kullanılabilir su tutma kapasitesi :  $d_k = 103,6$  mm/m ve
- Su alma hızı :  $I = 16,8$  mm/h

biçiminde elde edilmiştir. Analiz değerlerinden ve profillerin incelenmesinden, toprakların derin olduğu, herhangi bir tuzluluk, sodyumluluk ve drenaj sorununun bulunmadığı belirlenmiştir.

Vişne ağaçlarına ilişkin elde edilen bilgiler aşağıda verilmiştir.

- Ağaç dikim aralıkları :  $S_x \times S_y = 7 \times 7$  m
- Maksimum bitki su tüketimi :  $ET = 6,7$  mm/gün



Şekil 5.4. Çalışma problemine ilişkin vize balçesinin planı

- Mevsimlik toplam sulama suyu gereksinimi :  $d = 454,5$  mm
- Ağaç gövdesinin ıslatılmasında sakınca bulunmamaktadır.

Proje alanı, toplu damla sulama sisteminin kurulduğu alan içerisinde yer almaktadır. Alandaki toplu damla sulama sistemi kamu yatırımı biçiminde gerçekleştirilmiş, tarım işletmelerindeki bireysel damla ya da ağaç altı mikro yağmurlama sulama sistemlerinin projelendirilmesi ve kurulması işletme sahiplerine bırakılmıştır. Toplu sisteme ait basınçlı boru hatlarından biri, meyve bahçesinin kuzey sınırından geçmektedir. Bu basınçlı boru hattı üzerinde bulunan bir hidrant, bahçenin kuzey-batı köşesine yerleştirilmiştir. Hidrant üzerindeki almaçlardan biri, yalnızca bahçe sahibinin kullanımına ayrılmıştır. Almaç üzerinde, basınç regülatörü ve debi limitörü bulunmaktadır. Almaç çıkış basıncı  $H_k = 2,5$  atm ve debisi  $Q = 3$  L/s dir. Proje alanına sulama suyu söz konusu almaçtan alınacaktır.

Kurulan toplu damla sulama sistemine ait su dağıtım ağının başlangıcına, hidrosiklon ve kum-çakıl filtre tanklarından oluşan bir kontrol birimi yerleştirilmiştir. Arta kalan kontrol birimi elemanlarının, her tarım işletmesindeki bireysel sistemler üzerine, işletme sahipleri tarafından kurulması öngörülmüştür.

Toplu damla sulama sistemine, günde 20 h süreyle su verilmekte ve sistem, istek yöntemine göre işletilmektedir. Başka bir deyişle, alandaki tüm tarım işletmelerinde olduğu gibi, bu örnekteki tarım işletmesi sahibi, istediği zamanda ve sürede sulama yapabilecektir.

Proje alanı, yarı kurak iklim kuşağı içerisinde yer almaktadır.

İşletme sahibi, olanaklar ölçüsünde sulamayı kısa sürede tamamlamak istemektedir.

## **ARAZİNİN SULAMAYA HAZIRLANMASI**

Yüzey sulama yöntemlerinin tümünde, sulama suyunun toprak yüzeyinde ilerlemesi söz konusudur. Yüzeyi düzensiz olan tarım alanları sulandığında, alçak noktalara gereğinden daha fazla, yüksek noktalara ise daha az su uygulanır. Hatta, yüksek noktalara su verilememesi söz konusu olabilir. Her iki koşulda da bitki gelişmesi genellikle olumsuz yönde etkilenir ve verim azalması meydana gelir. Bunun yanında, özellikle drenajı iyi olmayan topraklarda, alçak noktalarda fazla suyun birikmesi taban suyunun yükselmesine ve tuzluluk sorunun ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, sulama doğrultusundaki eğimin fazla olduğu koşullarda ise toprak erozyonu sorunu ile karşılaşılabilir. Sıralanan bu nedenlerle, yüzey sulama yöntemlerinin uygulanacağı tarım alanlarında, sulama suyunun yüksek randımanla, tuzluluk ve erozyon sorunu yaratmaksızın verilebilmesi için arazinin sulamaya hazırlanması gerekmektedir.

Yüzey sulama yöntemlerinin uygulanacağı tarım arazisinin sulamaya hazırlanması, sırasıyla şu üç aşamada gerçekleştirilir.

- 1) Erozyona neden olmayacak maksimum akış uzunluğu gözönüne alınarak arazi uygun boyutlu tarla parsellerine ayrılır.
- 2) Sulama suyunun tarla parsellerine iletilmesi ve dağıtılması amacıyla tarla sulama sistemleri (tarla içi su dağıtım sistemleri), bunun yanında, fazla suyun araziden uzaklaştırılması için tarla içi drenaj sistemleri planlanır.
- 3) Tarla parseli içerisinde kabul edilebilir düzeyde eş bir su dağılımı sağlamak için, her tarla parselinde ayrı olarak, arazi yüzeyi uygulanacak sulama yöntemlerinin gerektirdiği eğim derecelerinde düzeltilir (arazi tesviyesi).

### **6.1. 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 eri 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, arazide infiltrasyon testlerinin yapılması ve toprağın su alma özelliklerinin belirlenmesine mutlak gereksinim vardır. Bazı koşullarda, infiltrasyon testleri yanında, arazi ölçmeleri ile su ılerleme ve geri çekilme verilerinin elde edilmesi de gerekebilir. Konuya ilişkin arazi ölçmeleri sonraki bölümlerde açıklanacaktır.

## 6.2. SULAMA VE DRENAJ SİSTEMLERİNİN 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 karıklarla yapılacaksa, sulama doğrultusunda olmak üzere her tarla parselinin sonuna bir yüzey drenaj kanalı planlanır ve bu kanallar çıkış ağzına bağlanır.

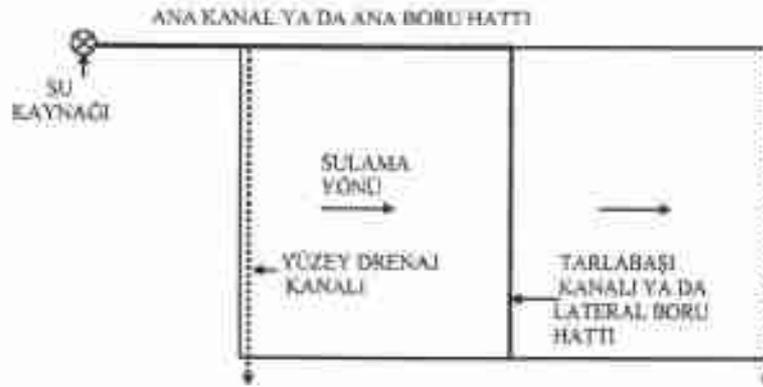
Uygulamada en çok rastlanan planlama biçimlerinin iki örneği Şekil 6.1' de verilmiştir. Şekil 6.1 a'da, aynı yönde eğimli arazinin maksimum akış uzunluğu dikkate alınarak üç tarla parseline ayrılmış biçimi görülmektedir. Her tarla parseline, tarla başı kanalı ya da lateral boru hattı ile su verilmekte, parselden 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 6.1 b). Bu koşulda, tarla içi su dağıtım sistemi ve yüzey drenaj kanallarının toplam uzunlukları daha az olur ve sistem maliyeti düşer.

Sulama 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 iletilecek ve dağıtılacak, bunun yanı sıra 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.



a) Tek yönlü sulama



b) İki yönlü sulama

Şekil 6.1. Tek ve iki yönlü sulamada planlama biçimleri

### 6.3. 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.

### 6.3.1. Arazi Tesviyesinin Yararları

Arazi tesviyesinin yararları şöylece sıralanabilir,

- 1) Daha eş bir su dağılımı sağlandığından su uygulama randımanı yükselir. Böylece sulama suyu gereksinimi 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.

### 6.3.2. Arazi Tesviyesinin Uygulanmasını Kısıtlayan Etmenler

Bazı koşullarda, teknik yada 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 yapılırsa uygulanabilir. Aksi durumda, basınçlı sulama yöntemleri tercih edilir.
- 4) Doğal eğim düşük olmasına 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 randımına sahip basınçlı sulama yöntemleri uygulanır. Dolayısıyla, arazi tesviyesine gerek kalmaz.

### 6.3.3. 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 6.2'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 salamaya 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.

**Tek yönde değişken eğimli tesviye:** Bu tesviye tipinde, tarla parseline yalnızca sulama doğrultusunda değişebilen derecelerde eğim verilir. Sulama doğrultusuna dik yönde 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.



Şekil 6.2. Arazi tesviyesi tipleri

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

Etkili 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 hum toprağın ortaya çıkması ve verimliliğin azalması etmenleri dikkate alınarak, yüzey sulama yöntemleri yerine, basınçlı sulama yöntemlerinin uygulanması seçeneği üzerinde de durulmalıdır.

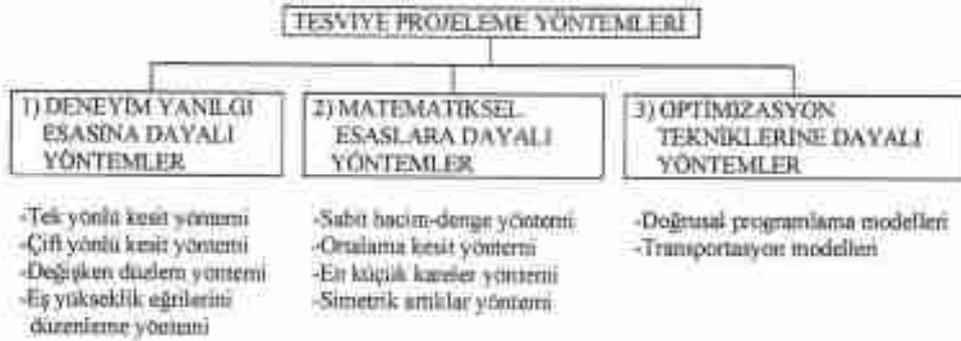
**Kaba tesviye:** İlk aşamada skreyper ya da dozer gibi ağır tesviye makineleri ile yapılan tesviyedir.

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

### 6.3.4. 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. Tesviye projelene yöntemleri esas ve uygulama açısından üç bölüm altında toplanabilir. Bunlar, şematik olarak Şekil 6.3'te gösterilmiş ve sırasıyla aşağıda kısaca açıklanmıştır.

**Tek yönlü kesit yöntemi:** Bu yöntemde, kareler ağına ayrılmış bulunan arazinin sulama doğrultusundaki her bir sırasının boyuna profilleri çizilir. Her profilde, sulama yöntemine göre belirli eğime sahip tesviye doğruları geçirilir. Aradaki farktan kazı ve dolgu miktarları hesaplanır. Tesviye doğrularının eğimi bir diğerinden farklı olabileceği gibi, değişken de olabilir. Genellikle, dar ve uzun ya da şekli düzgün olmayan küçük tarla parsellerinde uygulanır. Nispeten büyük tarla parsellerinin tesviye projelerinin yapılmasında, sağlıklı sonuç vermediğinden ve çok zaman aldığından uygun değildir.



Şekil 6.3. Arazi tesviye projelendirme yöntemleri

**Çift yönlü kesit yöntemi:** Bu yöntemde, tarla parselinin sulama doğrultusundaki ve dik yöndeki tesviye düzlemleri eğimleri aynı anda bulunur. Bu amaçla, kareler ağına ayrılmış bulunan arazi yüzeyinin yatay bir düzleme göre izometrik görünümü çizilir. İzometrik görünüm üzerinde sulama doğrultusundaki her bir sıranın eğimi, dik yöndeki eğim de kontrol edilerek yerleştirilir ve böylece tesviye düzlemi elde edilir.

**Değişken düzlem yöntemi:** Bu yöntemde, kareler ağına ayrılmış arazide kare köşelerinin (istasyonların) kotları, sulama doğrultusunda ve buna dik yönde uygun eğimi sağlayan kotlarla değiştirilir. Daha sonra kazı ve dolgu miktarları hesaplanarak dengelenir. Özellikle dalgalı topografyaya sahip arazi için uygun bir yöntemdir.

**Eş yükseklik eğrilerini düzenleme yöntemi:** Bu yöntemde esas, doğal eş yükseklik eğrilerini, sulama yönteminin gerektirdiği eğime uygun yeni eğrilerle değiştirmektir. Kazı ve dolgu miktarları, bu eğriler kıyaslanarak hesaplanır ve dengelenir.

**Sabit hacim denge yöntemi:** Bu yöntemde, en uygun tesviye düzlemi eğimleri, geliştirilen bazı matematiksel eşitliklerle hesaplanmaktadır.

**Ortalama kesit yöntemi:** Bu yöntemde, sulama doğrultusunda ve buna dik yöndeki ortalama kesitler çizilir, uygun eğimi veren tesviye doğruları geçirilir. Bu işlem, kesit üzerindeki doğal zemin kotları ile tesviye doğrusu kotları arasındaki farkların karelerinin toplamı minimum olacak biçimde yapılır. Daha sonra, birbirine dik olan iki tesviye doğrusunun oluşturduğu düzlem tesviye düzlemi olarak alınır. Tesviye düzlemi kotları doğal zemin kotları ile kıyaslanarak kazı ve dolgu miktarları belirlenir ve kazı-dolgu oranı dengelenir. Bu yöntem dikdörtgen şekilli araziye uygulanabilmektedir.

**En küçük kareler yöntemi:** Bu yöntem, istatistikte yer alan en küçük kareler kuramına dayalıdır. Burada temel ilke, kareler ağına ayrılmış arazide kare köşelerinin (stasyonların) doğal zemin kotları ile tesviye düzlemi kotları arasındaki farkların karelerinin toplamı en küçük olan tesviye düzleminin belirlenmesidir. Yöntem, dikdörtgen şekilli araziye kolaylıkla uygulanabilmektedir. Bunun yanında, düzgün olmayan şekilli araziye de uygulanabilmesine karşın, bu tip alanlarda, tesviye düzlemi eğimleri belirlenirken yalnızca alan içerisinde en büyük dikdörtgen (kare) üzerindeki istasyonların mira değerleri dikkate alındığından tesviye düzlemi eğimleri arazi doğal eğimini yansıtmamakta ve her zaman istenen sağlıkta sonuç vermemektedir.

**Simetrik artıklar yöntemi:** Arazide göz önüne alınan belirli hatlara göre simetrik olan istasyonların kotları arasındaki farklardan yararlanarak tesviye düzleminin belirlenmesi ilkesine dayalı bir yöntemdir. Dikdörtgen ya da şekli düzgün olmayan araziye kolaylıkla uygulanabilmektedir.

**Doğrusal programlama modelleri:** Uygulanacak sulama yönteminin gerektirdiği eğim dereceleri ve toprak özelliklerinin gerektirdiği kazi-dolgu oranlarının alt ve üst sınırları dikkate alınarak, arazide kazılacak toprak hacmini minimum kılan doğrusal programlama modelinin hazırlanması ve böylelikle en uygun tesviye düzleminin belirlenmesi esasına dayanır. Dikdörtgen ve düzgün olmayan şekilli arazilerde en sağlıklı sonucu vermektedir. Çözüm, bilgisayarla doğrusal programlama modelleri için oluşturulan yazılımlarla yapılır.

**Transportasyon modelleri:** Bu modellerden, arazi tesviye projelerinin yapılmasında değil, yukarıda değinilen projelendirme yöntemlerinden biri ile istasyonlarda belirlenen kazi miktarlarının, dolgu yapılacak istasyonlara taşınmasının optimizasyonu amacıyla yararlanılır.

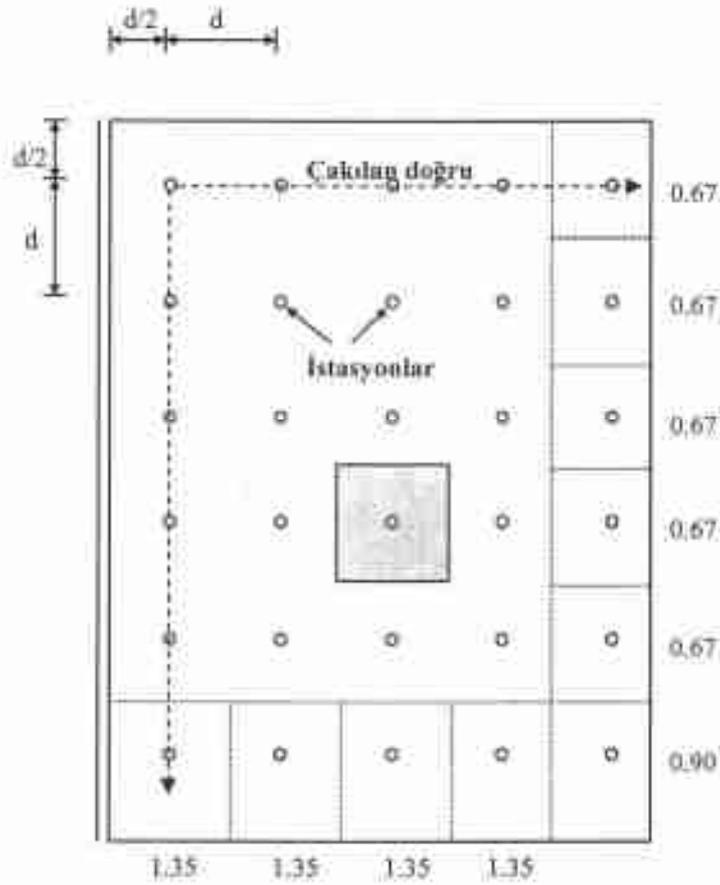
Buraya kadar değinilen yöntemlerden, uygulamada en çok kullanılan en küçük kareler ve simetrik artıklar tesviye proje yöntemleri ile doğrusal programlama modelleri daha sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

### **6.3.5. 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 6.4). Doğru üzerinde, diğer kenardan  $d/2$  kadar içeride ilk istasyon oluşturulur. Bu istasyondan, daha önce çakılan doğruya, bir prizma ya da niveliman aletinden yararlanarak dik bir doğru çülür. Her iki doğru üzerinde, aralarında  $d$  birim uzaklık bulunan istasyonlar çelik serit arcağıyla 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 seritle ölçülerek kaydedilir.



Şekil 6.4. Tesviye yapılacak arazide istasyonların oluşturulması

Arazi, 1/1000 - 1/2000 arasında değişen 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 değinileri birim alanın merkezindedir (Şekil 6.4). Bunun yanında, kenarlardaki istasyonların bazıları 1 birim alandan farklı olabilir. Böyle istasyonların temsil ettiği alan kesik çizgilerle sınırlanır ve birim alan değeri yanına yazılır. Örneğin, Şekil 6.4'teki (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 ya da kotlarının elde edilmesine gerek yoktur. Mira değerleri yeterli olur. Yüzey nivelman sonuçları, bir nivelman karnesine kaydedilir ve eşdeğer mira değerleri hesaplanarak her istasyonun üzerine yazılır.

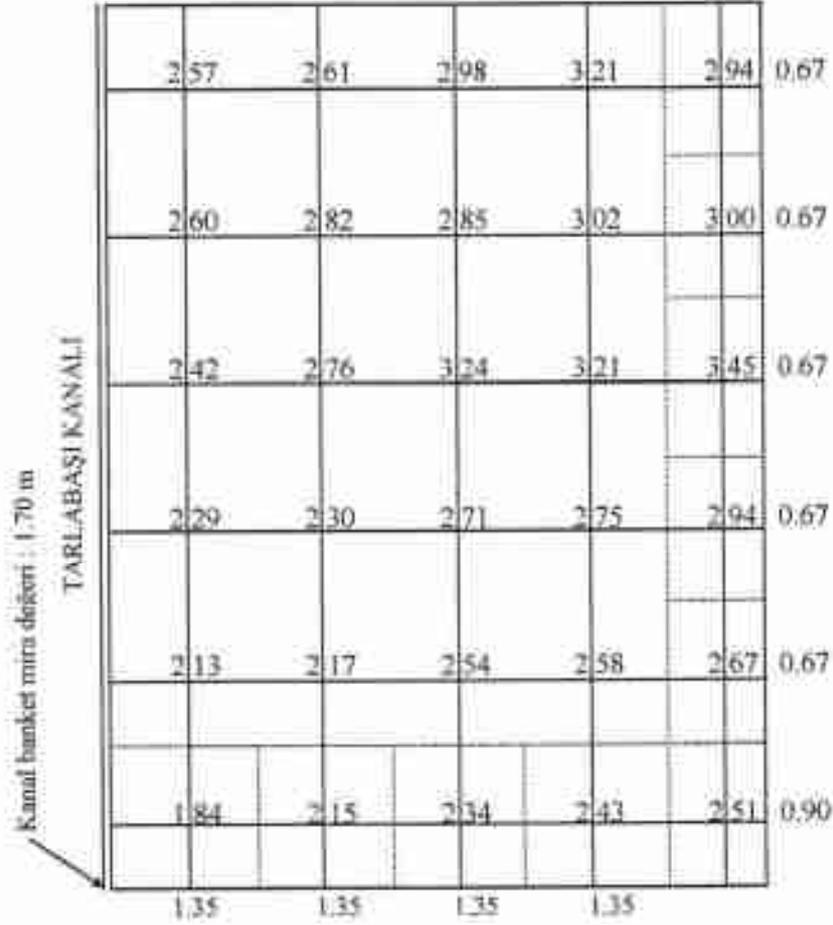
Örneğin, Şekil 6.4'teki arazide mira okumaları 4 alet durağında yapılmış ve sonuçlar Çizelge 6.1'deki nivelman karnesine kaydedilmiştir. Yalnız, nivelman işlemi birden fazla alet durağında yapılırsa, istasyonlara ilişkin eşdeğer mira değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Örneğin, Çizelge 6.1'de I. 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 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 prizın taban, banket ya da su üst düzeyi mira değeri de plan üzerinde gösterilir (Şekil 6.5). Bundan sonra tesviye projelendirme işlemine geçilir.

### 6.3.6. En Küçük Kareler Tesviye Projelendirme Yöntemi

En küçük kareler yöntemiyle arazi tesviye projesinin yapılması Şekil 6.5'te verilen tarla parseli örnek alınarak açıklanacaktır. Daha önce değinildiği gibi, tarla parseli dikdörtgen şekildedir. 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 ve bir istasyonun temsil ettiği birim alan değeri  $d^2 = 30^2 = 900$  m<sup>2</sup>'dir. Bir birimden farklı

Çizelge 6.1. Tesviye yapılacak örnek tarla parseline ilişkin nivelman 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=+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=+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=-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



Şekil 6.5. Tesviye yapılacak arazinin planı ve istasyonlarda doğal zemin mira değerleri

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. Projlemede, sırasıyla izlenecek aşamalar aşağıda açıklanmıştır.

**1. aşama :** Dik koordinat sisteminin oluşturulması, satır ve kolonlara ilişkin hesaplamalar

Birinci satırın 1 birim yukarısından 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 ( $D_y, D_x$ ), 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 6.6). Örneğin, 1. satıra ilişkin değerler,

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

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

$$D_{y1} = 1 \text{ birim}$$

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

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

5. kolona ilişkin değerler ise;

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

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

$$D_{x5} = 5 \text{ birim}$$

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

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

olarak elde edilir.

**2. aşama :** Tesviye düzlemi ağırlık merkezinin koordinatları

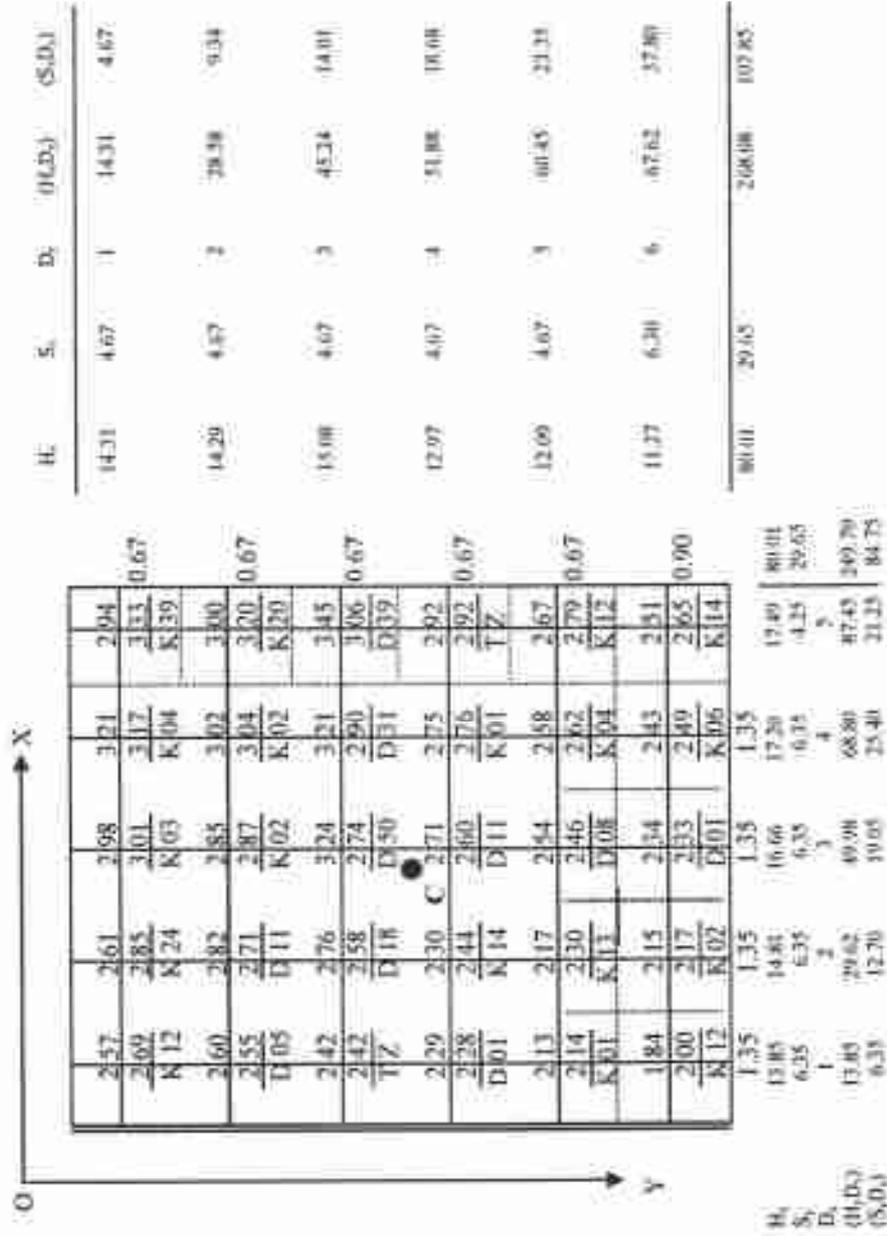
Tesviye düzlemi ağırlık merkezinin koordinatlarının saptanmasında;

$$x_c = \frac{\sum (S_y D_x)}{\sum S_y} \quad (6.1)$$

$$y_c = \frac{\sum (S_x D_y)}{\sum S_x} \quad (6.2)$$

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

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



Şekil 6.5. Tesviye yapılacak örnek tarla parselinde en küçük kareler tesviye projelene yöntemine ilişkin niyisel uygulama

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

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 6.6).

**3. aşama :** Tesviye düzlemi ağırlık merkezinin mira değeri

Tesviye düzlemi ağırlık merkezinin mira değeri:

$$H_c = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (H_{ij} S_{ij})}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S_{ij}} \quad (6.3)$$

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 değeridir.

Verilen örnek için tesviye düzlemi ağırlık merkezinin mira değeri:

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

olarak elde edilir.

**4. aşama :** Tesviye düzlemi eğimleri

Tesviye düzleminin X ve Y eksenini doğrultularındaki eğimleri aşağıda verilen eşitliklerle bulunur.

$$M_x = \frac{\sum(H_x D_x) - A_x \sum H_x}{B_x} \quad (6.4)$$

$$M_y = \frac{\sum(H_x D_y) - A_y \sum H_x}{B_y} \quad (6.5)$$

Bu eşitliklerde;

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

- $M_x$  = Tesviye düzleminin Y eksenine doğrultusundaki eğimi (Y eksenine doğrultusunda tesviye düzlemi mira değerlerinin birim uzunlukta değişimi), m/d,  
 $A_x$  = X eksenine boyunca kolonların Y eksenine olan uzaklıklarının ortalaması,  
 $A_y$  = Y eksenine boyunca satırların X eksenine olan uzaklıklarının ortalaması,  
 $B_x, B_y$  = Satır ve kolonların sayılarına ve eksenlere göre konumlarına bağlı katsayılarıdır.

Bu eşitliklerdeki  $A_x, A_y, B_x$  ve  $B_y$  katsayıları Çizelge 6.2'den doğrudan alınabilir. Verilen örnekte, X eksenine doğrultusundaki kolon sayısı,  $n = 5$ 'tir. Çizelgede en üst satırda 5 ile gösterilen kolonun hemen altındaki 3 değeri  $A_x$ 'i verir. Buna karşın, X eksenine doğrultusuna dik yöndeki (Y eksenine doğrultusundaki) satır sayısı  $m = 6$ 'dır. Çizelgede 5. kolon ile 6. satırın kesim noktasındaki 60 değeri  $B_x$ 'i verir. Benzer biçimde, Y eksenine doğrultusundaki satır sayısı,  $m = 6$ 'dır. Çizelgede en üst satırda 6 ile gösterilen kolonun hemen altındaki 3.5 değeri  $A_y$ 'yi verir. Buna karşın, Y eksenine doğrultusuna dik yöndeki (X eksenine doğrultusundaki) kolon sayısı  $n = 5$ 'tir. Çizelgede 6. kolon ile 5. satırın kesim noktasındaki 87.5 değeri  $B_y$ 'yi verir. Sonuç olarak verilen örnek için;

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

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

bulunur.

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

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

Y eksenine doğrultusunda;

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

biçiminde hesaplanır.

Sulama doğrultusunda ve dik yönde elde edilen bu eğim değerleri uygunsuzsa, hesaplanan değerler göz önüne alınarak projelente devamı edilir. Aksi

Çizelge 6.2. En küçük kareler tesviye projelendirme yönteminde A ve B katsayıları

DİK YONDEKİ KOLON YA DA SATIR SAYISI	EĞİMİN SAPTANACAKI YONDEKİ SATIR YA DA KOLON SAYISI																		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
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	A KATSAYISI		
1	0.5	2	5	10	17.5	28	42	60	82.5	110	143	182	227.5	280	340	408	484.5	B KATSAYISI	
2	1	4	10	20	35	56	84	120	165	220	286	364	455	560	680	816	969		
3	1.5	6	15	30	52.5	84	126	180	247.5	330	429	546	682.5	840	1020	1224	1453.5		
4	2	8	20	40	70	112	168	240	330	440	572	728	910	1120	1360	1632	1938		
5	2.5	10	25	50	87.5	140	210	300	412.5	550	715	910	1137.5	1400	1700	2040	2422.5		
6	3	12	30	60	105	168	252	360	495	660	858	1092	1365	1680	2040	2448	2907		
7	3.5	14	35	70	122.5	196	294	420	577.5	770	1001	1274	1592.5	1960	2380	2856	3391.5		
8	4	16	40	80	140	224	336	480	660	880	1144	1456	1820	2240	2720	3264	3876		
9	4.5	18	45	90	157.5	252	378	540	742.5	990	1287	1638	2047.5	2520	3060	3672	4360.5		
10	5	20	50	100	175	280	420	600	825	1100	1430	1820	2275	2800	3400	4080	4845		
11	5.5	22	55	110	192.5	308	462	660	907.5	1210	1573	2002	2502.5	3080	3740	4488	5329.5		
12	6	24	60	120	210	336	504	720	990	1320	1716	2184	2730	3360	4080	4896	5814		
13	6.5	26	65	130	227.5	364	546	780	1072.5	1430	1859	2366	2957.5	3640	4420	5304	6298.5		
14	7	28	70	140	245	392	588	840	1155	1540	2002	2548	3183	3920	4760	5712	6783		
15	7.5	30	75	150	262.5	420	630	900	1237.5	1630	2145	2730	3412.5	4200	5100	6120	7267.5		
16	8	32	80	160	280	448	672	960	1320	1760	2288	2912	3640	4480	5440	6528	7752		
17	8.5	34	85	170	297.5	476	714	1020	1402.5	1870	2431	3094	3867.5	4760	5780	6936	8236.5		
18	9	36	90	180	315	504	756	1080	1485	1980	2574	3276	4095	5040	6120	7344	8721		

durumda, sulama yöntemine göre öngörülen eğim değerleri dikkate alınır. Örneğin, X eksenini 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 artırır.

**5. aşama :** Her istasyonun tesviye düzlemi mira değerleri

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.

$$H_o = H_c - x_c M_x - y_c M_y \quad (6.6)$$

$$H_{ij} = H_o + D_{ij} M_x + D_{ij} M_y \quad (6.7)$$

Bu eşitliklerde;

$H_o$  = 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  
 $D_{ij}$  = i. satırın X eksenine uzaklığı, birim'dir.

Verilen örnek için orijinin tesviye düzlemi mira değeri;

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

(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;

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

biçiminde hesaplanır.

Tüm istasyonlara ait tesviye düzlemi mira değerleri benzer biçimde mm'ye kadar hesaplanır, cm'ye kadar yuvarlatılır ve plan üzerinde doğal zemin mira değerlerinin altına yazılır (Şekil 6.6).

#### 6. aşama : İstasyonlardaki kazı ve dolgu miktarları

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 6.6).

#### 7. aşama : Toplam kazı ve dolgu hacimleri ve dengeleme

Arazi tesviyesinin yapılacağı tarla parseli için 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 ya da dolgu derinliği, m<sup>2</sup> cinsinden birim alan ile çarpılır. Verilen örnek için bu değerler aşağıdaki gibi bulunur.

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

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

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

Tesviye projelerinde toplam kazı hacminin, toplam dolgu hacminden daha fazla olması istenir. Bunun nedeni, doğal olarak yerinde hesaplanan belirli hacimdeki toprak kazıldığında kabarma sonucu hacmi artar, 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 6.3'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;

Çizelge 6.3. 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

$$e = \frac{R \sum d - \sum k}{R p + r + s} \quad (6.8)$$

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

- $e$  = Tesviye düzleminin düşürüleceği (ya da yükseltileceği) miktar, cm,
- $R$  = İstenen kazı-dolgu oranı,
- $\sum d$  = Toplam dolgu derinliği, cm,
- $\sum k$  = Toplam kazı derinliği, cm,
- $p$  = Dolgu istasyonları sayısı,
- $r$  = Kazı istasyonları sayısı ve
- $s$  = Doğal zemin istasyonları sayısı'dır.

Verilen örnekteki tarla parselinde toprak bünye sınıfı orta-ağır olsun. Bu durumda kazı-dolgu oranı 1.40 - 1.60 arasında, ortalama 1.50 alınacaktır (Çizelge 6.3). 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 işlem, Şekil 6.6'daki 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 6.7'de verilmiştir. Eğer,  $e$  değeri eksi çıkarsa tesviye düzleminin yükseltileceği anlamını taşır.

2.57	2.61	2.98	3.21	2.94	
<u>2.71</u>	<u>2.87</u>	<u>3.03</u>	<u>3.19</u>	<u>3.35</u>	0.67
K.14	K.26	K.05	D.02	K.41	
2.60	2.82	2.85	3.02	3.00	
<u>2.57</u>	<u>2.73</u>	<u>2.89</u>	<u>3.06</u>	<u>3.22</u>	0.67
D.03	D.09	K.04	K.04	K.22	
2.42	2.76	3.24	3.21	3.45	
<u>2.44</u>	<u>2.60</u>	<u>2.76</u>	<u>2.92</u>	<u>3.08</u>	0.67
K.02	D.16	D.48	D.29	D.37	
2.29	2.30	2.71	2.75	2.92	
<u>2.30</u>	<u>2.46</u>	<u>2.62</u>	<u>2.78</u>	<u>2.94</u>	0.67
K.01	K.16	D.09	K.03	K.02	
2.13	2.17	2.54	2.58	2.67	
<u>2.16</u>	<u>2.32</u>	<u>2.48</u>	<u>2.64</u>	<u>2.81</u>	0.67
K.03	K.15	D.06	K.06	K.14	
1.84	2.15	2.34	2.43	2.51	
<u>2.02</u>	<u>2.19</u>	<u>2.35</u>	<u>2.51</u>	<u>2.63</u>	0.90
K.14	K.04	K.01	K.08	K.16	
1.35	1.35	1.35	1.35		

Şekil 6.7. Tesviye yapılacak arazinin dengelenmiş durumdaki kazı ve dolgu miktarları

Son 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

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

Burada amaç, kazı materyalinin alındığı ve taşındığı yer ve yön hakkında uygulayıcıya bilgi veren bir plan hazırlamaktır. Hacim dağıtım planında yalnızca, istasyonlardaki kazı ve dolgu miktarları gösterilir. Kazı alanları kırmızı ve dolgu alanları mavi ile taranır. Verilen örneğe ilişkin hacim dağıtım planı Şekil 6.8'de görülmektedir.

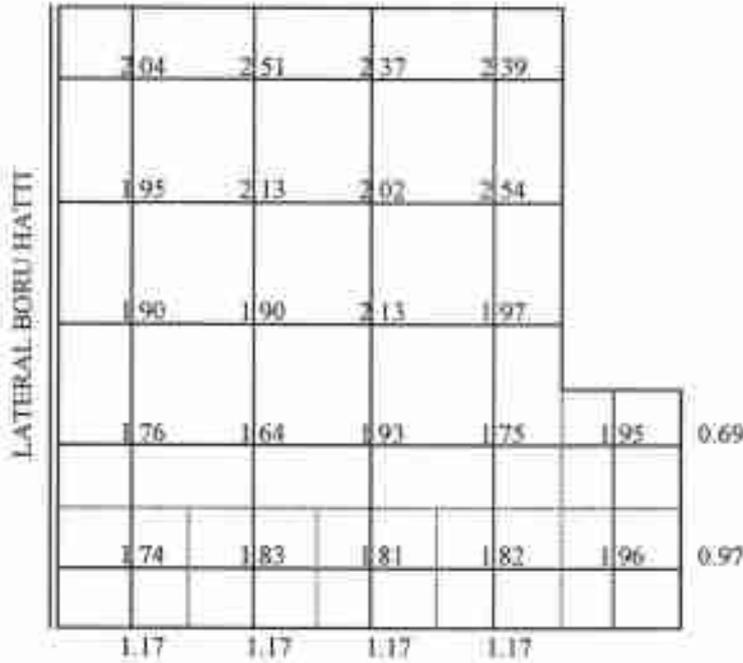
K 14	K 26	K 05	D 02	K 41
D 03	D 09	K 04	K 04	K 22
K 02	D 16	D 48	D 39	D 37
K 01	K 16	D 09	K 03	K 02
K 03	K 15	D 06	K 06	K 14
K 18	K 04	K 01	K 08	K 16

Şekil 6.8. Hacim dağıtım planı

### 6.3.7. 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 6.9'da verilen tarla parseli örnek olarak alınırsa, 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 tesviye düzlemi mira değerinin belirlenmesi ve tesviye düzlemi eğimlerinin



Şekil 6.9. Düzgün olmayan şekilli örnek tarla parseli

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.

### 6.3.8. Simetrik Artıklar Tesviye Projelene Yöntemi

Simetrik artıklar tesviye projelene yönteminin en küçük kareler tesviye projelene yönteminden tek farkı tesviye düzlemi eğimlerinin hesaplanmasındadır. Diğer proje aşamaları en küçük kareler tesviye projelene yönteminde açıklandığı biçimde sürdürülür.

Simetrik artıklar tesviye projelene yöntemi düzgün ya da düzgün olmayan şekilli araziye uygulanabilir. Özellikle, düzgün olmayan şekilli arazide tesviye düzlemi eğimleri bulunurken tüm istasyonlardaki doğal zemin mira değerleri dikkate alınır. Dolayısıyla, bu tip arazide daha sağlıklı sonuç elde edilir.

**Simetrik artıklar yönteminde düzgün şekilli arazide tesviye düzlemi eğimleri :** Dikdörtgen (kare) şekilli arazide, simetrik artıklar tesviye projelene yöntemiyle X eksenine doğrultusundaki (sıra yönündeki) tesviye düzlemi eğimi;

a) Kolon sayısı, n, çift olduğunda;

$$M_x = \frac{4 \left[ \sum_{j=2,4}^n \sum_{i=1}^m H_{ij} - \sum_{j=1}^{n/2} \sum_{i=1}^m H_{ij} \right]}{m n^2} \quad (6.9)$$

b) Kolon sayısı, n, tek olduğunda;

$$M_x = \frac{4 \left[ \sum_{j=(n+1)/2}^n \sum_{i=1}^m H_{ij} - \sum_{j=1}^{(n-1)/2} \sum_{i=1}^m H_{ij} \right]}{m (n^2 - 1)} \quad (6.10)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

Benzer biçimde, Y eksenine doğrultusundaki (kolon yönündeki) tesviye düzlemi eğimi;

a) Satır sayısı,  $m$ , çift olduğunda;

$$M_x = \frac{4 \left[ \sum_{i=(m/2)+1}^m \sum_{j=1}^n H_{ij} - \sum_{i=1}^{m/2} \sum_{j=1}^n H_{ij} \right]}{n m^2} \quad (6.11)$$

b) Satır sayısı,  $m$ , tek olduğunda;

$$M_x = \frac{4 \left[ \sum_{j=(m+3)/2}^m \sum_{i=1}^n H_{ij} - \sum_{i=1}^{(m-1)/2} \sum_{j=1}^n H_{ij} \right]}{n (m^2 - 1)} \quad (6.12)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Bu eşitliklerde;

$M_x$  = X eksenini doğrultusundaki tesviye düzlemi eğimi, m/d.

$M_y$  = Y eksenini doğrultusundaki tesviye düzlemi eğimi, m/d.

$m$  = Satır sayısı,

$n$  = Kolon sayısı ve

$H_{ij}$  = (i,j) istasyonu doğal zemin mira değeri, m'dir.

Örneğin, Şekil 6.6'daki arazi göz önüne alınırsa, bu arazide satır sayısı  $m=6$  (çift) ve kolon sayısı  $n=5$  (tek) olduğundan, X eksenini doğrultusundaki tesviye düzlemi eğimi, (6.10) nolu eşitlikten yararlanılarak;

$$M_x = \frac{4 \left[ \sum_{j=4}^5 \sum_{i=1}^6 H_{ij} - \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^6 H_{ij} \right]}{6 (5^2 - 1)}$$

$$M_x = \frac{4 [(17.20 + 17.49) - (13.85 + 14.81)]}{6 \times 24} = +0.168 \text{ m/30m}$$

ve Y eksenini doğrultusundaki tesviye düzlemi eğimi, (6.11) nolu eşitlikten yararlanılarak;

$$M_y = \frac{4 \left[ \sum_{i=4}^6 \sum_{j=1}^5 H_{ij} - \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 H_{ij} \right]}{5 \times 6^2}$$

$$M_y = \frac{4 [(12.97 + 12.09 + 11.27) - (14.31 + 14.29 + 15.08)]}{5 \times 36}$$

$$M_y = -0.163 \text{ m/30m}$$

biçiminde hesaplanır.

**Simetrik artıklar yönteminde düzgün olmayan şekilli arazide tesviye düzlemi eğimleri :** Simetrik artıklar tesviye projelendirme yöntemi şekli düzgün olmayan araziye uygulanırken, önce her satır ve kolonun eğimi ayrı olarak hesaplanır ve sonra bu değerleri X ve Y eksenini doğrultularında tartılı ortalamaları alınarak tesviye düzlemi eğimleri saptanır.

X eksenini doğrultusunda i. satırın eğimi, bu satırdaki istasyon sayısı,  $n_i$  çift olduğunda;

$$M_{x_i} = \frac{4 \left[ \sum_{j=(n_i/2+1)}^{n_i} H_{ij} - \sum_{j=1}^{n_i/2} H_{ij} \right]}{n_i^2} \quad (6.13)$$

ve  $n_i$  tek olduğunda;

$$M_{x_i} = \frac{4 \left[ \sum_{j=(n_i+1)/2}^{n_i} H_{ij} - \sum_{j=1}^{(n_i-1)/2} H_{ij} \right]}{n_i^2 - 1} \quad (6.14)$$

eşitlikleriyle hesaplanır.

Benzer biçimde, Y eksenini doğrultusunda j. kolonun eğimi, bu kolondaki istasyon sayısı,  $m_j$  çift olduğunda;

$$M_{y_j} = \frac{4 \left[ \sum_{i=(m_j/2+1)}^{m_j} H_{ij} - \sum_{i=1}^{m_j/2} H_{ij} \right]}{m_j^2} \quad (6.15)$$

ve  $m_j$  tek olduğunda;

$$M_{y_j} = \frac{4 \left[ \sum_{i=(m_j+1)/2}^{m_j} H_{ij} - \sum_{i=1}^{(m_j-1)/2} H_{ij} \right]}{m_j^2 - 1} \quad (6.16)$$

eşitlikleriyle hesaplanır.

Her satır ve kolonun eğimi belirlendikten sonra, X eksenini doğrultusundaki tesviye düzlemi eğimi;

$$M_x = \sum_{i=1}^m w_i M_{xi} \quad (6.17)$$

ve Y eksenini doğrultusundaki tesviye düzlemi eğimi;

$$M_y = \sum_{j=1}^n w_j M_{yj} \quad (6.18)$$

eşitlikleri ile bulunur. Bu eşitliklerde;

- $M_x$  = X eksenini doğrultusunda i. satırın eğimi, m/d,
- $M_{xi}$  = Y eksenini doğrultusunda j. kolonun eğimi, m/d,
- $n_i$  = i. satırdaki istasyon sayısı,
- $m_j$  = j. kolondaki istasyon sayısı,
- $H_{ij}$  = (i,j) istasyonunda doğal zemin mira değeri, m,
- $M_y$  = X eksenini doğrultusunda tesviye düzlemi eğimi, m/d,
- $w_i$  = i. satıra ilişkin tartı faktörü,
- $M_x$  = Y eksenini doğrultusunda tesviye düzlemi eğimi, m/d ve
- $w_j$  = j. kolona ilişkin tartı faktörüdür.

Örneğin, Şekil 6.9'da verilen düzgün olmayan şekilli tarla parselinde satır sayısı  $m=5$  ve kolon sayısı  $n=5$ 'tir. Değinilen arazide, 1. satırın eğimi, bu satırdaki istasyon sayısı  $n_i=4$  (çift) olduğundan (6.13) nolu eşitlikten yararlanılarak;

$$M_{x1} = \frac{4 \left[ \sum_{j=1}^4 H_{1j} - \sum_{j=1}^4 H_{1j} \right]}{4^2}$$

$$M_{x1} = \frac{4 [(2.37 + 2.39) - (2.04 + 2.51)]}{16} = +0.053 \text{ m/30m}$$

ve 1. kolonun eğimi, bu kolondaki istasyon sayısı  $m_j=5$  (tek) olduğundan (6.16) nolu eşitlikten yararlanılarak;

$$M_{x1} = \frac{4 \left[ \sum_{i=1}^5 H_{i1} - \sum_{i=1}^5 H_{i1} \right]}{5^2 - 1}$$

$$M_{x1} = \frac{4 [(1.76 + 1.74) - (2.04 + 1.95)]}{24} = -0.082 \text{ m/30m}$$

biçiminde hesaplanır. Diğer satır ve kolonlara ilişkin eğimler de hesaplandıktan sonra, tesviye düzlemi eğimleri, Çizelge 6.4 ve 6.5'te verilen çizelgeler doldürularak bulunur. Sonuç olarak örnek arazi'deki tesviye düzlemi eğimleri,

$$M_x = -0.059 \text{ m/30m (\% 0.2)}$$

$$M_y = -0.285 \text{ m/30m (\% 0.95)}$$

olarak elde edilir.

### 6.3.9. Arazi Tesviye Projelerinde Doğrusal Programlama Tekniği

Arazi tesviye projelerinde, toprak bünye sınıfına göre kazı - dolgu oranının ve uygulanacak sulama yönteminin gerektirdiği eğim derecelerinin alt ve üst sınırları dikkate alınarak, en az kazı miktarını veren optimum tesviye düzlemi ve böylece her istasyondaki kazı ve dolgu miktarları doğrusal programlama tekniği ile elde edilebilir.

Tesviye projesi yapılacak belirli bir araziye ilişkin doğrusal programlama modelinin kurulması amacıyla, Şekil 6.10'da gösterilen (1,1), (1,2), (2,1) ve (2,2) istasyonları dikkate alınır. Bu istasyonlara ait doğal zemin mira değerleri, sırasıyla,  $H_{11}$ ,  $H_{12}$ ,  $H_{21}$  ve  $H_{22}$  olsun. Eğer, X eksenini doğrultusunda tesviye düzlemi mira değerleri artıyorsa Şekil 6.11a'da verilen koşulla karşılaşılır. Bu koşul için;

$$M_x = T_{12} - T_{11}$$

$$T_{12} = H_{12} - D_{12} + K_{12}$$

$$T_{11} = H_{11} + K_{11} - D_{11}$$

$$M_x = H_{12} - D_{12} + K_{12} - (H_{11} + K_{11} - D_{11})$$

ve sonuçta;

$$K_{11} - K_{12} - D_{11} + D_{12} + M_x = H_{12} - H_{11} \quad (6.19)$$

eşitliği yazılabilir. Burada,  $T_{11}$  ve  $T_{12}$  tesviye düzlemi mira değerlerini ifade etmektedir.

Eğer X eksenini doğrultusunda tesviye düzlemi mira değerleri azalıyorsa, bu kez Şekil 6.11 b'de verilen koşul göz önüne alınarak aşağıda verilen eşitlikler yazılabilir:

$$M_x = T_{11} - T_{12}$$

$$T_{11} = H_{11} - D_{11} + K_{11}$$

$$T_{12} = H_{12} + K_{12} - D_{12}$$

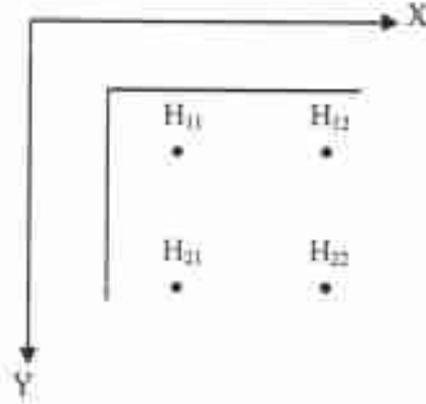
$$M_x = H_{11} - D_{11} + K_{11} - (H_{12} + K_{12} - D_{12})$$

Çizelge 6.4. X eksenli doğrultusunda tesviye düzlemi eğiminin hesaplanması

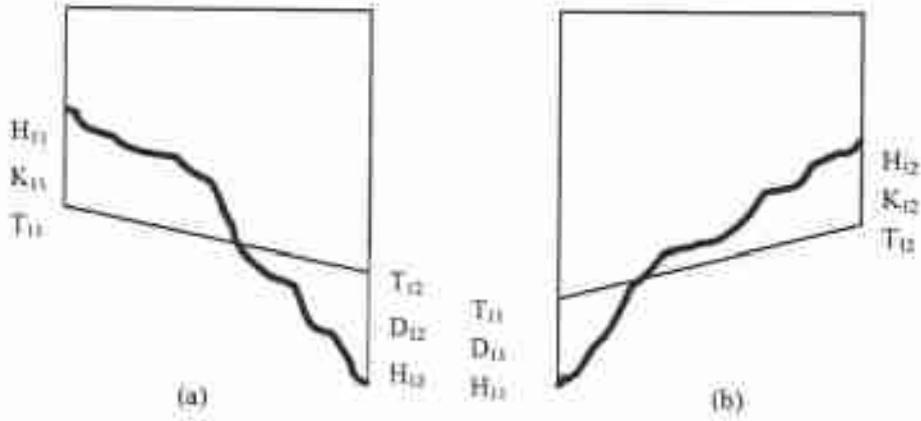
Faktör	Sıra no. <i>l</i>					Toplam	Not
	1	2	3	4	5		
$n_i$	4	4	4	5	5		Her satırın istasyon sayıları yazılır.
$M_{ij}$	+0.053	+0.120	+0.075	+0.050	+0.035		Her satırın eğimi, (6.13) ve (6.14) nolu eşitliklerle hesaplanır.
$n_i^2$ ya da $(n_{i.} \cdot l) / (n_i \cdot l)$	64	64	64	144	144	480	$n_i$ çift ise $n_i$ , tek ise $(n_i - 1) / 2 \cdot (n_i - 1)$ değeri hesaplanır ve tümü toplanır.
$w_i$	0.133	0.133	0.133	0.300	0.300	1.000	Bir üst sıradaki değerlerin her biri toplam olan 480' e bölünür.
$w_i M_{ij}$	+0.007	+0.016	+0.010	+0.015	+0.011	+0.059	$w_i M_{ij}$ değerlerinin toplamı olan +0.059 aranan $M_c$ değerini verir.

Çizelge 6.5. Yıkılcı deşarjlarında toz ve duman miktarının hesaplanması

Faktör	Kolon no./					Toplam	Not
	1	2	3	4	5		
$m_i$	5	5	5	5	2		Her kolonun istasyon sayıları yazılır.
$M_{e_i}$	-0.082	-0.195	-0.650	-0.227	+0.010		Her kolonun eğimi, (6.15) ve (6.16) nolu eşitliklerle hesaplanır.
$m_i^3$ ya da $(m_i + 1)^2(m_i - 1)$	144	144	144	144	8	584	$m_i$ çift ise $m_i^3$ , tek ise $(m_i + 1)^2(m_i - 1)$ değeri hesaplanır ve tümü toplanır
$w_i$	0.247	0.247	0.247	0.247	-0.014	1.000	Bir üst sıradaki değerlerin her biri toplam olan 584'e bölünür.
$w_i M_{e_i}$	-0.020	-0.048	-0.161	-0.056	+0.000	-0.285	$w_i M_{e_i}$ değerlerinin toplamı olan -0.285 aranan $M_d$ değerini verir.



Şekil 6.10. Tesviye yapılacak arazide istasyonlar



Şekil 6.11. Tesviye düzlemi mira değerinin artması ve azalması koşulları

$$K_{11} - K_{12} - D_{11} + D_{12} - M_x = H_{12} - H_{11} \quad (6.20)$$

Benzer biçimde, Y eksenine doğrultusunda tesviye düzlemi mira değerleri artıyorsa:

$$K_{11} - K_{21} - D_{11} + D_{21} + M_y = H_{21} - H_{11} \quad (6.21)$$

ve Y eksenine doğrultusunda tesviye düzlemi mira değerleri azalıyorsa:

$$K_{11} - K_{21} - D_{11} + D_{21} - M_y = H_{21} - H_{11} \quad (6.22)$$

eşitlikleri elde edilir.

Burada verilen (6.19), (6.20), (6.21) ve (6.22) nolu eşitlikler genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

X eksen doğrultusunda;

$$K_{i,j} - K_{i(j-1)} - D_{i,j} + D_{i(j-1)} \mp M_x = H_{i(j-1)} - H_{i,j} \quad (6.23)$$

Y eksen doğrultusunda;

$$K_{i,j} - K_{i-1,j} - D_{i,j} + D_{i-1,j} \mp M_y = H_{i-1,j} - H_{i,j} \quad (6.24)$$

Bu eşitliklerde, göz önüne alınan eksen doğrultusunda, tesviye düzlemi mira değerleri artıyorsa,  $M_x$  ya da  $M_y$ 'nin işareti (+), aksi durumda (-) alınır. Buna, doğal zemin mira değerleri dikkate alınarak ilk bakışta karar verilebileceği gibi, göz önüne alınan eksen doğrultusunda ardışık her istasyon için,

$$H_{i(j-1)} - H_{i,j}$$

ya da;

$$H_{i-1,j} - H_{i,j}$$

işlemleri yapılır ve işaretleri ile toplanır. Sonuç (+) çıkarsa eğimin işareti (+), aksi durumda (-) alınır.

**Arazi tesviyesinde doğrusal programlama modeli :** Arazi tesviye projesi için doğrusal programlama modelinin genel biçimi aşağıda verilmiştir.

1) Amaç fonksiyonu;

Arazi tesviye projelerinde amaç, toplam kazı derinliğini en az kılmaktır.

$$\min K = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n K_{ij}$$

2) Kısıtlar;

a) Kazı ve dolgu miktarları açısından;

$$K_{i,j} - K_{i(j-1)} - D_{i,j} + D_{i(j-1)} \mp M_x = H_{i(j-1)} - H_{i,j}$$

$$K_{i,j} - K_{i-1,j} - D_{i,j} + D_{i-1,j} \mp M_y = H_{i-1,j} - H_{i,j}$$

b) Eğim sınırlamaları açısından;

$$M_{x_1} \leq M_x \leq M_{x_2}$$

$$M_{y_1} \leq M_y \leq M_{y_2}$$

c) Kazı-dolgu oranı ( $R = \Sigma K / \Sigma D$ ) sınırlamaları açısından;

$$R_a \leq R \leq R_b$$

d) Pozitiflik koşulu;

$$K_{ij}, D_{ij}, M_{in}, M_{oj} \geq 0$$

Burada,  $M_{in}$ ,  $M_{oj}$  ve  $R_a$ , tesviye düzlemi eğimleri ve kazı-dolgu oranının alt sınırlarını,  $M_{in}$ ,  $M_{oj}$  ve  $R_b$  ise üst sınırlarını ifade etmektedir. Tesviye düzlemi eğimlerinin alt ve üst sınırları, uygulanacak yüzey sulama yöntemine göre belirlenir. Genellikle alt sınır % 0 ve üst sınır % 3'tür. Kazı - dolgu oranı alt ve üst sınırları ise, toprak bünye sınıfına göre daha önce verilen Çizelge 6.3'ten alınabilir.

Arazi tesviye projesinde doğrusal programlama modelinin kurulmasına ilişkin bir örnek, Şekil 6.5'teki tarla parseli dikkate alınarak aşağıda verilmiştir.

Öncelikle, X ve Y eksenleri daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi geçirilir. Bu eksenler doğrultusunda, tesviye düzlemi eğimleri olan  $M_x$  ve  $M_y$ 'nin işaretlerine karar verilir. Şekilde doğal zemin mira değerlerine bakarak, tesviye düzlemi mira değerlerinin X eksenı doğrultusunda artacağı ( $M_x$ 'in işaretinin + olacağı) ve Y eksenı doğrultusunda azalacağı ( $M_y$ 'nin işaretinin - olacağı) açıkça görülmektedir. Buna, aşağıdaki işlemler yapılarak ta karar verilebilir.

X eksenı doğrultusunda;

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (H_{i0-j} - H_{ij}) = (2.61 - 2.57) + (2.98 - 2.61) + \\ \dots + (2.51 - 2.43) = +3.64$$

Y eksenı doğrultusunda;

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (H_{i0-i} - H_{ij}) = (2.60 - 2.57) + (2.42 - 2.60) + \\ \dots + (2.51 - 2.67) = -3.04$$

Bu sonuçlara göre,  $M_x$ 'in işareti (+) ve  $M_y$ 'nin işareti (-) alınacaktır.

1) Amaç fonksiyonu;

$$\min K = K_{11} + K_{12} + \dots + K_{61}$$

2) Kısıtlar;

a) Kazı ve dolgu miktarları açısından;

X eksenı doğrultusunda;

$$K_{11} - K_{12} - D_{11} + D_{12} + M_x = 2.61 - 2.57 = 0.04$$

$$K_{12} - K_{13} - D_{12} + D_{13} + M_x = 2.98 - 2.61 = 0.37$$

$$K_{64} - K_{65} - D_{64} + D_{65} + M_x = 2.51 - 2.43 = 0.08$$

Y eksenine doğrultusunda:

$$K_{21} - K_{22} - D_{11} + D_{21} + M_y = 2.60 - 2.57 = 0.03$$

$$K_{21} - K_{23} - D_{21} + D_{31} + M_y = 2.42 - 2.60 = -0.18$$

Doğrusal programlama modellerinde, eşitliğin sağ tarafının (+) olması gerektiğinden, eşitliğin her iki tarafı (-1) ile çarpılarak düzeltilir ve son eşitlik modele aşağıdaki biçimde girer.

$$-K_{21} + K_{23} - D_{21} + D_{31} + M_y = 0.18$$

$$-K_{55} + K_{65} + D_{55} - D_{65} + M_y = -(2.51 - 2.67) = 0.18$$

b) Eğim sınırları açısından;

Örnekte, X ve Y eksenine doğrultularındaki tesviye düzlemi eğiminin alt sınırı %0 ve üst sınırı ise % 3 (istasyonlar arası mesafe  $d = 30$  m için  $\pm 1$  m/30 m) alınmıştır.

$$M_x \geq 0$$

$$M_x \leq 1$$

$$M_y \geq 0$$

$$M_y \leq 1$$

Modelde,  $M_x$  ve  $M_y$  değişken olduğundan ve pozitif olması gerektiğinden,  $M_x \geq 0$  ve  $M_y \geq 0$  ifadeleri kısıt olarak yazılmaz.

c) Kazı-dolgu oranı sınırları açısından;

Örnekte, kazı-dolgu oranınının 1.40 - 1.60 arasında kalması istenmektedir. Buna göre;

$$R \geq 1.40$$

$$\frac{\sum K}{\sum D} \geq 1.40$$

$$\sum K \geq 1.40 \sum D$$

$$\sum K - 1.40 \sum D \geq 0$$

$$K_{11} + K_{12} + \dots + K_{65} - 1.4D_{11} - 1.4D_{12} - \dots - 1.4D_{65} \geq 0$$

Benzer biçimde,

$$\frac{\sum K}{\sum D} \leq 1.60$$

$$\sum K - 1.60 \sum D \leq 0$$

$$K_{11} + K_{12} + \dots + K_{65} - 1.6D_{11} - 1.6D_{12} - \dots - 1.6D_{65} \leq 0$$

3) Pozitiflik koşulu

Doğrusal programlama modellerinde değişkenler pozitif olmalıdır.

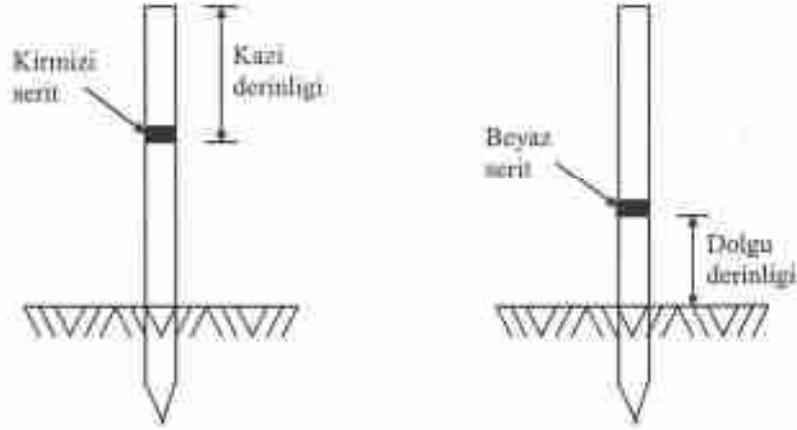
$$K_{ij}, D_{ij}, M_x, M_y \geq 0$$

Hazırlanan bu doğrusal programlama modeli, doğrusal programlama yazılımlarından biri kullanılarak bilgisayarda çözülür ve her istasyondaki kazı ve dolgu derinlikleri elde edilir.

### 6.3.10. 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 6.12 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 6.12 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 makine çalıştırılabilir. Tesviye makineleri hacim dağıtım planına göre, kazı alanındaki toprağı projede öngörülen miktarda kazarak dolgu alanlarına serer.



Sekil 6.12. İstasyon kazıklarının isaretleşmesi

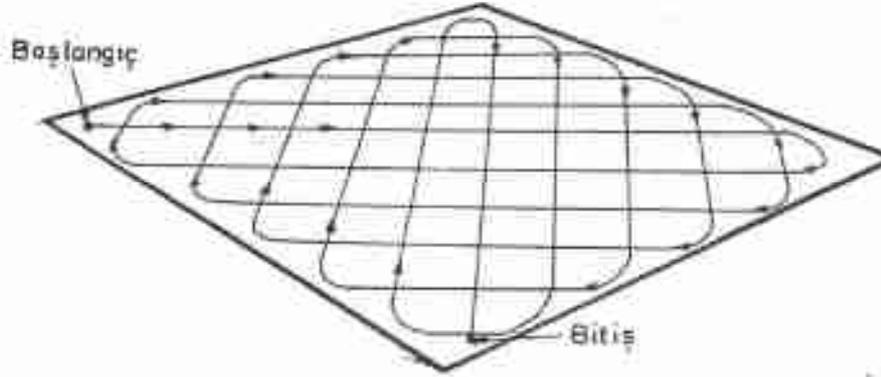
Makinalar genellikle kazıklara paralel yönde hareket eder. Kaba tesviye yapılırken, tesviyenin bittiği yerlerde bir nivelman aleti yardımıyla eğim devamlı kontrol edilir.

Kaba tesviye yapıldıktan sonra istasyonlardaki mira değerleri tekrar olunur 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 makinaları ile giderilir.

Bundan sonra ince tesviye işlemine geçilir. Bu işlem lendleyn 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 (Sekil 6.13).

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

İzin verilen hata sınırı kaba tesviyede +4 cm, ince tesviyede ise  $\pm 2$  cm'dir.



Şekil 6.13. İnce tesviye makinalarının hareket yönü

### 6.3.11. Tesviyenin Yıllık Bakımı

Arazi 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 karıştırılmak organik materyalin artırılması büyük yarar sağlar. Kazı alanlarına fazla miktarda çiftlik gübresinin karıştırılması da aynı görevi yapar.

Tesviye sonrası ilk toprak işleme ve sulamalar sonucunda, kazılan alanların kabarması ve dolgu alanlarının oturmaları, 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.

## 6.4. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ

- 1) Şekil 6.14'te verilen tarla parselinin tesviye projesini en küçük kareler ve simetrik artıklar yöntemlerini kullanarak yapınız ( $d = 30$  m).
- 2) Şekil 6.15'te verilen tarla parselinin tesviye projesini en küçük kareler ve simetrik artıklar yöntemlerini kullanarak yapınız ( $d = 20$  m).
- 3) Şekil 6.14 ve 6.15'te verilen tarla parselleri için doğrusal programlama modelleri oluşturunuz.

138	134	143	117	115	104	0.90
153	136	135	120	118	110	0.90
176	154	162	145	134	132	0.90
165	206	189	154	140	126	0.90
170	192	155	150	138	134	0.90
197	190	174	183	172	166	1.08
1.20	1.20	1.20	1.20	1.20		

Şekil 6.14. Çalışma problemi 1'e ilişkin tarla parseli

223	224	253	227	272	1.46	
215	228	246	256	260	275	1.52
206	217	233	240	261	265	278
182	192	218	225	236	241	268
169	174	201	210	227	233	251
140	151	186	190	202	216	234
118	120	134	152	173	190	208
0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

Şekil 6.15. Çalışma problemi 2'ye ilişkin tarla parseli

## YÜZEY SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI

Yüzeysel sulama yöntemlerinde su, tarla başı kanalları ya da lateral boru hatlarından tarla parsellerine alınır ve arazi yüzeyinde belirli bir eğim doğrultusunda yerçekiminin etkisi ile ilerler. Suyun bu ilerlemesi sırasında bir yandan da infiltrasyonla toprak içerisine girer ve bitki kök bölgesinde depolanır.

Yüzeysel sulama yöntemlerinde temel ilke, tarla parselinin her tarafında, en azından uygulanacak net sulama suyu miktarının infiltrasyonla toprak içerisine girmesi için gerekli süre (net infiltrasyon süresi) kadar toprak yüzeyinde su bulundurmaktır.

Yüzeysel sulama yöntemlerini, salma, göllendirme, uzun tava ve kırık sulama yöntemleri biçiminde sınıflandırmak mümkündür. Göllendirme işlemi, tavalarda ya da kapalı kırıklarda yapılabilir. Tavalarda yapılan göllendirmeye tava sulama yöntemi adı verilmektedir.

Yüzeysel sulama yöntemlerinin uygulandığı alanlarda suyun tarla parsellerine iletimi ve dağıtımı genellikle açık kanal sistemleri ile yapılmaktadır. Ancak, topografik koşullar nedeniyle bazen düşük basınçlı boru sistemleri de kullanılabilir.

Yüzeysel sulama sistemlerinin tasarımı ve işletilmesi için sulanacak alanda su alma (infiltrasyon) özelliklerinin bilinmesi, başka bir deyişle, toprağın su alma hızı ve eklemeli su alma eşitliğinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu da, arazide yapılacak infiltrasyon testleri ile sağlanabilir.

### 7.1. TOPRAĞIN SU ALMA ÖZELLİKLERİ

Toprağın su alma özelliklerini belirlemek amacıyla, tava ve uzun tava sulama yönteminde silindirik infiltrometrelerle, kırık sulama yönteminde ise kırıklara giren ve çıkan suyun ölçülmesi yoluyla arazide infiltrasyon testleri yapmak ve eklemeli zaman (infiltrasyon süresi) değerlerine karşılık eklemeli su alma (infiltrasyon miktarı) değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir.

Su alma özellikleri açısından topraklar, Amerika Birleşik Devletleri Tarım Teşkilatı Toprak Muhafaza Servisi (USDA-SCS) tarafından farklı infiltrasyon gruplarına ayrılmıştır. Bu infiltrasyon gruplarına ilişkin eklemeli su alma eşitliği;

$$D = aT^b + c \quad (7.1)$$

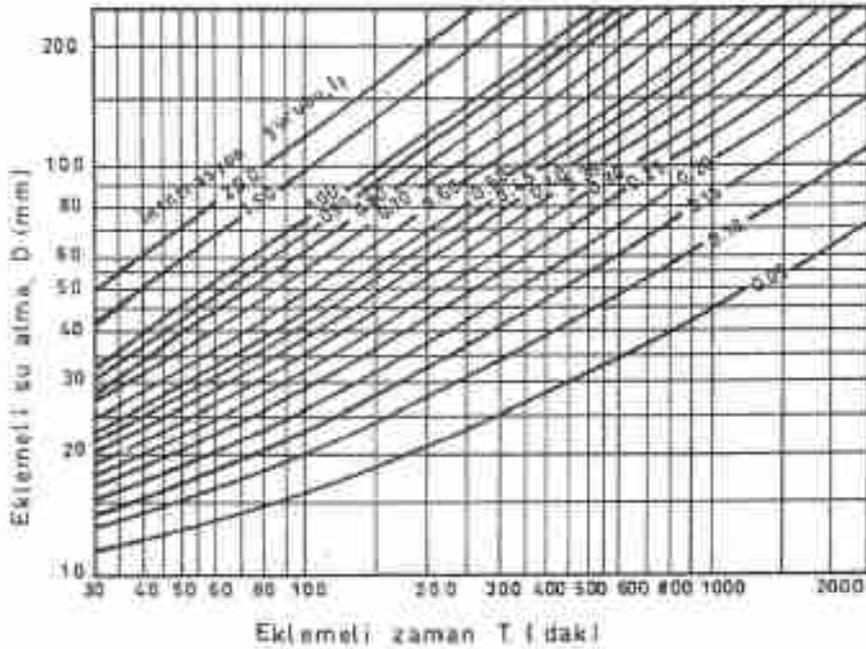
biçimindedir. Eşitlikte;

- $D$  = Eklemeli su alma (infiltrasyon miktarı), mm,  
 $T$  = Eklemeli zaman (infiltrasyon süresi), dak,  
 $a, b, c$  = Infiltrasyon gruplarına ait katsayılardır.

Infiltrasyon gruplarına ilişkin eğriler Şekil 7.1'de ve bu gruplara ilişkin katsayılar Çizelge 7.1'de verilmiştir. Çizelgedeki  $f$  ve  $g$  katsayıları karık sulama yönteminde suyun karıklarda ilerleme özelliklerine ait katsayılardır.

Arızide yapılacak infiltrasyon testleri sonucunda elde edilecek eklemeli zaman ( $T$ , dak) değerlerine karşılık eklemeli su alma ( $D$ , mm) değerleri Şekil 7.1'de işaretlenerek en uygun infiltrasyon grubu ( $I_f$ ) belirlenir. Bu infiltrasyon grubuna ait katsayılar Çizelge 7.1'den alınır.

Burada dikkat edilecek konu, tava ve uzun tava sulama yöntemleri için silindirik infiltrometre, karık sulama yöntemi için karıklara giren ve çıkan suyun ölçülmesi sonuçlarına göre infiltrasyon gruplarının belirlenmesi gerektiridir.



Şekil 7.1. USDA-SCS infiltrasyon gruplarına ait eğriler

Çizelge 7.1. USDA-SCS infiltrasyon gruplarına ait katsayılar

Infiltrasyon grubu, $I_f$	Katsayılar				
	a	b	c	f	g
0.05	0.5333	0.618	7.0	7.16	$1.088 \times 10^{-4}$
0.10	0.6198	0.661	7.0	7.25	$1.251 \times 10^{-4}$
0.15	0.7110	0.683	7.0	7.34	$1.414 \times 10^{-4}$
0.20	0.7772	0.699	7.0	7.43	$1.578 \times 10^{-4}$
0.25	0.8534	0.711	7.0	7.52	$1.741 \times 10^{-4}$
0.30	0.9246	0.720	7.0	7.61	$1.904 \times 10^{-4}$
0.35	0.9957	0.729	7.0	7.70	$2.067 \times 10^{-4}$
0.40	1.064	0.736	7.0	7.79	$2.230 \times 10^{-4}$
0.45	1.130	0.742	7.0	7.88	$2.393 \times 10^{-4}$
0.50	1.196	0.748	7.0	7.97	$2.556 \times 10^{-4}$
0.60	1.321	0.757	7.0	8.15	$2.883 \times 10^{-4}$
0.70	1.443	0.766	7.0	8.33	$3.209 \times 10^{-4}$
0.80	1.560	0.773	7.0	8.50	$3.535 \times 10^{-4}$
0.90	1.674	0.779	7.0	8.68	$3.862 \times 10^{-4}$
1.00	1.784	0.785	7.0	8.86	$4.188 \times 10^{-4}$
1.50	2.284	0.799	7.0	9.76	$5.819 \times 10^{-4}$
2.00	2.753	0.808	7.0	10.65	$7.451 \times 10^{-4}$

Silindir infiltrometre sonuçları karık sulama yöntemi için, karıklara giren ve çıkan suyun ölçülmesi sonuçları ise tava ve uzun tava yöntemleri için kullanılmamalıdır. Bunun yanında, tava ve uzun tava sulama yöntemleri için belirli bir infiltrasyon grubunda olan arazi, karık sulama yöntemi için başka bir infiltrasyon grubunda olabilir.

Burada, yalnızca infiltrasyon testlerini gerektirmesi ve son derece pratik olması nedeniyle, yüzey sulama sistemlerinin tasarımında USDA-SCS yöntemi üzerinde durulacaktır.

#### 7.1.1. Net İnfiltrasyon Süresi

Yüzey sulama sistemlerinin tasarımında son derece önemli bir parametre olan net infiltrasyon süresi, her defasında uygulanacak net sulama suyu miktarının infiltrasyonla toprak içerisine girmesi için geçen süre biçiminde tanımlanmaktadır. Bu değer, (7.1) nolu eşitlikte infiltrasyon miktarı ( $D$ ) yerine, uygulanacak net sulama suyu miktarının ( $d_n$ ) yazılması ve eşitliğin düzenlenmesi ile elde edilecek;

$$T_n = \left( \frac{d_n - c}{a} \right)^{1/b} \quad (7.2)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte;

- $T_n$  = Net infiltrasyon süresi, dak,  
 $d_n$  = Uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm,  
 $a, b, c$  = Infiltrasyon grubuna ait katsayılarıdır.

Örneğin, infiltrasyon grubu  $I_f = 0.80$  olarak saptanan bir tarla parseline uygulanacak net sulama suyu miktarı  $d_n = 70$  mm ise net infiltrasyon süresi (Çizelge 7.1'den  $I_f = 0.80$  için  $a = 1.560$ ,  $b = 0.773$  ve  $c = 7.0$ );

$$T_n = \left( \frac{d_n - c}{a} \right)^{1/b} = \left( \frac{70 - 7.0}{1.560} \right)^{1/0.773} = 120 \text{ dak}$$

bulunur. Bunun anlamı, tarla parselinin her tarafında en az 120 dak süre ile toprak yüzeyinde su bulundurulmalıdır.

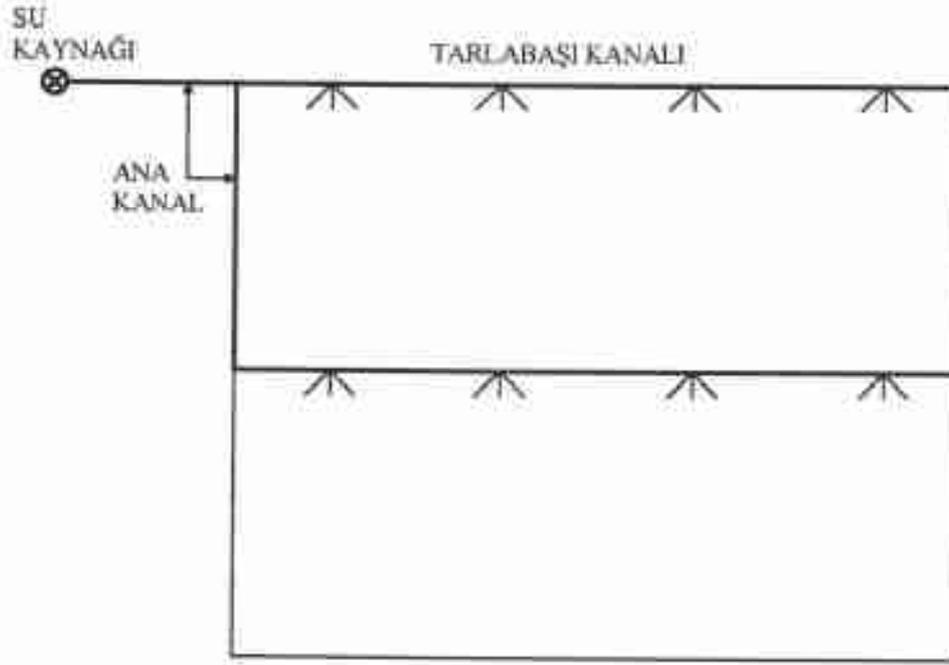
## 7.2. SALMA SULAMA YÖNTEMİ

Salma sulama yönteminde, tarla başı kanalından tarla parseline alınan su parsel boyunca arazi üzerinde rast gele yayılmaya bırakılır. Su toprak yüzeyinde ilerlerken bir yandan da infiltrasyonla toprak içerisine girer ve bitki kök bölgesinde depolanır (Şekil 7.2). Bu uygulama biçiminde, sulama doğrultusunda eğimin % 3'ü geçmemesi ve sulamaya dik yönde eğim olmaması gerekir.

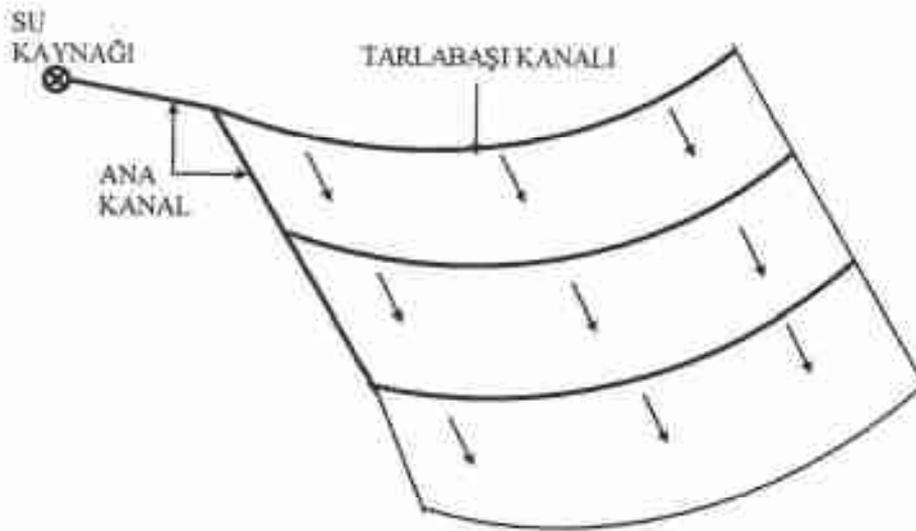
Teorik olarak, suyun toprak yüzeyini bir tabaka biçiminde kaplayarak akacağı öngörülür. Ancak, uygulamada bu koşul genellikle gerçekleşmez. Su eğim doğrultusunda düzensiz olarak ilerler ve çokluk eş olmayan bir su dağılımı meydana gelir. Başka bir deyişle, tarla parselinin belirli kesiminde gereğinden daha fazla, belirli kesiminde ise gereğinden daha az bir su uygulaması söz konusu olur. Bu nedenle, su uygulama randımanı son derece düşüktür.

Salma sulama yönteminin bir değişik uygulaması, tarla başı kanalından suyun şişirilerek taşırılması ve taşan suyun tarla parseli boyunca yayılmasıdır (Şekil 7.3). Bu amaçla kanalın su alacak taraftaki banketi daha düşük yapılır ya da bu banket 2 - 3 m aralıkla kazılarak suyun tarla parseline alınması sağlanır. Bu uygulama biçimi, arazinin sulama doğrultusunda eğimli olması koşulunda kullanılır. Genellikle, tepe eteklerinde eğimi % 15'e kadar olan araziye uygulanır. Ancak, yağışların oluşturduğu yüzey akışı ve erozyona uygun topraklar söz konusu ise eğim % 4'ü geçmemelidir. Tarla başı kanalları, tesviye eğrilerine paralel olacak biçimde çok düşük eğimde açılır.

Salma sulama yönteminin tek avantajı ilk tesis masraflarının çok düşük olmasıdır. Buna karşın, tarla parseli boyunca eş bir su dağılımının sağlanamaması,



Şekil 7.2. Salma sulama yönteminin düz araziye uygulanması



Şekil 7.3. Salma sulama yönteminin yamaç araziye uygulanması

su uygulama randımanının son derece düşük olması, tuzluluk ve sodyumluluk sorununun ortaya çıkabilmesi nedenleriyle bu yöntemin uygulanması pek önerilmemektedir. Salma sulama yöntemi ancak;

- 1) Su kaynağı açısından her hangi bir kısıtın bulunmaması ve sulama işçiliği masraflarının düşük olması,
- 2) Kullanılabilir su tutma kapasitesi nispeten yüksek orta ve ağır bünyeli topraklar,
- 3) Doğal drenajın iyi olduğu derin topraklar,
- 4) Arazi terbiyesini gerektirmeyecek kadar yeknesak eğime sahip düz ya da yatnaç arazi,
- 5) Topraktaki nem eksikliği ve nem fazlalığına, bunun yanında, kök boğazının iletilemesinden kaynaklanan hastalıklara dayanıklı olmayan, pazar değeri yüksek olmayan ürün elde edilen çayır ve mera bitkilerinin sulanması

koşullarının tamamı söz konusu ise uygulanabilmektedir.

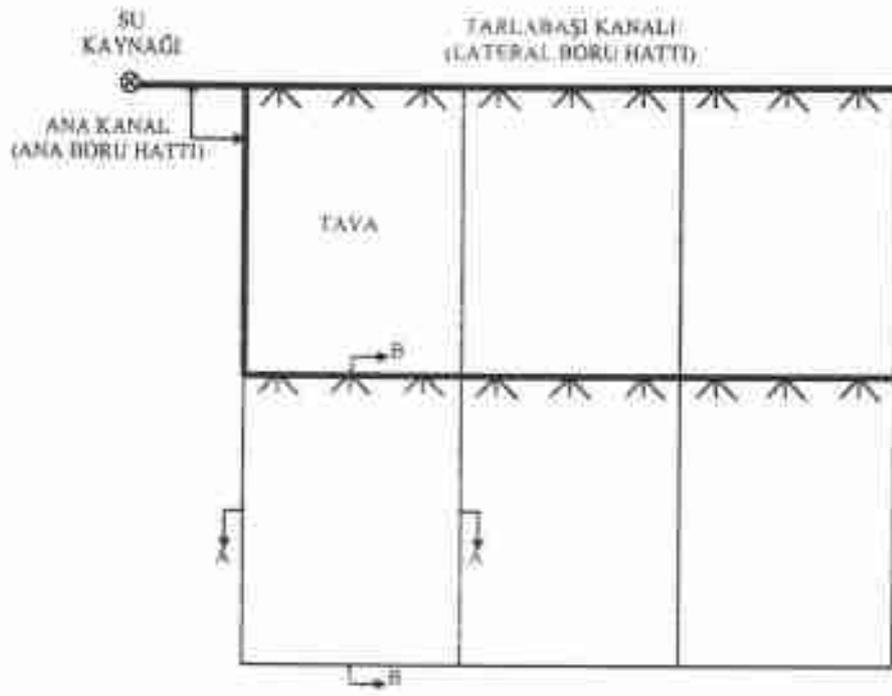
### 7.3. SALMA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI

Salma sulamada, su iletimi ve dağıtımını, genellikle, toprak kanalları yapılır. Sistem, deneyimlerden elde edilen bilgilere göre tasarlanır. Arazi üzerinde devamlı akis ya da kesikli akis uygulanabilmektedir. Devamlı akista, 0,7 L/s/ha debi değeri önerilebilir. Tarla bası kanalları arasındaki mesafe eğime ve eğim yeknesaklığına bağlı olarak 25 - 100 m arasında değişir. Düzgün ve düşük eğimde, kanallar arasındaki mesafe fazla alınır. Suyun tarla bası kanalında sisirilmesi söz konusu olduğundan tarla bası kanallarının eğimi % 0,1'i geçmemelidir. Tarla parselinden çıkan su bir alt tarla bası kanalına alınacak biçimde kanal banketi düzenlenirse daha yüksek su uygulama randımanı elde edilebilir.

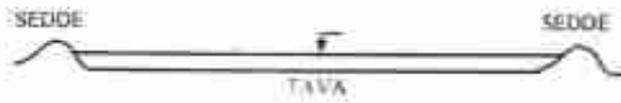
Kesikli akis genellikle, sulama doğrultusunda eğimin düşük olduğu koşullarda uygulanmaktadır. Kesikli akista tarla basına alınacak suyun 1 m parsel genişliği için 1 L/s (1 L/s/m) olması önerilebilir. Tarla bası kanalları arasındaki mesafe devamlı akisa oranla biraz daha fazla alınabilir. Tarla bası kanalında % 0,2 eğime kadar izin verilebilir.

### 7.4. TAVA SULAMA YÖNTEMİ

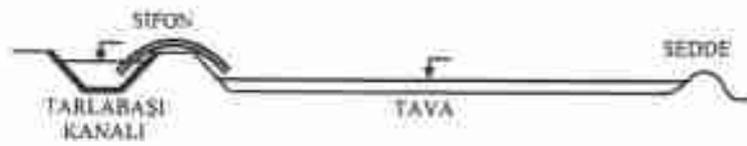
Tava sulama yönteminde, sulanacak tarla parseli toprak seddelerle çevrülerek eğimsiz alt parsellere ayrılır. Bu alt parsellere tava adı verilir. Tarla bası kanalı ya da lateral boru hatından su tavalara bir ya da birkaç yerden alınır (Şekil 7.4). Tava debisi, suyun tava içerisinde olanaklar ölçüsünde kısa sürede göllenmesini sağlayacak kadar yüksek olur. Tavada göllenen su, zaman boyutunda infiltrasyonla toprak içerisine girer ve bitki kök bölgesinde depolanır.



A-A KESİTİ



B-B KESİTİ

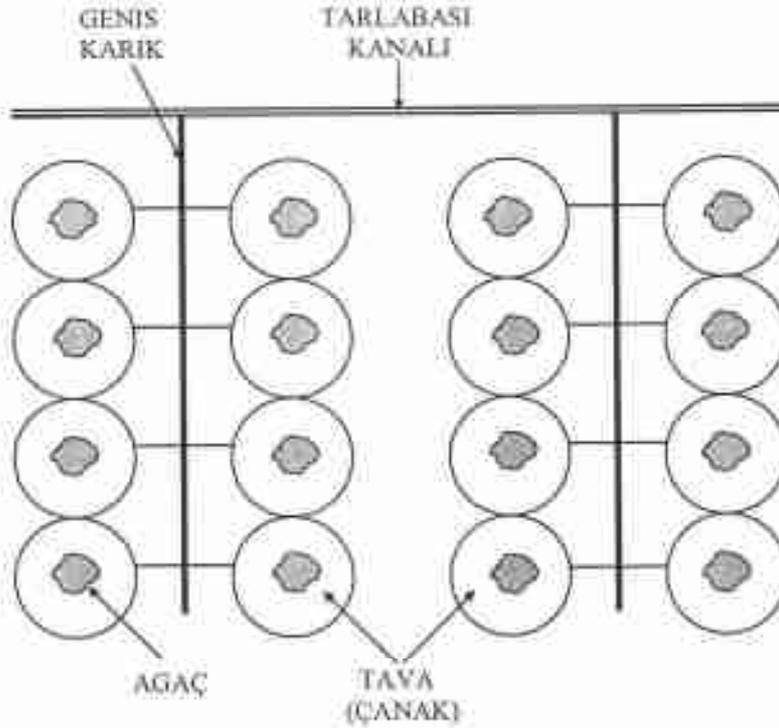


Şekil 7.4. Tava sulama sistemi unsurları

#### 7.4.1. Tava Sulama Yönteminin Uygulanacağı Koşullar

**Bitki özellikleri :** Yöntem genellikle, sık ekilen hububat, yem bitkileri ve çayır mera bitkileri ile meyve bahçelerinin sulanmasında kullanılmaktadır. Çeltik için uygulanabilecek tek sulama yöntemidir. Bitkilerin kök boğazının iletilemesinden kaynaklanan hastalıklara duyarlı olmaması gerekir. Tarla bitkilerinin sulanmasında tava boyutları oldukça büyüktür. Meyve bahçelerinin sulanmasında ise bir ya da birkaç ağaca hizmet edecek biçimde küçük boyutlu tavalar kullanılır (Şekil 7.5). Bu tavalara su ağaç sıraları arasında açılan geniş karıklardan verilir.

**Toprak özellikleri :** Tava sulama yöntemi, kullanılabılır su tutma kapasitesi nispeten yüksek orta ve orta ağır bünyeli derin topraklarda uygulanır. Su alma hızı yüksek hafif bünyeli topraklar ile su alma hızı çok düşük kaymak tabakası bağlama özelliğindeki kil oranı yüksek ağır bünyeli topraklarda genellikle uygulanmaz.



Şekil 7.5. Tava sulama yönteminin meyve bahçelerine uygulanması

**Topografya özellikleri :** Tavaların sulamaya dik yönde tamamen eğimsiz olması gerekir. Sulama doğrultusunda ise ya eğimsiz ya da tava uçları arasındaki yükseklik farkının uygulanacak net sulama suyu miktarının yarısını ( $d_s/2$ ) geçmeyecek kadar düşük eğimde olmalıdır. Bu nedenle oluşturulan her tava hafif tesviye makineleri ile özel olarak tesviye edilir.

**Su kaynağı :** Suyun tava içerisinde kısa sürede göllenendirilebilmesi için tava debisi yüksek olmalıdır. Bu nedenle, genel olarak 30 L/s'den daha düşük kapasiteye sahip su kaynağı söz konusu ise tava sulama yönteminin uygulanması son derece güçtür.

#### **7.4.2. Tava Sulama Yönteminin Üstünlükleri ve Uygulanmasını Kısıtlayan Etmenler**

Tava sulama yönteminin üstünlükleri şöylece sıralanabilir:

- 1) Yüzeysel akış söz konusu olmadığından yüzeysel drenaj kanallarına gerek yoktur. Bu nedenle, sistem maliyeti düşük olur.
- 2) Kontrollü sulama ile derine sızan su miktarı azaltılabilir. Yüzeysel akış da olmadığından yüksek su uygulama randımanı elde edilir.
- 3) Kalifiye işçiyeye gerek yoktur.
- 4) İyi tesviye yapılırsa tava büyüklüğü 160 da kadar olabilmektedir.
- 5) Yağışlardan en üst düzeyde yararlanılabilir.
- 6) Tuzlu topraklar etkin bir biçimde yıkanabilir.

Yöntemin uygulanmasını kısıtlayan faktörler ise aşağıda verilmiştir.

- 1) Tavalar eğimsiz olacağından özel arazi tesviyesini gerektirir.
- 2) Derine sızmayı önlemek için kontrollü sulama yapılmalıdır. Aksi durumda toprakaltı drenaj sistemi kurmak gerekir. Bu da sistem maliyetini artırır.
- 3) Tava debisi yüksek olduğundan tava başlangıcında erozyonu önlemek için özel yapılar gerekebilir.

#### **7.5. TAVA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI**

Meyve bahçelerinde uygulanan küçük boyutlu tavalara için özel bir tasarıma gerek yoktur. Tavaların eğimsiz olması ve tava içerisinde kısa sürede uygulanacak net sulama suyu miktarı ( $d_s$ ) kadar su derinliğinin elde edilmesi yeterlidir.

Tarla bitkilerinin sulanmasında kullanılan büyük boyutlu tavalara içeren sistem tasarımı için gerekli eşitlikler aşağıda verilmiştir.

Maksimum akış uzunluğu - birim tava debisi ilişkisi:

$$L_{\max} = \frac{6 \times 10^4 q_a T_i}{\frac{a T_i^b}{1-b} - c - 1798 n^{1.48} q_a^{0.78} T_i^{0.78}} \quad (7.3)$$

Sulama süresi;

$$T_s = \frac{d_s L}{600 q_a E_a} \quad (7.4)$$

Akış derinliği;

$$d = 2250 n^{1.48} q_a^{0.78} T_s^{0.78} \quad (7.5)$$

Bu eşitliklerde;

- $L_{\max}$  = Maksimum akış uzunluğu, m.
- $q_a$  = Birim tava debisi,  $m^3/s/m$ .
- $T_i$  = Su ilerleme süresi, dak.
- $a, b, c$  = İnfiltrasyon grubuna bağlı katsayılar.
- $n$  = Manning pürüzlülük katsayısı.
- $T_s$  = Sulama süresi, dak.
- $d_s$  = Uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm.
- $E_a$  = Su uygulama randımanı, % ve
- $d$  = Akış derinliği, mm'dir.

Tava sulama yönteminde tava uzunluğu en çok maksimum akış uzunluğu kadar alınabilir. Tava eni ise en çok tava uzunluğu kadar olabilir. Tava eni zorunlu kalmadıkça 40 m'den daha kısa olmamalıdır.

Birim tava debisi ( $q_a$ ), 1 m tava eni için gerekli olan debidir. Tava sulama yönteminde en az 1 L/s/m olması istenir. Tava debisi ( $Q$ ), birim tava debisi tava eni ile çarpılarak bulunur.

Su ilerleme süresi ( $T_i$ ), tavaya verilen suyun tava sonuna ulaşması için geçen süredir. Su ilerleme süresinin net infiltrasyon süresine oranı, su ilerleme oranı ( $R = T_i / T_a$ ) biçiminde tanımlanmaktadır. Tava sulama yönteminde su uygulama randımanı ile su ilerleme oranı arasındaki ilişki Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Tava sulama yönteminde su uygulama randımının en az % 80 olması istenir. Aksi durumda, derine sızan su miktarı artar ve bu suyun uzaklaştırılması için toprakaltı drenaj sistemi gerekebilir. Çizelge 7.2'den izleneceği gibi,  $E_a = \%80$  değerine karşılık, su ilerleme oranı,  $R = 0.58$ 'dir. Başka bir deyişle, tavaya verilen su, net infiltrasyon süresinin en çok % 58'i kadar sürede (kabaca % 60 alınabilir) tava sonuna ulaşacak biçimde tava uzunluğu seçilir.

Çizelge 7.2. Tava sulama yönteminde su ilerleme oranı – su uygulama randımanı ilişkisi

Su ilerleme oranı, $R = T_i / T_u$	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
3.20	50

Tava sulama yönteminde, Manning pürüzlülük katsayısı ( $n$ ) değerleri, tarımı yapılan bitki cinsine göre Çizelge 7.3'te verilmiştir.

Akış derinliği ( $d$ ), tava başlangıcında toprak yüzeyindeki suyun derinliğidir. Bu değer en çok 150 mm olması istenir. Eğer  $T_i > T_u$  ise (7.5) nolu eşitlikte  $T_u$  yerine  $T_i$  alınır.

Tava sulama sistemi işletilirken tarla başı kanalındaki suyun tamamı bir tavaya verilir. Bu tavada sulama tamamlandıktan sonra bir diğerine geçilir. Başka bir deyişle, sıralı bir sulama yapılır.

Sistem tasarımı farklı seçenekler üzerinde durulur. Bu seçenekler içerisinde en fazla tava uzunluğuna sahip olanı seçilir. Bunun nedeni, tava uzunluğu fazla olduğunda su iletimi ve dağıtımı için daha az açık kanal ya da düşük basınçlı boru hattı uzunluğuna gerek duyulması ve sistem maliyetinin düşmesidir. Tava uzunluğunun en fazla olduğu birden fazla seçenek varsa, öncelikle sulamanın tamamlanacağı gün sayısı en az ve sonra en fazla tava emine sahip olanı seçilir.

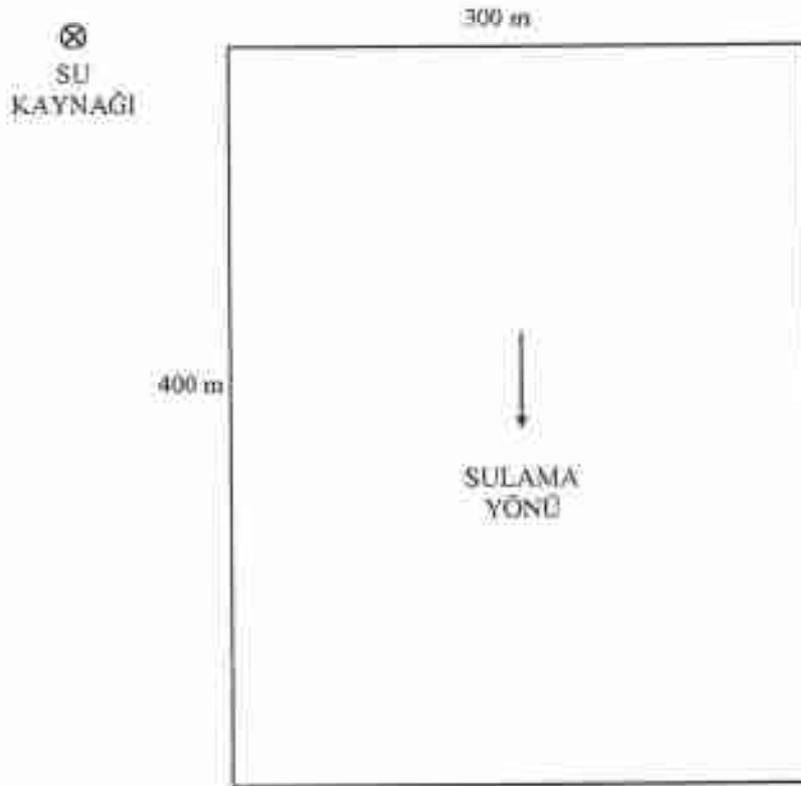
Tava sulama sistemlerinin tasarımına ilişkin sayısal bir örnek aşağıda verilmiştir.

#### Verilenler :

Şekil 7.6'da verilen tarım işletmesinde tava sulama yöntemi uygulanacaktır. Yapılan kaynak araştırması, infiltrasyon testleri ve hesaplamalar sonucunda aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

Çizelge 7.3. Tava ve uzat tava sulama yöntemlerinde Manning pürüzlülük katsayısı

Bitki cinsi	Manning pürüzlülük katsayısı, n
Düz çıplak işlenmemiş toprak yüzeyi	0.04
Sulama doğrultusuna paralel mibzerle ekilmiş hububat	0.10
Yonca vb. yem bitkileri, elle serpilerek ekilmiş hububat	0.15
Sulama doğrultusuna dik yönde mibzerle ekilmiş hububat, çayır mera bitkileri, çok sık ekilmiş diğer bitkiler	0.25



Şekil 7.6. Tava sulama sistem tasarımının yapılacağı örnek arazi

- Su iletimi ve dağıtımı açık kanal sistemi ile yapılacaktır.
- Su kaynağından tarla başı kanalına iletilecek debi :  $Q = 120 \text{ L/s}$
- Bitki cinsi : Hububat (sulama doğrultusunda mibzerle ekilmiş)
- Uygulanacak net sulama suyu miktarı :  $d_n = 76.2 \text{ mm}$
- İnfiltrasyon grubu :  $f_f = 0.50$
- Günde en çok 16 h sulama yapılabilecektir.

#### İstenenler :

Yukarıdaki verilere göre, tava boyutları, sulama süresi ve sistem tertibi istenmektedir.

#### Çözüm :

1) Net infiltrasyon süresi:

$f_f = 0.50$  için  $a = 1.196$ ,  $b = 0.748$ ,  $c = 7.0$  (Çizelge 7.1)

$$T_n = \left( \frac{d_n - c}{a} \right)^{1/b} = \left( \frac{76.2 - 7.0}{1.196} \right)^{1/0.748} = 227 \text{ dak}$$

2) Su iletme süresi:

Tava sulama yönteminde su uygulama randımanının en az  $E_a = \% 80$  olması istendiğinden  $R = 0.58$  olur (Çizelge 7.2).

$$T_i = R T_n = 0.58 \times 227 = 132 \text{ dak}$$

3) Tava boyutları:

Tava sulama yönteminde birim tava debisinin en az  $1 \text{ L/s/m}$  olması istendiğinden ve tarla başı kanalındaki suyun tamamı bir tavaya verileceğinden (aynı anda 1 tava sulanacaktır) maksimum tava eni,

$$b_{\max} = \frac{Q}{q_{\max}} = \frac{120}{1} = 120 \text{ m}$$

olabilir. Oysa, arazinin sulama doğrultusuna dik yöndeki uzunluğu  $300 \text{ m}$ 'dir. Bu durumda, arazi eni boyunca en çok 3 tava yerleştirilebilecek ve tava eni en çok  $100 \text{ m}$  alınabilecektir.

**1. SEÇENEK :** Tava eni  $b = 100 \text{ m}$  olsun (arazi enine 3 tava yerleştirilsin)

- Birim tava debisi:

$$q_s = \frac{Q}{b} = \frac{120}{100} = 1.2 \text{ L/s/m} = 0.0012 \text{ m}^3/\text{s/m}$$

- Maksimum akış uzunluğu;

Sulama doğrultusunda mibzerle ekilmiş hububat için  $n=0.10$  (Çizelge 7.3)

$$L_{max} = \frac{6 \times 10^4 q_a T_i}{\frac{dT_i^b}{1+b} + c + 1798 n^{3.8} q_a^{0.16} T_i^{2.16}}$$

$$L_{max} = \frac{6 \times 10^4 \times 0.0012 \times 132}{\frac{1.196 \times 132^{0.748}}{1+0.748} + 7.0 + 1798 \times (0.10)^{3.8} \times (0.0012)^{0.16} \times 132^{2.16}}$$

$$L_{max} = 124 \text{ m}$$

- Tava uzunluğu;

Sulama doğrultusunda arazi uzunluğu 400 m olduğundan ve tava uzunluğu maksimum akış uzunluğundan fazla olamayacağından bu arazi kenarı boyunca 4 adet tava yerleştirilir ve tava uzunluğu  $L = 100$  m alınır.

- Sulama süresi;

$$T_s = \frac{d_a L}{600 q_a E_d} = \frac{76.2 \times 100}{600 \times 0.0012 \times 80} = 132 \text{ dak} \approx 2.5 \text{ h}$$

- Günde en çok 16 h sulama yapılabileceği için 1 günde 6 tava sulanabilir. Toplam 9 tava olduğundan sulama 2 günde tamamlanır.

**2. SEÇENEK :** Tava eni  $b = 75$  m olsun (arazi enine 4 tava yerleştirilsin)

Benzer hesaplar yapılarak;

- Birim tava debisi :  $q_a = 1.6 \text{ L/s/m} = 0.0016 \text{ m}^3/\text{s/m}$

- Maksimum akış uzunluğu :  $L_{max} = 151 \text{ m}$

- Tava uzunluğu :  $L = 133 \text{ m}$

- Sulama süresi :  $T_s = 132 \text{ dak}$

- 1 günde 6 tava sulanır. Toplam 12 tava vardır ve sulama 2 günde tamamlanır.

**3. SEÇENEK :** Tava eni  $b = 60$  m olsun (arazi enine 5 tava yerleştirilsin)

- Birim tava debisi :  $q_a = 2.1 \text{ L/s/m} = 0.002 \text{ m}^3/\text{s/m}$

- Maksimum akış uzunluğu :  $L_{max} = 174 \text{ m}$

- Tava uzunluğu :  $L = 133 \text{ m}$

- Sulama süresi :  $T_s = 106 \text{ dak}$

- 1 günde 8 tava sulanır. Toplam 15 tava vardır ve sulama 2 günde tamamlanır.

**4. SEÇENEK :** Tava eni  $b = 50$  m olsun (arazi enine 6 tava yerleştirilsin)

- Birim tava debisi :  $q_v = 2,4 \text{ L/s/m} = 0,0024 \text{ m}^3/\text{s/m}$

- Maksimum akış uzunluğu :  $L_{\max} = 196 \text{ m} \approx 200 \text{ m}$

- Tava uzunluğu :  $L = 200 \text{ m}$

- Sulama süresi :  $T_s = 132 \text{ dak}$

- 1 günde 6 tava sulanır. Toplam 12 tava vardır ve sulama 2 günde tamamlanır.

**5. SEÇENEK :** Tava eni  $b = 43$  m olsun (arazi enine 7 tava yerleştirilsin);

- Birim tava debisi :  $q_v = 2,79 \text{ L/s/m} = 0,00279 \text{ m}^3/\text{s/m}$

- Maksimum akış uzunluğu :  $L_{\max} = 215 \text{ m}$

- Tava uzunluğu :  $L = 200 \text{ m}$

- Sulama süresi :  $T_s = 114 \text{ dak}$

- 1 günde 8 tava sulanır. Toplam 14 tava vardır ve sulama 2 günde tamamlanır.

Tava eninin eni az 40 m olması istendiğinden başka seçenek üzerinde durulmaz.

Örnekte, en fazla tava uzunluğu  $L = 200$  m ile 4. ve 5. seçeneklerde elde edilmiştir. Aynı zamanda sulamanın tamamlanacağı gün sayısı da eşittir. Bu durumda, daha fazla tava enine sahip, tava sayısı daha az olan 4. seçenek daha uygundur. Başka bir deyişle, tava boyutları  $b \times L = 50 \times 200$  m, birim tava debisi  $q_v = 2,4 \text{ L/s/m}$  ve Sulama süresi  $T_s = 132 \text{ dak}$ 'dir.

4) Su derinliği açısından kontrol,

Örnekte  $T_a = T_s = 132 \text{ dak}$  olduğundan (7.5) nolu eşitlikte ikisinden biri yazılabilir.

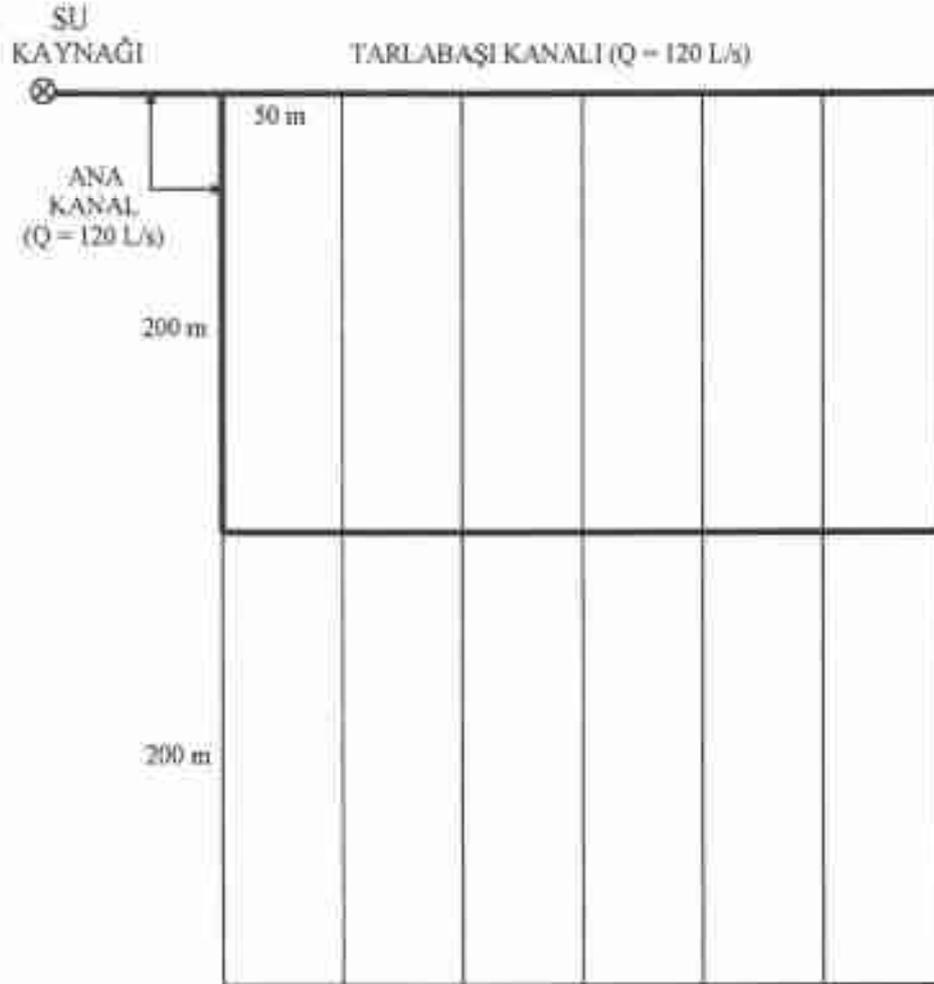
$$d = 2250 n^{3/8} q_v^{0,76} T_s^{1/16}$$

$$d = 2250 \times (0,10)^{3/8} \times (0,0024)^{0,76} \times 132^{1/16} = 80 \text{ mm}$$

Bu değer 150 mm'den küçük olduğundan tava başlangıcındaki su derinliği açısından uygundur.

5) Sistem tertibi;

Örnek arazide ana kanal ve tarla başı kanallarının konumları Şekil 7.7'de verilmiştir. Her kanal  $Q = 120 \text{ L/s}$  suyu iletecek biçimde boyutlandırılır. Kanal taban eğimleri arazi eğimine uygun olarak seçilir. Tarla başı kanallarında taban eğimi % 0,2'yi geçmemeli, kanaldaki su üst kotu, su alma noktalarında arazi kotundan en az 30 cm yüksek olmalıdır.



Şekil 7.7. Tava sulama yönteminin uygulanacağı örnek arazide sistemi tertibi

## 7.6. UZUN TAVA SULAMA YÖNTEMİ

Uzun tava sulama yönteminde, sulanacak tarla parseli toprak seddeleriyle çevrilerek dar uzun alt parsellere ayrılır. Bu alt parsellere uzun tava adı verilir. Tarla başı kanalı ya da lateral boru hattından tavaya alınan su bir yandan tava boyunca ilerlerken bir yandan da infiltrasyonla toprak içerisine girer ve bitki kök bölgesinde depolanır. Sulama tamamlandıktan sonra, suyun tava boyunca geri

çekilmesi sırasında da bir miktar suyun infiltrasyonla toprak içerisine girmesi söz konusudur.

#### **7.6.1. Uzun Tava Sulama Yönteminin Uygulanacağı Koşullar**

Uzun tava sulama yönteminin uygulanabileceği koşullar, bitki ve toprak özellikleri açısından tava sulama yönteminde olduğu gibidir. Topografik özellikler açısından ise, sulama doğrultusuna dik yönde tavalar yine eğimsiz olmalıdır. Ancak, sulama doğrultusunda eğim söz konusudur. Bu nedenle, zorunlu olarak tava eni daraltılır, tava sonu açık bırakılır ve tavadan çıkan suyun araziden uzaklaştırılması için yüzey drenaj kanalları inşa edilir (Şekil 7.8). Başka bir deyişle, tava sulama yönteminde su tava içerisinde göllendirilmesine karşın, uzun tava sulama yönteminde suyun göllendirilmesi söz konusu değildir, tava sonu açıktır ve uygulanan suyun belirli bir kısmı tavadan çıkar (yüzey akışı) ve yüzey drenaj kanalı ile uzaklaştırılır.

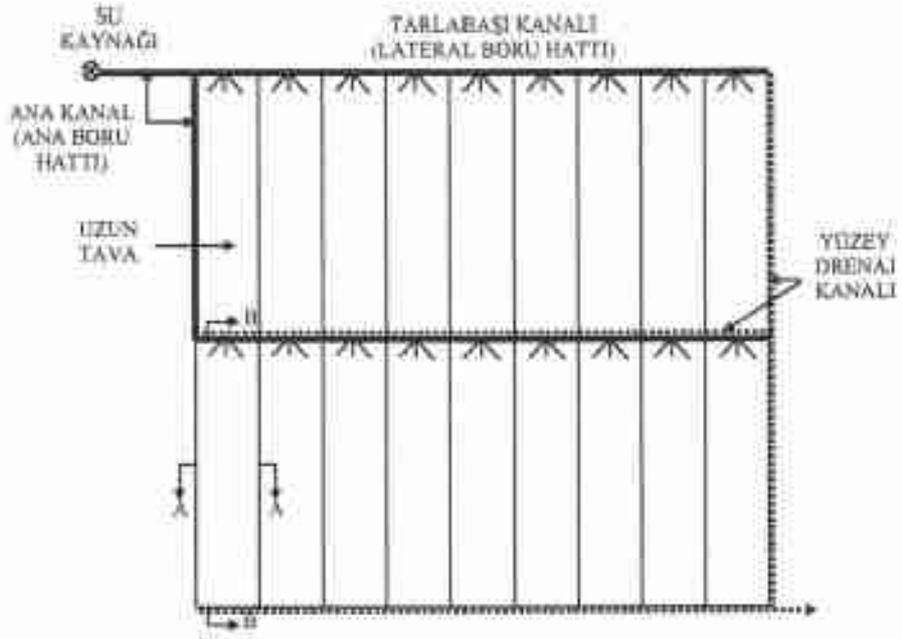
Eğer uygulamada, çeltik dışında, kök boğazının ıslanmasından kaynaklanan hastalıklara duyarlı olmayan ve sık ekilen bitkiler ile meyve ağaçlarının sulanması söz konusu ise, bunun yanında, kaymak tabakası bağlama özelliğinde olmayan orta ve orta ağır banyeli topraklar varsa, topografik koşullar sulama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

Uzun tava sulama yönteminde, sulama doğrultusunda eğim en çok % 3 olabilir. Ancak, % 0.5 ve daha az eğimde uygun bir su dağılımı elde edilebilir ve su uygulama randımanı yüksek olur. Her tava içerisinde sulama doğrultusuna dik yönde eğim olmaması gerekir. Bu nedenle, her tava değinilen koşulu sağlayacak biçimde özel olarak hafif tesviye makineleri ile ayrıca tesviye edilir.

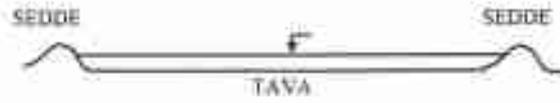
#### **7.6.2. Uzun Tava Sulama Yönteminin Üstünlükleri ve Uygulanmasını Kısıtlayan Etmenler**

Uzun tava sulama yönteminin üstünlükleri şöylece sıralanabilir.

- 1) İlk tesis masrafları düşüktür.
- 2) Her tavanın ayrı tesviyesi ile tesviye masrafları minimum düzeyde tutulabilir.
- 3) Yüzey drenajın kritik olduğu koşullarda iyi bir yüzey drenajı yapılabilir.



A-A KESİTİ



B-B KESİTİ



Şekil 7.8. Uzun tava salama sistemi uzurları

Uzun tava sulama yönteminin uygulanmasını kısıtlayan faktörler ise aşağıda verilmiştir.

- 1) Sulamaya dik yönde tava eni boyunca eğimsiz olacağından özel arazi tesviyesini gerektirir.
- 2) Yüzey akışı azaltarak su uygulama randımanını arttırmak için iyi bir planlama ve kontrollü sulama şarttır. Yine de su uygulama randımanı genellikle tava sulama yönteminden daha düşüktür.
- 3) Yüzey akışı söz konusu olduğundan yüzey drenaj kanallarının inşası gerektirir. Bu da sistem maliyetini artırır.
- 4) Tava başlangıcında erozyonu engellemek için özel yapılar gerekebilir.

### 7.7. UZUN TAVA SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI

Uzun tava sulama sistemlerinin tasarımında kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir.

Tava eni;

Uzun tavalarda eni, sulama doğrultusundaki eğime, sulanacak tarla parselinin sulama doğrultusuna dik yöndeki uzunluğuna ve tarım makinelerinin iş genişliğine bağlı olarak seçilir. Genellikle, tava eğimi % 1'den az ise  $b = 15$  m, % 1 - 2 arasında ise  $b = 12$  m ve % 2'den fazla ise  $b = 9$  m civarında seçilmesi önerilmektedir.

Birim tava debisi sınırları;

- Minimum birim tava debisi;

$$q_{\min} = \frac{3.95 \times 10^{-6} L S^{0.9}}{n} \quad (7.6)$$

- Yonca ve hububat için maksimum birim tava debisi;

$$q_{\max} = \frac{1.765 \times 10^{-4}}{S^{0.75}} \quad (7.7)$$

- Çok sık ekilen bitkiler için maksimum birim tava debisi;

$$q_{\max} = \frac{3.53 \times 10^{-4}}{S^{0.75}} \quad (7.8)$$

Maksimum akış uzunluğu - birim tava debisi ilişkisi;

$$L_{max} = \frac{q_u E_a (T_n - T_L)}{0.00167 d_n} \quad (7.9)$$

Sulama süresi;

$$T_a = T_n - T_L \quad (7.10)$$

Akış derinliği;

- Tava eğimi,  $S > \% 0.4$  ise;

$$d = \frac{1000 (q_u n)^{0.8}}{S^{0.3}} \quad (7.11)$$

- Tava eğimi,  $S \leq \% 0.4$  ise;

$$d = 2454 T_L^{2/16} q_u^{0.16} n^{1.8} \quad (7.12)$$

Bu eşitliklerde ;

$q_{u\min}$  = Minimum birim tava debisi,  $m^3/s/m$ ,

$q_{u\max}$  = Maksimum birim tava debisi,  $m^3/s/m$ ,

$S$  = Tava eğimi,  $m/m$ ,

$L$  = Tava uzunluğu,  $m$ ,

$n$  = Manning pürüzlülük katsayısı,

$L_{max}$  = Maksimum akış uzunluğu,  $m$ ,

$q_u$  = Birim tava debisi,  $m^3/s/m$ ,

$E_a$  = Su uygulama randımanı,  $\%$ ,

$T_n$  = Net infiltrasyon süresi,  $dak$ ,

$T_L$  = Gecikme süresi,  $dak$ ,

$d_n$  = Uygulanacak net sulama suyu miktarı,  $mm$ ,

$T_a$  = Sulama süresi,  $dak$  ve

$d$  = Akış derinliği,  $mm$ 'dir.

Birim tava debisi, 1 m tava genişliği için istenen debidir. Tava debisinin tava enine bölünmesiyle elde edilir. Birim tava debisi, maksimum ve minimum değerler arasında kalmalıdır.

Tava uzunluğu, maksimum akış uzunluğuna eşit ya da küçük olacak şekilde seçilir ( $L \leq L_{max}$ ). Tava uzunluğunu aynı zamanda sulama doğrultusunda tarla parselinin uzunluğu da belirler.

Manning pürüzlülük katsayısı, daha önce tava sulama yönteminde verildiği gibidir, sulanan bitki özelliklerine göre Çizelge 7.3'ten alınır.

Uzun tava sulama yöntemi için su uygulama randımanı değerleri, tava eğimi, infiltrasyon grubu ve uygulanacak net sulama suyu miktarına göre Çizelge 7.4'te verilmiştir.

Net infiltrasyon süresi, (7.2) nolu eşitlikle hesaplanır:

Gecikme süresi, sulama suyunun tavaya verilmesi işlemi durdurulduğunda, suyun geri çekilmesi sırasında, tava başlangıcında suyun toprak yüzeyinde kalma süresidir. Bu değer, tava eğimi % 0.4'ten büyük olduğunda ( $S > 0.004$ ) ihmal edilebilir. Tava eğimi % 0.4'e eşit ya da küçük olduğunda ( $S \leq 0.004$ ) Çizelge 7.5'ten alınabilir.

Akış derinliği, sulama sırasında, tava başlangıcındaki suyun toprak yüzeyindeki derinliğidir ve bu değer 150 mm den fazla olmamalıdır ( $d \leq 150$  mm).

Tava sulama sistemlerinin işletilmesinde aynı anda birden fazla tavaya su verilebilir. Sistem tasarımında farklı seçenekler üzerinde durulur ve en fazla tava uzunluğuna sahip olanı seçilir. Böylelikle, en az tarla içi su dağıtım sistemi ve yüzey drenaj sistemine ihtiyaç duyulur. Başka bir deyişle, sistem maliyeti en düşük düzeyde olur. Eğer, en fazla tava uzunluğu birden fazla seçenekte söz konusu olursa, seçim sulamanın tamamlanacağı gün sayısının en az ve tava sayısının en az olduğu koşula göre yapılır.

Uzun tava sulama sistemlerinin tasarımına ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir.

#### **Verilenler :**

Şekil 7.9'da verilen tarla parseli uzun tava yöntemiyle sulanacaktır. Yapılan kaynak araştırması, infiltrasyon testleri ve hesaplamalar sonucunda aşağıdaki veriler elde edilmiştir:

- Su iletimi ve dağıtım açık kanal sistemi ile yapılacaktır.
- Tarla başı kanalında bulundurulabilecek debi :  $Q = 60$  L/s
- Bitki cinsi : Yonca
- Uygulanacak net sulama suyu miktarı :  $d_n = 90.0$  mm
- Infiltrasyon grubu :  $I_f = 0.45$
- Tava eğimi :  $S = \% 0.1$
- Günde en çok 18 saat sulama yapılabilecektir.

#### **İstenenler :**

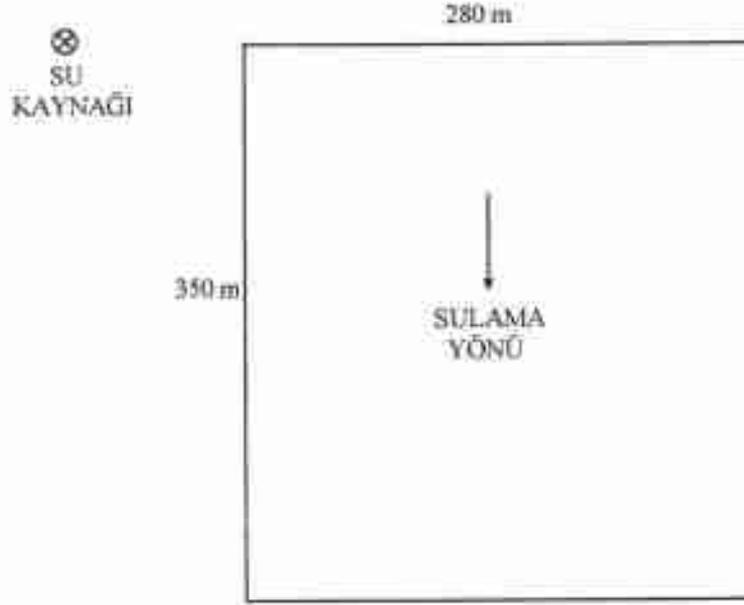
Yukarıdaki verilere göre, tava boyutları, tava debisi, sulama süresi ve sistem tertibi istenmektedir.

Çizelge 7.4 Uzun tavu sulama yönteminde su uygulama randımanları,  $E_s$  (%)

Tavu eğimi, S (%)	İnfiltrasyon grubu, $I_p$																			
	0.30			0.50			1.00			1.50			2.00							
	Uygulanacak net sulama suyu miktarı, $d_n$ (mm)																			
0.05	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
0.1	65	65	70	70	70	75	75	80	80	80	75	75	80	80	80	75	75	80	80	80
0.2	60	60	65	65	65	70	70	75	75	75	70	70	75	75	75	70	70	75	75	75
0.3	60	60	55	50	50	65	65	70	70	70	65	65	70	70	70	65	65	70	70	70
0.4	55	55	50	50	50	60	60	65	65	65	65	65	70	70	70	65	65	70	70	70
0.5	50	50	50	50	50	60	60	60	60	60	65	65	70	70	70	65	65	70	70	70
0.75	55	55	50	50	50	60	60	65	65	65	60	60	65	65	65	60	60	65	65	65
1	55	55	50	50	50	60	60	65	65	65	60	60	65	65	65	60	60	65	65	65
1.5	55	55	50	50	50	55	55	60	60	60	60	60	65	65	65	60	60	65	65	65
2	50	50	50	50	50	55	55	60	60	60	60	60	65	65	65	60	60	65	65	65
2.5	50	50	50	50	50	55	55	55	50	50	60	60	65	65	65	60	60	65	65	65
3	50	50	50	50	50	55	55	55	50	50	55	55	60	60	60	55	55	60	60	60

Çizelge 7.5 Uzun tavu sulama yönteminde geçkiri sızmaları,  $T_1$  (dik)

Net infiltrasyon silindri $T_n$ (dak)	Tavan eğimi, S(%)											
	0.05			0.1			0.2			0.4		
	0.1	1	10	20	0.1	1	10	20	0.1	1	10	20
	Birim tüve debisi, $q_0$ (L/dm)											
	Manning pürüzlülük katsayısı, $n=0.04$											
10	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1
25	3	4	5	5	1	2	3	3	1	1	1	1
50	4	5	7	8	2	2	3	4	1	2	2	2
100	4	7	9	10	2	3	4	4	1	2	2	2
200	5	7	11	12	2	3	4	5	1	2	2	2
500	5	8	12	14	2	3	4	5	1	2	2	2
1000	5	8	13	14	2	3	4	5	1	2	2	2
	Manning pürüzlülük katsayısı, $n=0.15$											
10	3	2	2	2	3	3	3	3	2	2	3	3
25	6	6	6	6	4	5	6	6	2	3	4	4
50	10	12	13	13	6	8	10	10	2	4	5	6
100	15	18	22	23	7	10	13	15	3	4	6	7
200	18	25	33	35	8	11	16	18	3	4	6	7
500	22	33	46	51	8	12	19	21	3	4	7	8
1000	24	36	54	60	8	13	20	23	3	4	7	8
	Manning pürüzlülük katsayısı, $n=0.25$											
10	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2	3	3
25	7	6	6	6	6	7	7	7	3	4	6	6
50	12	13	13	13	9	11	13	13	4	6	8	9
100	20	23	26	26	11	15	19	20	5	7	10	11
200	28	36	44	46	13	19	26	28	5	7	11	12
500	37	52	71	77	14	22	32	36	5	8	12	14
1000	41	61	88	98	15	23	35	40	5	8	13	14



Şekil 7.9. Uzun tava sistem tasarımı için yapılacak örnek tarla parseli

**Cözüm :**

1) Net infiltrasyon süresi,

$f_f = 0.45$  için  $a = 1.130$ ,  $b = 0.742$ ,  $c = 7.0$  (Çizelge 7.1)

$$T_n = \left( \frac{d_s - c}{a} \right)^{1/b} = \left( \frac{90.0 - 7.0}{1.130} \right)^{1/0.742} = 327 \text{ dak}$$

2) Uygulanacak toplam sulama suyu miktarı,

$f_f = 0.45$ ,  $d_s = 90.0$  mm ve  $S = 0.001$  için  $E_s \approx \%70$  (Çizelge 7.4)

$$d_i = \frac{d_s}{E_s} = \frac{90.0}{0.70} = 128.6 \text{ mm}$$

3) Tava eni,

Tava eğimi  $S = \%0.1 < \%1$  olduğundan tava eni 15 m civarında seçilir. Sulama doğrultusuna dik yönde tarla parseli eni 280 m olduğundan tüm tavalarm enini 15 m yapmak mümkün değildir. Bu durumda, parsel enine 18 adet tava yerleştirilerek tava enini 15.56 m ya da 19 adet tava yerleştirilerek tava enini 14.74 m almak gerekir. Örnekte, tava eni  $b = 15.56$  m alınmıştır.

4) Maksimum birim tava debisi;

Sulanacak bitki yonca olduğundan;

$$q_{\max} = \frac{1.765 \times 10^{-4}}{S^{0.72}} = \frac{1.765 \times 10^{-4}}{(0.001)^{0.72}} = 0.0314 \text{ m}^3/\text{s/m} = 31.4 \text{ L/s/m}$$

5) Tava uzunluğu ve tava debisi;

Seçenekler geliştirilirken, aynı anda 1, 2, 3, ... adet tavaya su verileceği koşulları göz önüne alınır.

**1. SECENEK :** Aynı anda 1 tavaya su verilsin;

- Tava debisi;  $q = Q = 60 \text{ L/s}$

- Birim tava debisi ;

$$q_u = \frac{q}{b} = \frac{60}{15.56} = 3.9 \text{ L/s/m} = 0.0039 \text{ m}^3/\text{s/m}$$

Bu değer maksimum birim tava debisi olan  $0.0314 \text{ m}^3/\text{s/m}$ 'den küçük olduğundan uygundur.

- Gecikme süresi;  $T_L = 15 \text{ dak}$  (Çizelge 7.5)

- Sulama süresi ;

$$T_u = T_n - T_L = 327 - 15 = 312 \text{ dak}$$

-Maksimum akış uzunluğu;

$$L_{\max} = \frac{q_u \cdot E_s \cdot (T_n - T_L)}{0.00167 \cdot d_u} = \frac{0.0039 \times 70 \times (327 - 15)}{0.00167 \times 90.0} = 567 \text{ m}$$

- Tava uzunluğu;

Sulama doğrultusunda parsel uzunluğu 350 m olduğundan ve bu değer maksimum akış uzunluğu 567 m'den küçük olduğundan parsel boyunca bir adet tava yerleştirilir ve tava uzunluğu  $L = 350 \text{ m}$  olur.

- Toplam 18 tava vardır. 1 günde 3 adet tava sulanır ve sulama 6 günde tamamlanır.

**2. SECENEK :** Aynı anda 2 tavaya su verilsin;

Benzer hesaplar yapılarak;

- Tava debisi;  $q = 30 \text{ L/s}$

- Birim tava debisi;  $q_u = 1.9 \text{ L/s} = 0.0019 \text{ m}^3/\text{s/m}$

- Gecikme süresi;  $T_L = 12 \text{ dak}$

- Sulama süresi;  $T_n = 315$  dak
- Maksimum akış uzunluğu;  $L_{max} = 279$  m
- Tava uzunluğu;  $L = 175$  m
- Toplam 36 tava vardır. 1 günde 3 tava sulanır ve sulama 12 günde tamamlanır.

İkinci seçenekte tava uzunluğu azaldığı için başka seçenek üzerinde durulmaz ve daha yüksek tava uzunluğuna sahip birinci seçenek uygun bulunur. Ancak, bu koşulda tava debisinin  $L = 350$  m için tekrar hesaplanması gerekir. Aksi durumda, tavaya  $q = 60$  L/s su 312 dak süre ile uygulanırsa aşırı yüzey akışı meydana gelir ve öngörülen % 70 su uygulama randımanı elde edilemez.

- Proje birim tava debisi;

$$q_u = \frac{0,00167 d_n L}{(T_n - T_L) E_n}$$

$$q_u = \frac{0,00167 \times 90,0 \times 350}{(327 - 15) \times 70} = 0,0024 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m} = 2,4 \text{ L} / \text{s} / \text{m}$$

- Tava debisi ;

$$q = b q_u = 15,56 \times 2,4 = 37,3 \text{ L} / \text{s}$$

- Sistem debisi ;

$$Q = q = 37,3 \text{ L} / \text{s}$$

Görüldüğü gibi, tarla başı kanalında  $Q = 37,3$  L/s su bulundurmak ve bu suyun tamamını bir tavaya vererek sıralı bir sulama yapmak gerekir.

- 6) Minimum birim tava debisi açısından kontrol,

Yonca için  $n = 0,15$  (Çizelge 7.3)

$$q_{u_{min}} = \frac{5,95 \times 10^{-6} L S^{0,5}}{n}$$

$$q_{u_{min}} = \frac{5,095 \times 10^{-6} \times 350 \times (0,001)^{0,5}}{0,15}$$

$$q_{u_{min}} = 0,00044 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m} = 0,44 \text{ L} / \text{s} / \text{m}$$

Seçilen birim tava debisi  $q_u = 2,4$  L/s/m, minimum değer olan 0,44 L/s/m'den büyük olduğundan uygundur.

7) Su derinliği açısından kontrol;

Tava eğimi,  $S = \% 0.1 < \% 0.4$  olduğundan;

$$d = 2454 T_i^{1/16} q_v^{1/16} n^{3/8}$$

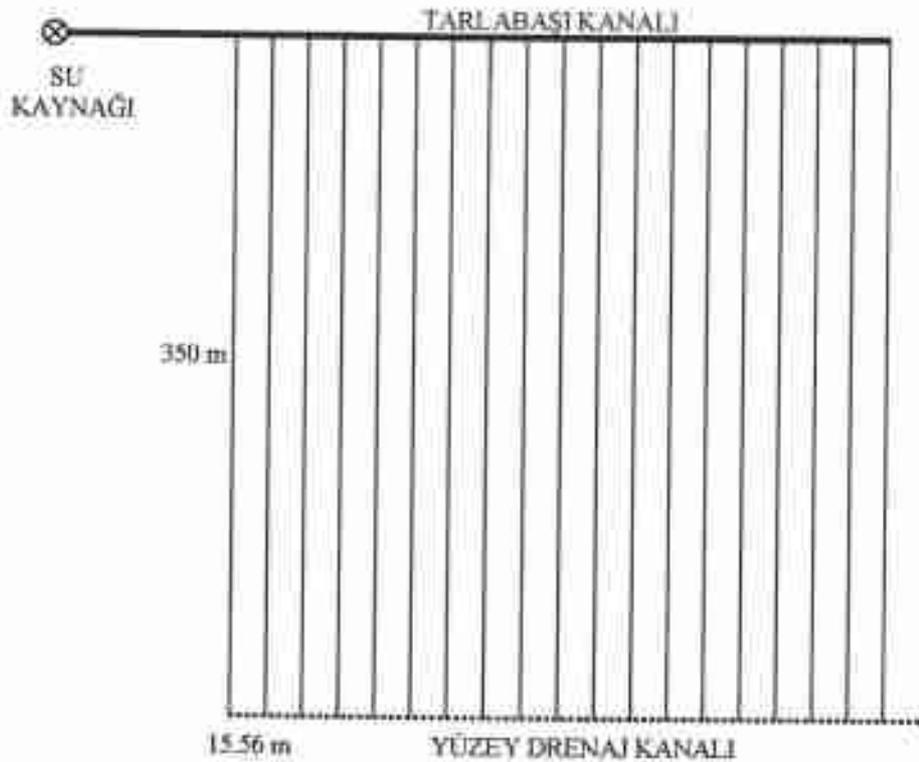
$$d = 2454 \times [5^{1/16} \times (0.0024)^{1/16} \times (0.15)^{3/8}] = 67 \text{ mm}$$

Bu değer 150 mm'den kucuk olduğundan uygundur.

Sonuçta, tava boyutları  $b \times L = 15.56 \times 350$  m, birim tava debisi  $q_v = 2.4$  L/s/m, tava debisi  $q = 37.3$  L/s, sistem debisi  $Q = 37.3$  L/s ve sulama süresi  $T_s = 312$  dak  $\approx 5.5$  h'tir.

8) Sistem tertibi;

rnek tarla parselinde, ana kanal, tarla bağı kanalı ve yüzey drenaj kanallarının tertibi Şekil 7.10'da verilmiştir. Ana ve tarla bağı kanalları  $Q = 37.3$



Şekil 7.10. Uzun tava sulama yönteminin uygulanacağı örnek tarla parselinde sistem tertibi

L/s suyu iletecek biçimde boyutlandırılır. Tarla başı kanallarında taban eğimi % 0.2'yi geçmemeli, kanaldaki su üst kotu, tavalara su alma noktalarında toprak yüzeyi kotundan en az 30 cm yüksek olmalıdır. Drenaj kanallarının kapasitesi, sistem debisinin 1/3'ü kadar alınır ve  $Q = 37.3 / 3 = 12.4$  L/s debiyi iletecek biçimde boyutlandırılır.

## 7.8. KARIK SULAMA YÖNTEMİ

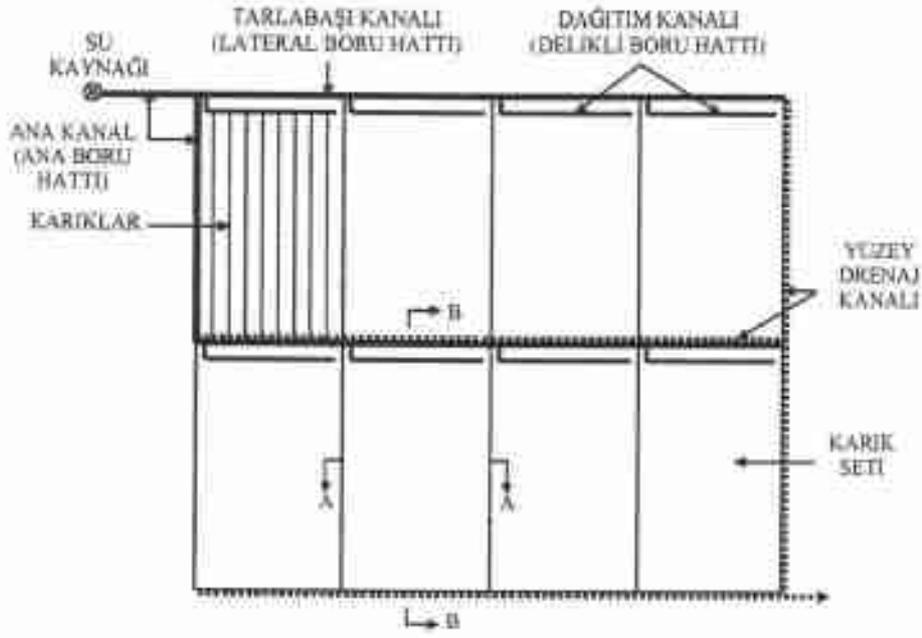
Karik sulama yönteminde, bitki sıraları arasına karik adı verilen küçük yüzlek kanalcıklar açılır ve bu karıklara su verilir. Su, karik boyunca ilerlerken bir yandan da infiltrasyonla toprak içerisine girer ve kök bölgesinde depolanır. Açık karıklarda, sulama sırasında karıklardan çıkan su (yüzey akışı) yüzey drenaj kanalları ile uzaklaştırılır ya da tekrar sulamada kullanılır (Şekil 7.11).

Sulama sırasında aynı anda çok sayıda karığa su verilir. Aynı anda su verilen karik sayısı bir karik setini oluşturur. Bu nedenle, karik sulama sistemlerinde tarla başı kanalı ya da lateral boru hattından sonra, her karik setine hizmet eden eğimsiz dağıtım kanalları ya da delikli boru hatlarının tesisine gerek vardır. Dağıtım kanalları toprak kanal biçimindedir ve dağıtım kanalından karıklara su, her karığın başlangıcına yerleştirilen aynı kottaki orifislerle alınır. Düşük basınçlı boru sistemleri söz konusu olduğunda, her karik seti başlangıcına üzerinde karik aralığına eşit aralıktaki açılmış delikler bulunan delikli boru hatları kullanılır. Delikli boru hatları eğimsiz olacak biçimde yerleştirilir. Bu boru hatları genellikle permatittir ve bir karik setinden diğerine taşır.

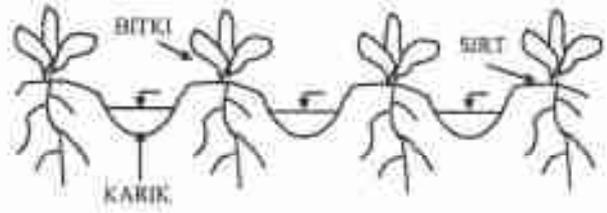
### 7.8.1. Karik Sulama Yönteminin Uygulanacağı Koşullar

**Bitki özellikleri :** Karik sulama yöntemi, sıraya ekilen ya da dikilen tarla bitkileri ve sebzeler ile meyve bahçeleri ve bağın sulanmasında kullanılmaktadır. Bitki yetiştiriciliği karıklar arasındaki sırtlarda yapıldığından kök boğazının ıslatılması söz konusu değildir. Bu nedenle, kök boğazının ıslanmasından kaynaklanan hastalıklara duyarlı bitkiler için en uygun yüzey sulama yöntemidir.

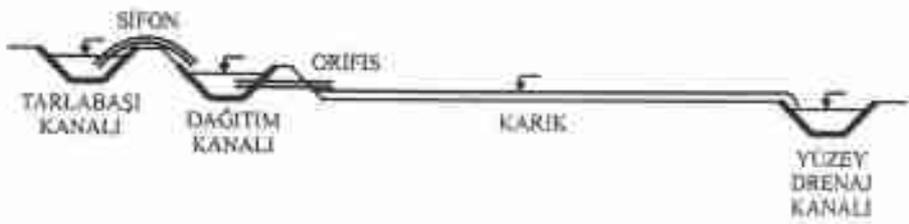
**Toprak özellikleri :** Karik sulama yöntemi, su alma hızı yüksek (kullanılabilir su tutma kapasitesi düşük) hafif bünyeli topraklar dışında her türlü toprak bünye sınıfında kullanılabilir. Kaymak tabakası bağlama özelliğindeki ağır bünyeli topraklar için en uygun yüzey sulama yöntemidir. Bunun nedeni, kaymak tabakasının bitkinin yetiştirildiği sırtlarda değil suyun aktığı karik içerisinde oluşması ve bitki kök boğazına herhangi bir zarar vermemesidir. Karik sulama yönteminin tuzlu topraklarda uygulanması son derece sakıncalıdır. Çünkü, toprak içerisinde hareketi sırasında su kapillante ile karik sırtlarında toprak yüzeyine doğru yükselir ve su içerisindeki erimiş tuzlar bitki köklerinin geliştiği ortama taşınır. Bitki bu tuz birikiminden zarar görür.



A-A KESİTİ



B-B KESİTİ



Şekil 7.11: Karık sulama sistemi unsurları

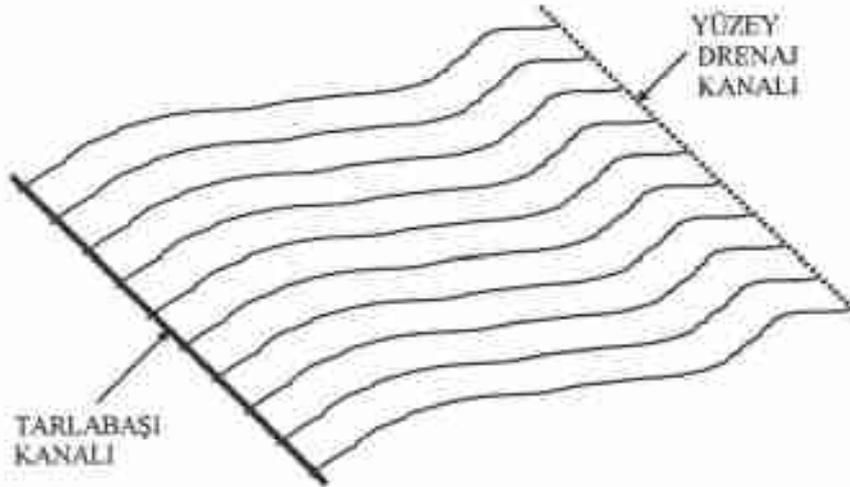
**Topografya özellikleri :** Karık sulama yönteminde sulama doğrultusunda karık eğimi en çok % 3 kadar olmalıdır. Dik doğrultudaki eğim yüksek olabilir. Bu nedenle yöntem, % 15 eğime kadar yamaç arazinin sulanmasında kullanılabilir. Ancak, dik doğrultudaki eğim yüksekse, erozyonu önleme açısından karıkların tesviye eğrilerine paralel açılması zorunluluğu vardır. Bu tip karıklara tesviye eğrili karık adı verilmektedir (Şekil 7.12).

**Su kaynağı :** Karık debileri düşük olduğundan, tava ve uzun tava sulama yöntemlerinin aksine, karık sulama yöntemi, tarla başı kanalında 10 - 15 L/s su bulandırulabilmesi koşulunda bile uygulanabilir.

### 7.8.2. Karık Sulama Yönteminin Üstünlükleri ve Uygulanmasını Kısıtlayan Etmenler

Karık sulama yönteminin üstünlükleri şöylece sıralanabilir.

- 1) İlk tesis masrafları düşüktür.
- 2) Sistem tasarımı, tertibi ve sulama uygulamaları değiştirilmeksizin farklı özellikteki birçok bitkinin tarımı yapılabilir.
- 3) İyi bir arazi tesviyesi ve sulama işletmeciliği ile yüksek su uygulama randımanı elde edilebilir.
- 4) Her karık seti ayrı tesviye edilerek birim alan kazı miktarı azaltılabilir. Böylece, tesviye maliyeti düşer.



Şekil 7.12. Tesviye eğrili karıklar

5) Bitki kök boğazı su ile temasta olmadığından kök boğazının ıslanmasından kaynaklanan hastalıklara duyarlı bitkilerin emniyetle tarımı yapılır.

6) Kaymak tabakası bağlayan ve çatlaklar oluşturan ağır bünyeli topraklarda emniyetle uygulanabilir.

Yöntemin uygulanmasını kısıtlayan etmenler ise aşağıda sıralanmıştır.

1) Açık karıklarda, karıktan çıkan suyu (yüzey akışı) uzaklaştırmak için yüzey drenaj kanallarının tesisi gerekir.

2) Karıklardan çıkan suyu azaltmak için önlem alınmadığında ya da tekrar sulamada kullanılmadığında su uygulama randımanı düşük olur.

3) Kabul edilebilir düzeyde eş su dağılımı elde etmek için arazi tesviyesi gereklidir.

4) Her karığa eşit miktarda su vermek için tarla beşi kanalları ya da lateral boru hatlarına ek olarak her karık setinin başına dağıtım kanalları ya da delikli boru hatlarının tesisi gerekir.

5) Karık sırtlarında biriken tuz, toprak tuzluluğuna duyarlı bitkiler için sorun olabilir.

6) Düşen yağışın yüzey akışı oluşturduğu koşullarda, yüzey akışı karıklarda yoğunlaşır ve erozyon sorununu arttırabilir.

### 7.8.3. Karık Tipleri

Sulama doğrultusundaki eğim derecesine bağlı olarak karık sonunun açık ya da kapalı olmasına göre üç tip karık söz konusudur.

1) **Sabit debili açık karıklar** : Sulama doğrultusunda eğim söz konusudur. Dolayısıyla karık sonu açıktır. Sulama süresi boyunca karıklara sabit debi uygulanır. Karıklardan çıkan su miktarı çok fazladır. Bu nedenle, yüzey akışın tekrar sulamada kullanılması gerekir. Aksi durumda, su uygulama randımanı çok düşük olur. Bu karık tipi, karıklardan çıkan suyun tekrar sulamada kullanılabilmesi koşulunda uygulanır.

2) **Değişken debili açık karıklar** : Sulama doğrultusunda eğim söz konusudur ve karık sonu açıktır. Su karık sonuna ulaştıktan sonra, sulama süresinin arttıkça diliminde (net infiltrasyon süresi boyunca) karık debisi yarıya düşürülür. Böylece, yüzey akışı önemli düzeyde azaltılarak su uygulama randımanı yükseltilir. Yüzey akışın tekrar sulamada kullanıma olanağı yoksa, sulama işletmesi değişken debili açık karık biçiminde yapılır.

3) **Kapalı karıklar** : Sulama doğrultusunda eğim yoksa ya da karık uçları arasındaki yükseklik farkı, uygulanacak net sulama suyu derinliğini ( $d_s$ )

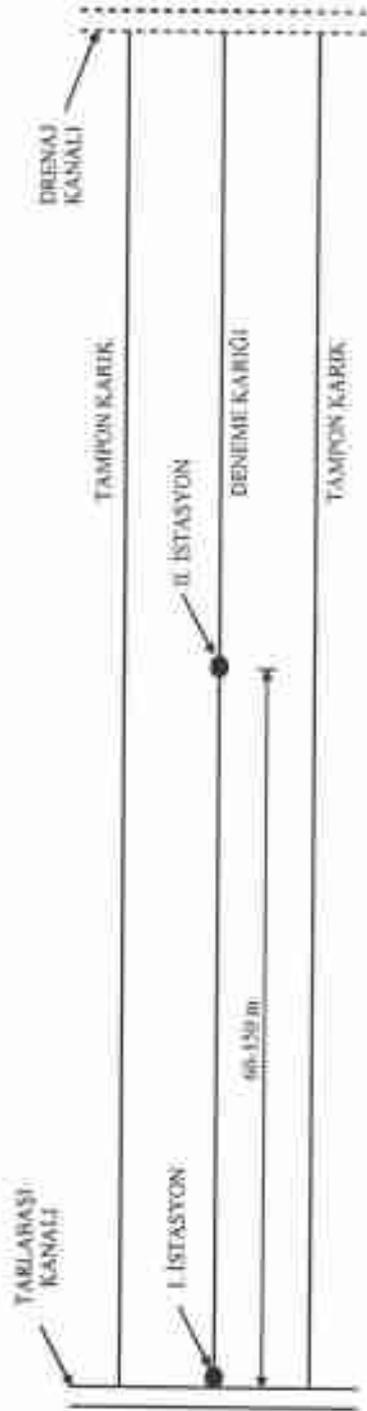
geçmiyorsa, başka bir deyişle, arazi tesviyesi bu koşulları sağlamaya imkan veriyorsa, karık sonları kapatılarak kapalı karıklar oluşturulur. Karıklardan su çıkışı söz konusu olmadığından hem kontrollü sulama ile yüksek su uygulama randımam elde edilir, hem de yüzey drenaj kanallarına gerek yoktur. Kapalı karıklarla yapılan sulamaya karıklarda göllendirme sulama yöntemi adı da verilmektedir.

#### 7.8.4. Karık Sulama Yönteminde İnfiltrasyon Testleri

Karık sulama yönteminde, toprak yüzeyinin tamamı ıslatılmadığından ve karık içerisinde suyun yalnızca düşey doğrultuda değil aynı zamanda yanıl doğrultuda da toprak içerisine girmesi söz konusu olduğundan, silindirik infiltrometrelerle elde edilecek sonuçlar karık sulama yöntemi için kullanılamaz. Dolayısıyla, karıklara özgü infiltrasyon testleri yapılır. Karık infiltrometre, karıklara giren ve çıkan suyun ölçülmesi gibi değişik test yöntemleri vardır. Daha sağlıklı sonuç vermesi açısından burada yalnızca karıklara giren - çıkan suyun ölçülmesi yöntemi üzerinde durulacaktır.

Bu amaçla arazide, yetiştirilecek bitkilerin sıra aralıklarına uygun aralıkta en az 3 adet karık açılır. Eğer arazide mevcut karıklar varsa, bu karıklardan infiltrasyon testlerinde yararlanılabilir. Ortadaki karık deneme karığı olarak seçilir. Deneme karığının her iki tarafında en az birer adet tampon karık oluşturulur. Deneme karığı ve tampon karıkların başlangıcına sifon, savak gibi karıklara verilecek suyun debisinin ölçüleceği bir araç yerleştirilir. Yalnızca deneme karığının 60 - 150 m ilerisine karıktan çıkan suyun ölçüleceği bir orifis konur (Şekil 7.13). Bu uzunluk, su alma hızı yüksek topraklarda 60 m, su alma hızı düşük topraklarda ise 150 m alınır. Denemelere başlamadan önce, tampon karıklarda deneme yaparak maksimum karık debisi saptanır. Maksimum karık debisi, erozyona neden olmayan ve karıktaki su yüksekliği karık yüksekliğinin % 75'ini geçmeyen koşuldaki debidir. Bunun yanında deneme karığında, bir nivelman aleti ile boyuna profil nivelman yapılarak ortalama karık eğimi saptanır. Ayrıca, deneme karığı boyunca en az 3 yerde ölçmeler yapılarak ortalama karık kesiti belirlenir ve kesit bir milimetrik kağıda çizilir.

İnfiltrasyon testlerine başlarken deneme karığına ve tampon karıklara, olanaklar ölçüsünde maksimum karık debisine yakın ve sabit debide su verilir. Tampon karıklara da su verilmesinin nedeni, deneme karığındaki yanıl sızmaları dengelemektir. Deneme karığında su karık sonuna ulaştıktan sonra karıktan çıkan debi belirli aralıklarla ölçülür. Çıkan debi, hacmi bilinen bir kabin dolma süresine göre hesaplanır. Birkaç defa test karığına giren debi ölçmeleri de yapılarak denetlenir. Ölçmelere, belirli zaman aralığında karık boyunca toprağa giren su miktarı yaklaşık sabit olunca son verilir.



a) Deneme kanığının tertibi



b) Deneme kanığının kesiti

Şekil 7.12. İnfiltrasyon testlerinde kullanılan tertibi

Infiltrasyon testlerinin, işlenmemiş karıklarda ve sulamaya başlaması öngörülen toprak nemi koşullarında yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, yeni açılmış karıklar ya da gereğinden çok düşük toprak nemi söz konusu ise, karıklara önce su verilir ve testlere başlamak için kök bölgesindeki toprak neminin istenen düzeye düşmesi beklenir.

Ölçme sonuçları bir çizelgeye işlenerek değerlendirilir ve eklemeli zaman değerlerine karşılık eklemeli su alma değerleri elde edilir. Bu değerler Şekil 7.1 üzerinde işaretlenir ve en uygun infiltrasyon grubu eğrisi belirlenir.

Karıklara giren ve çıkan suyun ölçülmesi yöntemiyle yapılan infiltrasyon testlerine ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir.

#### **Örnek :**

Karık sulama yönteminin uygulanacağı arazide, infiltrasyon testleri yapmak amacıyla 3 adet karık seçilmiştir. Yapılan boyuna profil nivelmanında karık eğimi ortalama % 0.3 bulunmuştur. Tampon karıklarda yapılan denemelerde maksimum karık debisinin 1.25 L/s olabileceği saptanmıştır. Ortadaki deneme karığının uzunluğu 150 m alınmıştır. Tampon karıklarla birlikte deneme karığına saat 8.00'de 1.2 L/s su verilmiş ve suyun deneme karığında 150. m'ye saat 8.36'da ulaştığı saptanmıştır. Karığın dolması için 4 dakika beklenmiş ve saat 8.40'ta karıktan çıkan ilk debi ölçmesi yapılmıştır. Çıkan suyun debisinin ölçülmesi işlemine standart zaman aralıklarında saat 15.50'ye kadar devam edilmiştir. Bu arada, deneme karığına giren suyun debisi birkaç defa ölçülerek kontrol edilmiş ve 1.2 L/s değerinin değişmediği saptanmıştır. Elde edilen ölçme sonuçları Çizelge 7.6'ya yazılmıştır. Çizelgedeki diğer kolonların doldurularak eklemeli zaman ve eklemeli su alma değerlerinin hesabı aşağıda açıklanmıştır.

**1. kolon :** Gözlem zamanları yazılır. Bunlar, denemeye başlanan zaman, suyun karık sonuna ulaştığı zaman ve karıktan çıkan suyun debisinin ölçüldüğü zamanlardır. Karıktan çıkan debi ölçmeleri 3 kez 10 dakika, 2 kez 15 dakika, 2 kez 30 dakika, 1 kez 60 dakika ve yeteri kadar 120 dakika ara ile yapılır.

**2. kolon :** Karığa giren su için gözlem zamanları arasındaki süreler yazılır. Örneğin, saat 8.00 ile 8.36 arasındaki süre 36 dakikadır.

**3. kolon :** Karığa giren su için eklemeli zaman değerleri (karığa suyun verildiği toplam süreler) yazılır. Örneğin, karığa saat 8.00'de su verilmeye başlandığına göre, karığa su verme süresi saat 8.36'da 36 dakika, saat 9.40'ta 100 dakika ve saat 15.50'de 460 dakikadır. Bu değerler, 2. kolon değerleri toplanarak ta bulunabilir.

**4. kolon :** Karıktan çıkan su için gözlem zamanları arasındaki süreler yazılır. Bu işleme, suyun karık sonuna ulaşma zamanı olan saat 8.36'dan itibaren başlanır. Örneğin, saat 8.36 ile 8.40 arasındaki süre 4 dakikadır.

Çizelge 7.6. Karıllara giren - çıkan suyun ölçülmesi yoluyla infiltrasyon testlerine ilişkin örnek

Gözlem Zamanı	Gökkuş suyu (dak.)													
	Giren		Çıkan		Önemli sızıntı	Karıllara giren su miktarı		Karılları çıkaran su miktarı		Toplam giren su miktarı (L)	Eklenmiş su miktarı (mm)			
	Önemli sızıntı	Eklenmiş su miktarı	Çıkan miktarı	Eklenmiş su miktarı		Dolu (L/s)	Önemli sızıntı miktarı (L)	Dolu (L/s)	Eklenmiş su miktarı (L)					
11	12	0	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
8.00	0	0				1.2								
8.30	36	36	8	0										
8.40	4	40	10	4	22				67			1302	1311	21.0
8.50	10	36	10	14	32				349					20.1
9.00	10	60	10	24	42				720					31.5
9.10	11	70	15	34	52				720					35.8
9.25	15	85	15	49	67				1080					41.8
9.40	30	100	30	64	82				1800					47.2
10.20	30	130	30	94	112				2160					57.0
10.50	60	160	60	124	142				3220					66.4
11.50	120	220	120	184	202				4640					83.3
13.50	120	540	120	304	322				8640					111.1
15.30	120	460	120	428	442				8640					126.1

**5. kolon :** Karıktan çıkan su için eklemeli zaman değerleri (karıktan suyun çıktığı toplam süreler) yazılır. Örneğin, su karık sonuna saat 8.36'da ulaştığına göre, karıktan suyun çıkış süresi saat 8.40'ta 4 dakika, saat 9.40'ta 64 dakika ve saat 15.50'de 424 dakikadır. Bu değerler, 4. kolon değerleri toplanarak ta bulunabilir.

**6. kolon :** Ortalama eklemeli zaman (karık boyunca suyun toprağa girdiği ortalama süreler) yazılır. Bu amaçla, 3. ve 5. kolon değerlerinin ortalaması alınır. Örneğin, saat 9.00'da karık boyunca (150 m karık uzunluğunda) su ortalama olarak 42 dakika süre ile toprak içerisine girmiştir.

**7. kolon :** Deneme karığına giren suyun debisi yazılır. Örneğimizde bu değer 1.2 L/s'dir.

**8. kolon :** Deneme karığına okumalar arasında giren suyun hacmi yazılır. Örneğin, saat 8.00 ile 8.36 arasındaki 36 dakika süre ile karığa 1.2 L/s su girmiştir. Bunun hacim cinsinden değeri,

$$V_g = 36 \times 60 \times 1.2 = 2592 \text{ L}$$

bulunur.

**9. kolon :** Deneme başlangıcından itibaren deneme karığına giren suyun hacmi yazılır. Örneğin, deneme karığına 1.2 L/s su saat 8.00'de verilmeye başlandığına göre, saat 9.40'a kadar toplam 100 dakika süre ile deneme karığına giren suyun hacmi,

$$V_g = 100 \times 60 \times 1.2 = 7200 \text{ L}$$

bulunur. Bu değerler, 8. kolon değerleri toplanarak ta elde edilebilir.

**10. kolon :** Karıktan çıkan suyun debileri yazılır.

**11. kolon :** Deneme karığından okumalar arasında çıkan suyun hacmi yazılır. Örneğin, su karık sonuna saat 8.36'da ulaşmıştır ve karıktan çıkan suyun debisi 0 L/s'dir. Saat 8.40'ta ölçülen debi ise 0.560 L/s'dir. Saat 8.36 ile 8.40 arasındaki 4 dakika süre ile karıktan çıkan ortalama debi ve bunun hacim cinsinden değeri,

$$q_{ort} = \frac{0 + 0.560}{2} = 0.280 \text{ L/s}$$

$$V_g = 4 \times 60 \times 0.280 = 67.2 \text{ L} \approx 67 \text{ L}$$

biçiminde hesaplanır. Benzer şekilde, saat 8.40 ile 8.50 arasındaki 10 dakika süre ile deneme karığından çıkan suyun ortalama debisi ve hacim cinsinden değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$q_{ort} = \frac{0.560 + 0.603}{2} = 0.5815 \text{ L/s}$$

$$V_c = 10 \times 60 \times 0.5815 = 348.9 \text{ L} \approx 349 \text{ L}$$

**12. kolon :** Suyun deneme kağıdı sonuna ulaştığı saat 8.36'dan itibaren karıktan çıkan toplam su hacimleri yazılır. Bu amaçla, 11. kolon değerleri toplanır.

**13. kolon :** Deneme kağıdında yüzeyde depolanan suyun hacmi yazılır. Bu amaçla, deneme kağıdı boyunca en az 3 yerde karık kesiti ölçülür ve ortalama kesit bir milimetrik kağıda çizilir. Ayrıca, infiltrasyon testlerinin sonuna doğru kesit ölçülen yerlerde su derinliği ölçülerek ortalaması bulunur. Ortalama su derinliği, milimetrik kağıttaki kesit üzerine çizilir ve akan suyun kesit alanı bulunur. Kesit alanı karık uzunluğu ile çarpılarak yüzeyde depolanan suyun hacmi hesaplanır. Bu değer yaklaşık olarak;

$$V_d = \frac{L}{0.305} \left[ 2.947 \left( \frac{qn}{S^{0.5}} \right)^{0.773} - 0.0217 \right] \quad (7.13)$$

eşitliği ile de hesaplanabilir. Eşitlikte;

$V_d$  = Karık içerisinde depolanan su hacmi, L,

$L$  = Karık uzunluğu, m,

$q$  = Kağıda giren suyun debisi, L/s,

$n$  = Manning pürüzlülük katsayısı (karık sulama yöntemi için  $n = 0.04$  alınabilir) ve

$S$  = Karık eğimi, m/m'dir.

Verilen örnekte,  $L = 150$  m,  $q = 1.2$  L/s ve  $S = 0.003$  m/m olduğundan karık içerisinde depolanan su hacmi;

$$V_d = \frac{150}{0.305} \times \left[ 2.947 \times \left( \frac{1.2 \times 0.04}{0.003^{0.5}} \right)^{0.773} - 0.0217 \right] = 1302 \text{ L}$$

bulunur.

**14. kolon :** Deneme kağıdı boyunca toprağa giren suyun hacmi yazılır. Bu amaçla, 9. kolon değerlerinden sırasıyla 12. ve 13. kolon değerleri çıkarılır. Örneğin, başlangıçtan itibaren saat 8.40'a kadarki ortalama 22 dakika süre ile deneme kağıdı boyunca toprak içerisine giren suyun hacmi;

$$V = 2880 - 67 - 1302 = 1511 \text{ L}$$

ve saat 10.50'ye kadarki ortalama 142 dakika süre ile toprak içerisine giren suyun hacmi ise;

$$V = 11520 - 5434 - 1302 = 4784 \text{ L}$$

bulunur.

**15. kolon :** Eklemeli su alma (infiltrasyon miktar) değerleri hesaplanarak yazılır. Yapılan işlem, 14. kolonda litre cinsinden bulunan değerleri mm'ye çevirmekten ibarettir. Bu amaçla;

$$D = \frac{V}{LP} \quad (7.14)$$

eşitliğinden yararlanılır. Eşitlikte;

$D$  = Eklemeli su alma, mm,

$V$  = Toprağa giren suyun hacmi (14. kolon değerleri), L,

$L$  = Karık uzunluğu, m ve

$P$  = Islak çevre, m'dir.

Islak çevre, daha önce açıklandığı gibi milimetrik kağıda çizilen akan suyun kesit alanında çevre ölçülerek saptanır. Bunun yanında, aşağıdaki eşitlikle yaklaşık olarak hesaplanabilir.

$$P = 0.265 \left( \frac{qn}{S^{0.3}} \right)^{0.425} + 0.227 \quad (7.15)$$

Eşitlikteki değerler yukarıda açıklanmıştır.

Örneğimizde,  $q = 1.2 \text{ L/s}$  ve  $S = 0.003 \text{ m/m}$  olduğundan ıslak çevre ve  $V = 1511 \text{ L}$  için eklemeli su alma değerleri:

$$D = \frac{1511}{150 \times 0.48} = 21.0 \text{ mm}$$

$$P = 0.265 \times \left[ \frac{1.2 \times 0.04}{(0.003)^{0.3}} \right]^{0.425} + 0.227 = 0.48 \text{ m}$$

biçiminde hesaplanır.

Çizelge 7.6'daki ortalama eklemeli zamana (6. kolon değerleri) karşılık eklemeli su alma (15. kolon değerleri) Şekil 7.1 üzerine işaretlenirse, infiltrasyon testleri yapılan arazide karık sulama yöntemi için infiltrasyon grubu  $I_f = 0.60$  bulunur. Aynı arazide silindir infiltrometre ile infiltrasyon testleri yapılırsa 0.60'tan farklı bir infiltrasyon grubunun elde edilebileceği unutulmamalıdır.

## 7.9. KARIK SULAMA SİSTEMLERİNİN TASARIMI

### 7.9.1. Açık Karıklar

Karik sulama sistemlerinin tasarımında açık karıklar için kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir.

Sabit debili açık karıklarda net infiltrasyon süresi;

$$T_n = \left( \frac{d_n \frac{w}{P} - c}{a} \right)^{1/b} \quad (7.16)$$

Değişken debili açık karıklarda net infiltrasyon süresi;

$$T_n = \left( \frac{d_n \frac{w}{P_i} - c}{a} \right)^{1/b} \quad (7.17)$$

Su ilerleme süresi;

$$T_i = \frac{L}{f} e^{\beta} \quad (7.18)$$

$$\beta = \frac{gL}{qS^{0.5}} \quad (7.19)$$

Sulama süresi;

$$T_u = T_n + T_i \quad (7.20)$$

Ortalama infiltrasyon süresi;

$$T_a = T_n - \frac{0.0929 \left[ (\beta - 1) e^{\beta} + 1 \right]}{f L \left( \frac{0.305 \beta}{L} \right)^2} \quad (7.21)$$

Sabit debili açık karıklar için ortalama infiltrasyon miktarı;

$$d_n = \left( a T_u^b + c \right) \frac{P}{w} \quad (7.22)$$

Değişken debili açık karıklar için ortalama infiltrasyon miktarı;

$$d_w = (aT_n + c) \frac{P_i}{w} + \left[ a(T_n - T_s)^b + c \right] \frac{(P - P_i)}{w} \quad (7.23)$$

Sabit debili açık karıklar için uygulanacak toplam sulama suyu miktarı;

$$d_t = \frac{60 q T_s}{wL} \quad (7.24)$$

Değişken debili açık karıklar için uygulanacak toplam sulama suyu miktarı;

$$d_t = \frac{60}{wL} \left( q T_i + \frac{q}{2} T_s \right) \quad (7.25)$$

Yüzy akışı;

$$d_{ya} = d_t \cdot d_w \quad (7.26)$$

Derine sızma;

$$d_s = d_w - d_{ya} \quad (7.27)$$

Su uygulama randımanı;

$$E_a = 100 \frac{d_w}{d_t} \quad (7.28)$$

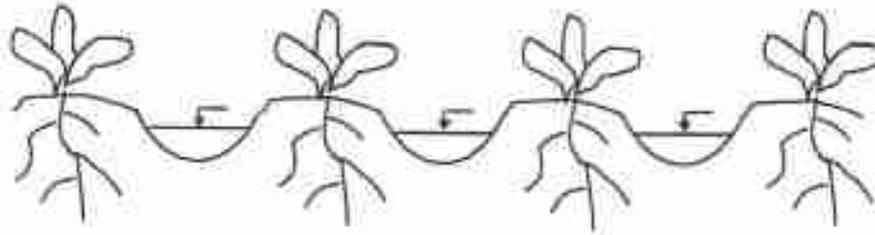
Bu eşitliklerde;

- $T_n$  = Net infiltrasyon süresi, dak,
- $d_w$  = Uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm,
- $w$  = Karık aralığı, m,
- $P$  = Islak çevre, m
- $P_i$  = Azaltılmış karık debisi ( $q/2$ ) için ıslak çevre, m,
- $T_i$  = Su ilerleme (suyun karık sonuna ulaşma) süresi, dak,
- $L$  = Karık uzunluğu, m,
- $q$  = Karık debisi, L/s,
- $S$  = Karık eğimi, m/m,
- $T_s$  = Sulama süresi, dak,
- $T_n$  = Ortalama infiltrasyon süresi, dak,
- $d_w$  = Ortalama infiltrasyon miktarı, mm,
- $d_t$  = Uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm,
- $d_{ya}$  = Yüzy akışı (karıktan çıkan su miktarı), mm,
- $d_s$  = Derine (kök bölgesinin altına) sızan su miktarı, mm,
- $E_a$  = Su uygulama randımanı, %,

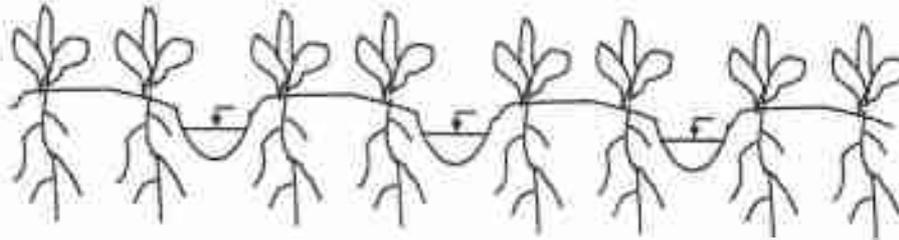
$a, b, c$  = Toprağın infiltrasyon özelliklerine ilişkin katsayılar ve  
 $f, g$  = Karıkta su ilerleme özelliklerine ilişkin katsayılardır.

Tarfa bitkileri ve sebzelerde karık aralığı, bitki sıra aralığına göre seçilir. Bitki sıra aralığı 50 cm ve daha fazla ise her bitki sırası için bir karık açılır ve karık aralığı bitki sıra aralığına eşit olur (Şekil 7.14 a). Bitki sıra aralığı 50 cm'den az ise birden fazla (genellikle iki) bitki sırası için bir karık açılır ve karık aralığı, bir karığın hizmet ettiği sıra sayısının sıra aralığı ile çarpımı sonucunda bulunur. Bitki sıra aralığının 50 cm'den az olduğu koşullarda her bitki sırasına bir karık açılabilir. Bu tip karıklara küçük kapasiteli olduklarından çizi, yöntemine ise çizi sulama yöntemi adı da verilmektedir. Karıklara oranla çizilerin debileri düşük ve boyları kısadır. Çizi sulama sistemlerinin tasarımı karık sulama sistemlerinde olduğu gibidir. Yalnızca, Manning pürüzlülük katsayısı,  $n = 0.010$  alınır.

Yeni tesis edilen meyve bahçelerinde her ağaç sırasına bir karık, genç meyve ağaçlarında her sraya iki karık ve olgun meyve ağaçlarında ise ağaç sıra aralığına bağlı olarak her sraya iki ya da dört karık açılarak sulama yapılır (Şekil 7.15).

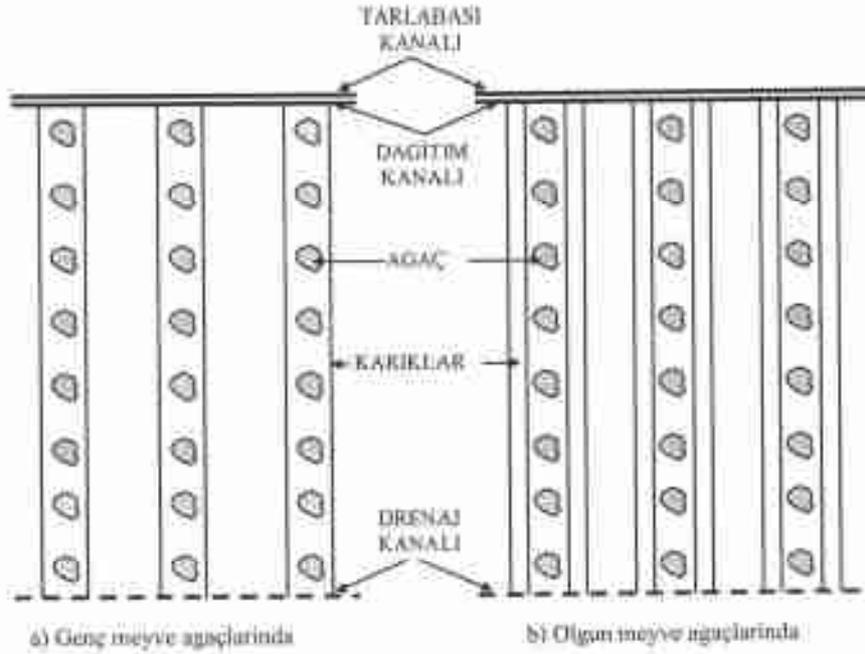


a) Her bitki sırasına bir karık



b) Birden fazla bitki sırasına bir karık

Şekil 7.14. Bitki sıra aralığına göre karıkların tertibi



Şekil 7.15. Meyve bahçelerinin sulanmasında karıkların tertibi

Islak çevre, daha önce verilen (7.15) nolu eşitlikle hesaplanır.

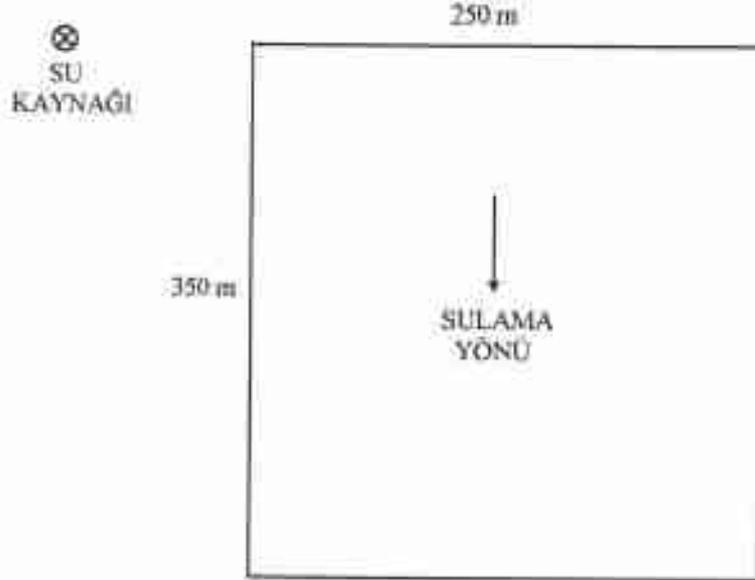
Karik debisi, erozyona neden olmayan maksimum karik debisinden yüksek olmamalıdır. Maksimum karik debisi, infiltrasyon testleri sırasında tampon karıklarda gözlemlenir.

Açık karıklarda, karik boyunca kabul edilebilir düzeyde es su dağılımı elde etmek için, suyun karik sonuna net infiltrasyon süresinin en çok % 25'i kadar sürede ulaşması istenir. Karik uzunluğu bu koşulu sağlayacak biçimde seçilir.

Açık karik sulama sistemlerinin tasarımına ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir.

#### Verilenler :

Şekil 5.16'da verilen tarım işletmesinde karik sulama yöntemi uygulanacaktır. Yapılan kaynak araştırması, infiltrasyon testleri ve hesaplamalar sonucunda aşağıdaki bilgiler elde edilmiştir.



Şekil 7.16. Açık kanak sistem tasarımının yapılacağı örnek tarla parseli

- Su iletimi ve dağıtımını açık kanal sistemi ile yapılacaktır.
- Su kaynağının debisi :  $Q = 80 \text{ L/s}$
- Bitki cinsi : Mısır
- Bitki sıra aralığı : 70 cm
- Bitki su tüketimi : 6 mm/gün
- Uygulanacak net sulama suyu miktarı :  $d_n = 84.2 \text{ mm}$
- Sulama aralığı :  $SA = 14 \text{ gün}$
- Sulama doğrultusunda kanak eğimi :  $S = \% 0.05$
- Infiltrasyon grubu :  $I_f = 0.40$
- Maksimum kanak debisi :  $q_{max} = 1.4 \text{ L/s}$
- Günde 24 saat sulama yapılabilir.

#### İstenenler :

Yukarıdaki verilere göre sabit ve değişken debili açık kanaklar için sistem tasarımı istenmektedir.

#### Çözüm :

1) Eklemeli su alma eşitliği,

$I_f = 0.40$  için Çizelge 7.1'den,

$$\alpha = 1.064, \beta = 0.736, c = 7.0, f = 7.79, g = 2.230 \times 10^{-4}$$

bulunur. Bu durumda eklemeli su alma eşitliği;

$$D = aT^b - c = 1,064T^{0,750} - 7,0$$

biçiminde elde edilir.

2) Karık aralığı;

Bitki sıra aralığı 70 cm değeri 50'cm den büyük olduğundan her bitki sırası için bir karık açılır ve karık aralığı  $w = 0,70$  m alınır.

3) Tarla parselinin enine yerleştirilebilecek maksimum karık seti sayısı;

Maksimum karık debisi  $q_{max} = 1,4$  L/s ve sistem debisi  $Q = 80$  L/s koşullarında, bir karık setinde en az;

$$n_{min} = \frac{Q}{q_{max}} = \frac{80}{1,4} = 57 \text{ adet}$$

karık olabilir. Bu durumda minimum karık seti genişliği;

$$b_{min} = w n_{min} = 0,70 \times 57 = 40 \text{ m}$$

ve tarla parseli eni boyunca yerleştirilebilecek maksimum karık seti sayısı;

$$N_{max} = \frac{250}{40} = 6 \text{ adet}$$

bulunur.

**Sabit debili açık karık olarak tasarım :**

4) Uygun karık debisi ve karık uzunluğu:

**1. SEÇENEK :** Tarla parseli enine  $N = 6$  adet karık seti yerleştirilsin;

a) Karık seti eni;

$$b = \frac{250}{6} = 42 \text{ m}$$

b) Bir settteki karık sayısı;

$$n = \frac{b}{w} = \frac{42}{0,70} = 60 \text{ adet}$$

c) Karık debisi;

$$q = \frac{Q}{n} = \frac{80}{60} = 1,33 \text{ L/s}$$

d) Islak çevre;

$$P = 0.265 \left( \frac{qn}{S^{0.5}} \right)^{0.423} + 0.227$$

$$P = 0.265 \pi \left[ \frac{1.33 \times 0.04}{(0.0005)^{0.5}} \right]^{0.423} + 0.227 = 0.61 \text{ m}$$

Islak çevre  $P = 0.61$  m, karık aralığı  $w = 0.70$  m'den küçük olduğu için uygundur.

e) Net infiltrasyon süresi;

$$T_n = \left( \frac{d_w \frac{w}{P} - c}{a} \right)^{1.16} = \left( \frac{84.2 \times \frac{0.70}{0.61} - 7.0}{1.064} \right)^{1.16} = 413 \text{ dak}$$

f) Su ilerleme süresi ve proje karık uzunluğu;

Tarla parselinin sulama doğrultusundaki uzunluğu 350 m olduğu için karık uzunluğu en çok 350 m olacaktır. Karık uzunluğu  $L = 350$  m alınırsa,

$$\beta = \frac{gL}{qS^{0.5}} = \frac{2.230 \times 10^{-4} \times 350}{1.33 \times (0.0005)^{0.5}} = 2.62$$

$$T_i = \frac{L}{f} e^{\beta} = \frac{350}{7.79} \times e^{2.62} = 617 \text{ dak}$$

Açık karıklarda su karık sonuna en çok net infiltrasyon süresinin % 25'i kadar sürede ulaşmalıdır. Başka bir deyişle,

$$T_i \leq 0.25 T_n = 0.25 \times 413 = 103 \text{ dak}$$

değerini aşmamalıdır. Burada  $T_i = 617$  dakika bulunduğu için  $L = 350$  m karık uzunluğu uygun değildir.

Karık uzunluğu parsel uzunluğunun yarısı olan  $L = 350 / 2 = 175$  m alınırsa;

$$T_i = \frac{L}{f} e^{\beta} = \frac{175}{7.79} \times e^{1.31} = 83 \text{ dak}$$

Bu durumda  $T_i \leq 0.25 T_n$  koşulu sağlandığından proje karık uzunluğu  $L = 175$  m olacaktır.

g) Sulama süresi;

$$T_s = T_v + T_i = 413 + 83 = 496 \text{ dak} \approx 8.5 \text{ h}$$

h) Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı;

Alanda toplam 12 karık seti vardır. Bir günde 2 karık seti sulamı ve sulama 6 günde tamamlanır. Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı en çok sulama aralığı kadar olabileceğinden uygundur.

**2. SECENEK :** Tarla parseli emine  $N = 5$  adet karık seti yerleştirilsin;

a) Karık seti eni;

$$b = \frac{250}{5} = 50 \text{ m}$$

b) Bir setteki karık sayısı;

$$n = \frac{b}{w} = \frac{50}{0.70} = 71 \text{ adet}$$

c) Karık debisi;

$$q = \frac{Q}{n} = \frac{80}{71} = 1.13 \text{ L/s}$$

d) Islak çevre;

$$P = 0.265 \left( \frac{qn}{S^{0.5}} \right)^{0.425} + 0.227$$

$$P = 0.265x \left[ \frac{1.13x0.04}{(0.0005)^{0.5}} \right]^{0.425} + 0.227 = 0.58 \text{ m}$$

e) Net infiltrasyon süresi;

$$T_u = \left( \frac{d_w \frac{w}{P} - c}{a} \right)^{1/0.7} = \left( \frac{84.2x \frac{0.70}{0.58} - 7.0}{1.064} \right)^{1/0.7} = 445 \text{ dak}$$

f) Su ileleme süresi ve proje karık uzunluğu;

1. seçenekte daha yüksek karık debisinde  $L = 350$  m karık uzunluğu uygun çıkmadığından, 2. seçenekte daha düşük karık debisinde de uygun çıkmayacağı açıktır. Bu nedenle, karık uzunluğu  $L = 175$  m alınırsa;

$$\beta = \frac{gL}{qS^{0.5}} = \frac{2.230 \times 10^4 \times 175}{1.13 \times (0.0005)^{0.5}} = 1.54$$

$$T_i = \frac{L}{f} e^{\beta} = \frac{175}{7.79} x e^{1.54} = 105 \text{ dak}$$

Burada  $T_i = 105 \text{ dak} < 0.25 T_n = 0.25 \times 445 = 111 \text{ dak}$  olduğundan  $L = 175 \text{ m}$  kark uzunluğu uygundur.

g) Sulama süresi,

$$T_a = T_n + T_i = 445 + 111 = 556 \text{ dak} \cong 9.5 \text{ h}$$

h) Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı,

Alanda toplam 10 kark seti vardır. Bir günde 2 kark seti sulanır ve sulama 5 günde tamamlanır.

**3. SEÇENEK :** Tarla parseli emine  $N = 4$  adet kark seti yerleştirilsin;

a) Kark seti eni,

$$b = \frac{250}{4} = 62.5 \text{ m}$$

b) Bir setteki kark sayısı,

$$n = \frac{b}{w} = \frac{62.5}{0.70} = 89 \text{ adet}$$

c) Kark debisi,

$$q = \frac{Q}{n} = \frac{80}{89} = 0.90 \text{ L/s}$$

d) Islak çevre,

$$P = 0.265 \left( \frac{qn}{S^{0.5}} \right)^{0.425} + 0.227$$

$$P = 0.265 \times \left[ \frac{0.90 \times 0.04}{(0.0005)^{0.5}} \right]^{0.425} + 0.227 = 0.55 \text{ m}$$

e) Net infiltrasyon süresi,

$$T_n = \left( \frac{d_n \frac{w}{p} - c}{a} \right)^{1.75} = \left( \frac{84.2 \times \frac{0.70}{0.55} - 7.0}{1.064} \right)^{1.75} = 481 \text{ dak}$$

f) Su ilerleme süresi ve proje kark uzunluğu,

Kark uzunluğu  $L = 175$  m alınırsa,

$$\beta = \frac{gL}{qS^{0.2}} = \frac{2.230 \times 10^{-4} \times 175}{0.90 \times (0.0005)^{0.2}} = 1.94$$

$$T_i = \frac{L}{f} e^{\beta} = \frac{175}{7.79} \times e^{1.94} = 156 \text{ dak}$$

Burada  $T_i = 156 \text{ dak} > 0.25 T_n = 0.25 \times 481 = 120 \text{ dak}$  olduğundan  $L = 175$  m kark uzunluğu uygun değildir.

Sulama doğrultusundaki parsel uzunluğu 3 e bölünerek kark uzunluğu  $L = 117$  m alınırsa,

$$\beta = \frac{gL}{qS^{0.2}} = \frac{2.230 \times 10^{-4} \times 117}{0.90 \times (0.0005)^{0.2}} = 1.30$$

$$T_i = \frac{L}{f} e^{\beta} = \frac{117}{7.79} \times e^{1.30} = 55 \text{ dak}$$

Burada  $T_i = 55 \text{ dak} < 0.25 T_n = 0.25 \times 481 = 120 \text{ dak}$  olduğundan  $L = 117$  m kark uzunluğu uygundur.

g) Sulama süresi,

$$T_n = T_n + T_i = 481 + 55 = 536 \text{ dak} \cong 9 \text{ h}$$

h) Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı,

Alanda toplam 12 kark seti vardır. Bir günde 2 kark seti sulanır ve sulama 6 günde tamamlanır.

Su dağıtım ve yüzey drenaj sistemlerinin toplam maliyeti daha düşük olduğundan en yüksek kark uzunluğuna sahip seçenek uygundur. Eğer, en yüksek kark uzunluğunu veren birden fazla seçenek varsa bunlar içerisinde en düşük kark debisine sahip olanı en uygun seçenek olarak göz önüne alır. Bu örnekte, 1. ve 2. seçeneklerde kark uzunluğu en yüksektir ve  $L = 175$  m'dir. Ancak, 2.

seçenekteki karık debisi  $q = 1.13$  L/s, 1. seçenekteki  $q = 1.33$  L/s'den daha düşük olduğundan 2. seçenek en uygun seçenektir. Sonuçta bu örnek için karık uzunluğu  $L = 175$  m ve karık debisi  $q = 1.13$  L/s'dir.

5) Ortalama infiltrasyon süresi;

$$T_o = T_a \cdot \frac{0.0929[(\beta - 1)e^{\beta} + 1]}{fL \left( \frac{0.305\beta}{L} \right)^2}$$

$$T_o = 556 \cdot \frac{0.0929x[(1.54 - 1)xe^{1.54} + 1]}{7.79x175x \left( \frac{0.305x1.54}{175} \right)^2} = 523 \text{ dak}$$

6) Ortalama infiltrasyon miktarı;

$$d_o = (aT_o^n + c) \frac{P}{w} = (1.064x523^{0.736} + 7.0)x \frac{0.58}{0.70} = 94.1 \text{ mm}$$

7) Uygulanacak toplam sulama suyu miktarı;

$$d_i = \frac{60qT_o}{wL} = \frac{60x1.13x556}{0.70x175} = 307.7 \text{ mm}$$

8) Yüzey akışı;

$$d_{yo} = d_i - d_o = 307.7 - 94.1 = 213.6 \text{ mm}$$

9) Derine sızan su miktarı

$$d_s = d_o - d_n = 94.1 - 84.2 = 9.9 \text{ mm}$$

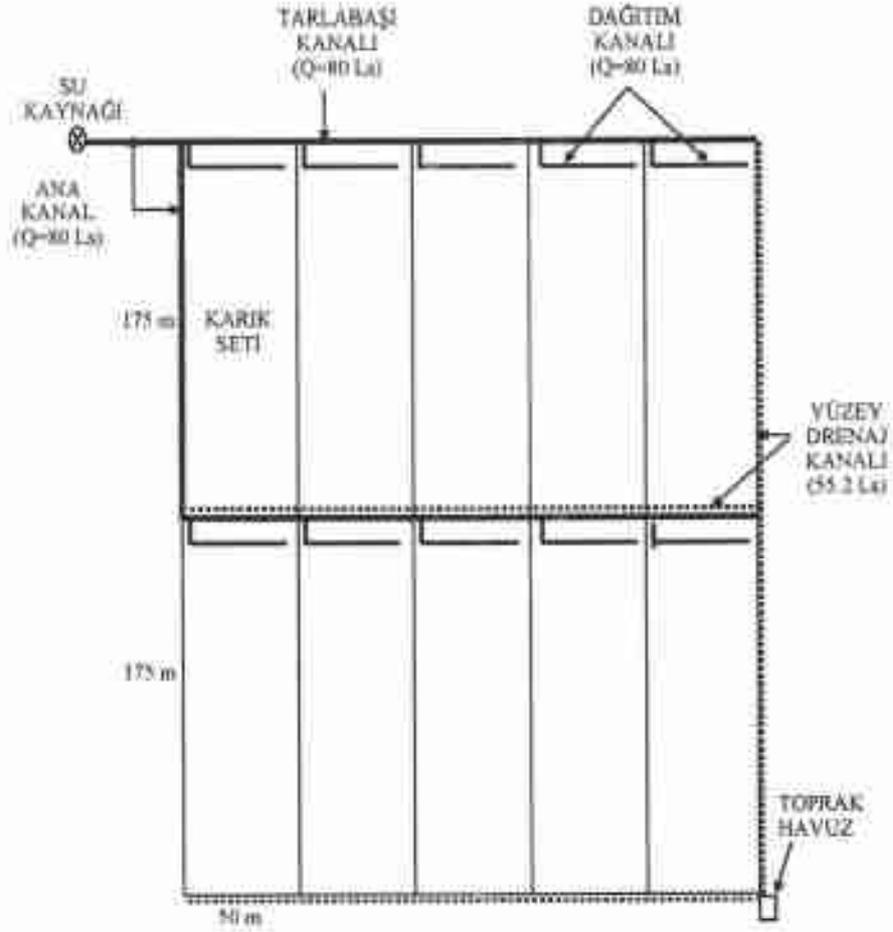
10) Su uygulama randımanı;

$$E_a = 100 \frac{d_n}{d_i} = 100x \frac{84.2}{307.7} = 27.4$$

11) Sistem tertibi;

Elde edilen sonuçlara göre sistem tertibi Şekil 5.17'de verilmiştir. Sistemde, ana kanal, tarla başı kanalları ve dağıtım kanalları  $Q = 80$  L/s debiyi iletecek biçimde boyutlandırılır. Yüzey akışa geçen suyun uygulanan toplam sulama suyuna oranı,

$$\frac{d_{yo}}{d_i} = \frac{213.6}{307.7} = 0.69$$



Şekil 7.17. Sabit debili açık kanallar için sistem tertibi

bulunur. Başka bir deyişle, yüzey drenaj kanalları en az:

$$Q = 80 \times 0.69 = 55.2 \text{ L/s}$$

debiyi iletecek biçimde boyutlandırılır. Ancak, düşen yağışın yüzey akışı geçen miktarının tahmin edilmesi ve yüzey drenaj kanallarına verilen boyutların gerekirse artırılması koşulu da göz önüne alınmalıdır.

Görüldüğü gibi, sabit debili açık kanallarda, yüzey akışı çok yüksek olduğundan, karıklardan çıkan su tekrar sulamada kullanılmazsa su uygulama

randımanı son derece düşük olur. Örneğin, burada su uygulama randımanı  $E_s = \% 27.4$  bulunmuştur. Bu amaçla, Şekil 5.17'den izleneceği gibi, tarla parselinin alt ucunda yüzey drenaj kanallarının birleştiği yere bir toprak havuz yapılır ve burada biriken yüzey akışı genellikle alt tarla parsellerinin sulanmasında kullanılır. Aksi durumda, havuzda biriken su bir pompa ile sulanan parseldeki tarla başı kanallarına basılır.

#### Değişken debili açık kark olarak tasarım :

İlk üç aşama sabit debili açık karklarda olduğu gibidir. Başka bir deyişle,  $l_f = 0.40$  için  $a = 1.064$ ,  $b = 0.736$ ,  $c = 7.0$ ,  $f = 7.79$ ,  $g = 2.230 \times 10^{-4}$ , bunların yanında, kark aralığı  $w = 0.70$  m ve tarla parseli enine yerleştirilebilecek maksimum kark seti sayısı  $N_{max} = 6$  adettir.

4) Uygun kark debisi ve kark uzunluğu;

1. **SEÇENEK** : Değişken debili açık karklarda, su kark sonuna ulaştıktan sonra, kark debisini yarıya düşürmek için net infiltrasyon süresi boyunca aynı anda iki kark setine su verildiğinden işletme kolaylığı açısından tarla parseli eni boyunca çift sayıda kark seti olmalıdır. Maksimum kark seti sayısı 6 olduğuna göre, tarla parseli enine  $N = 6$  adet kark seti yerleştirilsin;

a) Kark seti eni;

$$b = \frac{250}{6} = 42 \text{ m}$$

b) Bir setteki kark sayısı;

$$n = \frac{b}{w} = \frac{42}{0.70} = 60 \text{ adet}$$

c) Kark debisi;

$$q = \frac{Q}{n} = \frac{80}{60} = 1.33 \text{ L/s}$$

d) Islak çevre;

$$P = 0.265 \left( \frac{qn}{S^{0.3}} \right)^{0.425} + 0.227$$

-  $q = 1.33$  L/s için;

$$P = 0.265 \times \left[ \frac{1.13 \times 0.04}{(0.0005)^{0.3}} \right]^{0.425} + 0.227 = 0.61 \text{ m}$$

-  $q/2 = 0.665$  L/s için;

$$P_i = 0.265x \left[ \frac{0.665x0.04}{(0.0005)^{0.5}} \right] + 0.227 = 0.51 \text{ m}$$

Islak çevre  $P = 0.61$  m ve  $P_i = 0.51$  m değerleri, kark aralığı  $w = 0.70$  m den küçük olduğu için uygundur.

e) Net infiltrasyon süresi,

$$T_n = \left( \frac{d_n \frac{w}{P_i} - c}{a} \right)^{1.48} = \left( \frac{84.2x \frac{0.70}{0.51} - 7.0}{1.064} \right)^{1.48} = 536 \text{ dak}$$

f) Su ilerleme süresi ve proje kark uzunluğu;

Tarla parselinin sulama doğrultusundaki uzunluğu 350 m olduğu için kark uzunluğu en çok 350 m olacaktır. Kark uzunluğu  $L = 350$  m alınırsa;

$$\beta = \frac{gL}{qS^{0.5}} = \frac{2.230x10^{-4}x350}{1.33x(0.0005)^{0.5}} = 2.62$$

$$T_i = \frac{L}{f} e^{\beta} = \frac{350}{7.79} x e^{2.62} = 617 \text{ dak}$$

Açık karklarda su kark sonuna en çok net infiltrasyon süresinin % 25'i kadar sürede ulaşmalıdır. Başka bir deyişle;

$$T_i \leq 0.25 T_n = 0.25x536 = 134 \text{ dak}$$

değerini aşmamalıdır. Burada  $T_i = 617$  dakika bulunduğundan  $L = 350$  m kark uzunluğu uygun değildir.

Kark uzunluğu parsel uzunluğunun yarısı olan  $L = 350 / 2 = 175$  m alınırsa;

$$\beta = \frac{gL}{qS^{0.5}} = \frac{2.230x10^{-4}x175}{1.33x(0.0005)^{0.5}} = 1.31$$

$$T_i = \frac{L}{f} e^{\beta} = \frac{175}{7.79} x e^{1.31} = 83 \text{ dak}$$

Bu durumda  $T_i \leq 0.25 T_n$  koşulu sağlandığından proje kark uzunluğu  $L = 175$  m olacaktır.

g) Sulama süresi;

$$T_u = T_w + T_i = 536 + 83 = 619 \text{ dak}$$

Değişken debili açık kanıklarda, su önce  $T_i$  süresi kadar birinci kanık setine sonra yine  $T_i$  süresi kadar ikinci kanık setine verilir. Sulama süresinin artı kalan  $T_w$  süresi kadar iki kanık setine su uygulanır. Bu nedenle iki kanık seti için sulama süresi;

$$T_u + T_i + T_i = 536 + 83 + 83 = 702 \text{ dak} \cong 12 \text{ h}$$

olur.

h) Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı;

Alanda toplam 12 kanık seti vardır. Bir günde 4 kanık seti sulanır ve sulama 3 günde tamamlanır. Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı en çok sulama aralığı kadar olabileceğinden uygundur.

**2. SECENEK :** Tarla parseli enine  $N = 4$  adet kanık seti yerleştirilsin;

a) Kanık seti eni;

$$b = \frac{250}{4} = 62.5 \text{ m}$$

b) Bir setteki kanık sayısı;

$$n = \frac{b}{w} = \frac{62.5}{0.70} = 89 \text{ adet}$$

c) Kanık debisi;

$$q = \frac{Q}{n} = \frac{80}{89} = 0.90 \text{ L/s}$$

d) Islak çevre;

-  $q = 0.90 \text{ L/s}$  için;

$$P = 0.265 \left( \frac{qm}{S^{0.5}} \right)^{0.423} + 0.227$$

$$P = 0.265 \times \left[ \frac{0.90 \times 0.04}{(0.0005)^{0.5}} \right]^{0.423} + 0.227 = 0.55 \text{ m}$$

-  $q/2 = 0.45$  L/s için;

$$P_i = 0.265x \left[ \frac{0.45x0.04}{(0.0005 f^{0.3})} \right]^{0.425} + 0.227 = 0.47 \text{ m}$$

e) Net infiltrasyon süresi;

$$T_w = \left( \frac{d_w \frac{w}{P_i} - c}{a} \right)^{176} = \left( \frac{84.2x \frac{0.70}{0.47} - 7.0}{1.064} \right)^{176.200} = 603 \text{ dak}$$

f) Su ilerleme süresi ve proje karık uzunluğu;

Karık uzunluğu  $L = 175$  m alınırsa;

$$\beta = \frac{gL}{qS^{0.3}} = \frac{2.230x10^4 x 175}{0.90x(0.0005 f^{0.3})} = 1.94$$

$$T_i = \frac{L}{f} e^{\beta} = \frac{175}{7.79} x e^{1.94} = 156 \text{ dak}$$

Burada  $T_i = 156 \text{ dak} \cong 0.25 T_w = 0.25 x 603 = 151 \text{ dak}$  olduğundan  $L = 175$  m karık uzunluğu uygundur.

g) Sulama süresi;

$$T_w = T_w + T_i = 603 + 156 = 759 \text{ dak}$$

İki karık seti için sulama süresi;

$$T_w + T_i + T_i = 603 + 156 + 156 = 915 \text{ dak} \cong 15.5 \text{ h}$$

h) Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı;

Alanda toplam 8 karık seti vardır. Bir günde 2 karık seti sulanır ve sulama 4 günde tamamlanır.

**3. SECENEK :** Tarla parseli enine  $N = 2$  adet karık seti yerleştirilsin;

a) Karık seti eni;

$$b = \frac{250}{2} = 125 \text{ m}$$

b) Bir settaki karık sayısı;

$$n = \frac{b}{w} = \frac{125}{0.70} = 179 \text{ adet}$$

c) Karık debisi;

$$q = \frac{Q}{n} = \frac{80}{179} = 0.45 \text{ L/s}$$

d) Islak çevre;

-  $q = 0.45 \text{ L/s}$  için;

$$P = 0.265 \left( \frac{qn}{S^{0.5}} \right)^{0.423} + 0.227$$

$$P = 0.265 \times \left[ \frac{0.45 \times 0.04}{(0.0005)^{0.5}} \right]^{0.423} + 0.227 = 0.47 \text{ m}$$

-  $q/2 = 0.225 \text{ L/s}$  için;

$$P_f = 0.265 \times \left[ \frac{0.225 \times 0.04}{(0.0005)^{0.5}} \right]^{0.423} + 0.227 = 0.41 \text{ m}$$

e) Net infiltrasyon süresi;

$$T_n = \left( \frac{d_n \frac{w}{P_f} - c}{a} \right)^{1.14} = \left( \frac{84.2 \times \frac{0.70}{0.41} - 7.0}{1.064} \right)^{1/0.756} = 734 \text{ dak}$$

f) Su ilerleme süresi ve proje karık uzunluğu;

Karık uzunluğu  $L = 175 \text{ m}$  alınırsa;

$$\beta = \frac{gL}{qS^{0.5}} = \frac{2.230 \times 10^{-4} \times 175}{0.45 \times (0.0005)^{0.5}} = 3.88$$

$$T_1 = \frac{L}{f} e^{\beta} = \frac{175}{7.79} \times e^{3.88} = 1088 \text{ dak}$$

Burada  $T_1 = 1088 \text{ dak} > 0.25 T_n = 0.25 \times 734 = 184 \text{ dak}$  olduğundan  $L = 175 \text{ m}$  karık uzunluğu uygun değildir.

$L = 175$  m kark uzunluğuna sahip seçenek mevcut olduğundan, 3. seçenek için  $L < 175$  m kark uzunluğu üzerinde durmaya gerek yoktur. Başka bir deyişle 3. seçenek uygun değildir.

Daha önce de değinildiği gibi, su dağıtım ve yüzey drenaj sistemlerinin toplam maliyeti daha düşük olduğundan en yüksek kark uzunluğuna sahip seçenek uygundur. Eğer, en yüksek kark uzunluğunu veren birden fazla seçenek varsa bunlar içerisinde en düşük kark debisine sahip olanı en uygun seçenek olarak göz önüne alınır. Bu örnekte, 1. ve 2. seçeneklerde kark uzunluğu en yüksektir ve  $L = 175$  m'dir. Ancak, 2. seçenekteki kark debisi  $q = 0.90$  L/s, 1. seçenekteki  $q = 1.33$  L/s'den daha düşük olduğundan 2. seçenek en uygun olanıdır. Ancak, sulama, 1. seçenekte günde 24 saat sulama yapılarak 3 günde, 2. seçenekte ise günde 15.5 h sulama yapılarak 4 günde tamamlanmaktadır. Çiftçi isteğine bağlı olarak, sulamanın daha kısa zamanda tamamlandığı 1. seçenek te uygun görülebilir. Bu örnek için 2. seçenek daha uygun bulunmuştur. Sonuçta, kark uzunluğu  $L = 175$  m, kark debisi  $q = 0.90$  L/s ve azaltılmış kark debisi  $q_2 = 0.45$  L/s'dir.

5) Ortalama infiltrasyon süresi,

$$T_a = T_s - \frac{0.0929[(\beta - 1)e^{\beta} + 1]}{fL \left( \frac{0.305\beta}{L} \right)^2}$$

$$T_a = 759 - \frac{0.0929x[(1.94 - 1)xe^{1.94} + 1]}{7.79x175x \left( \frac{0.305x1.94}{175} \right)^2} = 714 \text{ dak}$$

6) Ortalama infiltrasyon miktarı,

$$d_a = (aT_a^b + c) \frac{P_i}{w} + [a(T_s - T_a)^b + c] \frac{(P - P_i)}{w}$$

$$d_a = (1.064x714^{0.20} + 7.0)x \frac{0.47}{0.70}$$

$$+ [1.064x(759 - 714)^{0.20} + 7.0]x \frac{(0.55 - 0.47)}{0.70} = 97.5 \text{ mm}$$

7) Uygulanacak toplam sulama suyu miktarı,

$$d_i = \frac{60}{wL} (qT_i + \frac{q}{2}T_s)$$

$$d_r = \frac{60}{0.70 \times 175} \times (0.90 \times 156 + 0.45 \times 603) = 201.7 \text{ m}$$

8) Yüzey akışı,

$$d_m = d_r - d_u = 201.7 - 97.5 = 104.2 \text{ mm}$$

9) Derine sızan su miktarı,

$$d_s = d_u - d_a = 97.5 - 84.2 = 13.3 \text{ mm}$$

10) Su uygulama randımanı,

$$E_a = 100 \frac{d_s}{d_r} = 100 \times \frac{84.2}{201.7} = 41.7$$

11) Sistem tertibi,

Elde edilen sonuçlara göre, sistem tertibi Şekil 7.18'de verilmiştir. Sistemde, ana kanal, tarla başı kanalları ve dağıtım kanalları  $Q = 80 \text{ L/s}$  debiyi iletecek biçimde boyutlandırılır. Burada,

$$\frac{d_m}{d_r} = \frac{104.2}{201.7} = 0.52$$

olduğundan, yüzey drenaj kanallarının boyutlandırılmasında göz önüne alınacak debi,

$$Q = 0.52 \times 80 = 41.6 \text{ L/s}$$

bulunur.

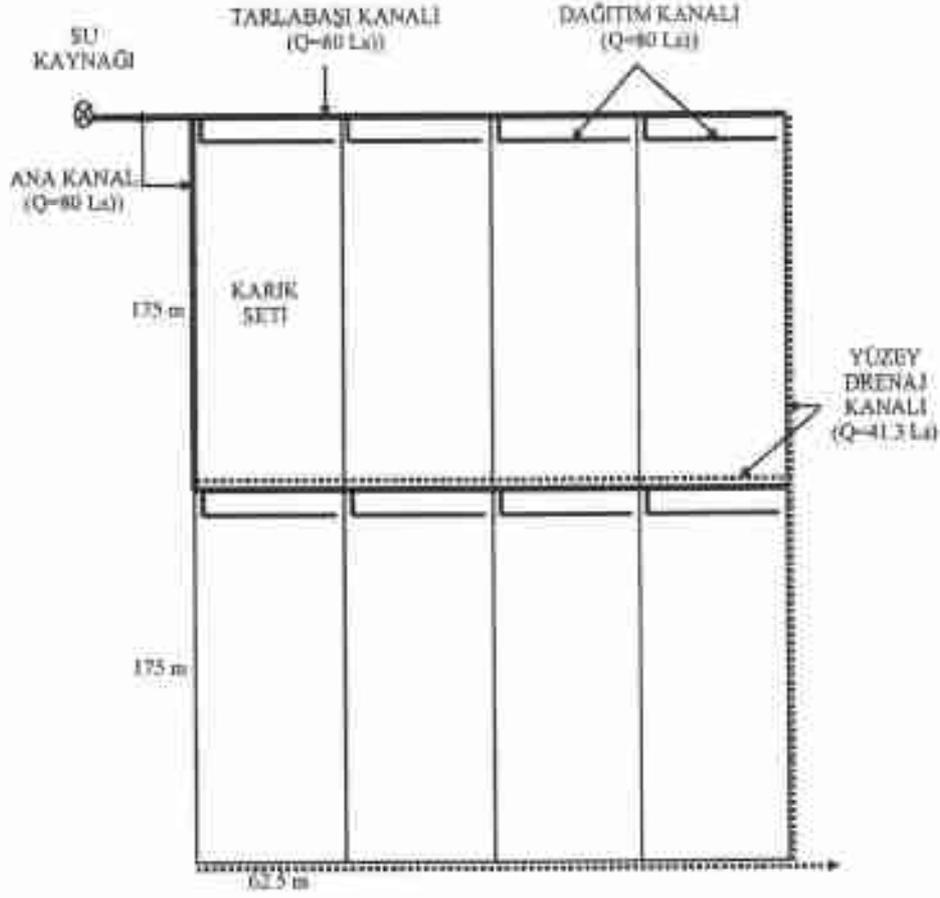
Görüldüğü gibi, sabit debili açık karıklarda yüzey akışı 213.6 mm bulunmasına karşın, değişken debili açık karıklarda, su karık sonuna ulaştıktan sonra karık debisinin yarısı uygulandığından yüzey akışı 104.2 mm'ye düşmüştür. Başka bir deyişle, su uygulama randımanı % 27.4'ten % 41.7'ye yükselmiştir. Bu nedenle, karıklardan çıkan suyun tekrar sulamada kullanıma olanağı yoksa değişken debili açık karıklar tercih edilmelidir.

### 7.9.2. Kapalı Karıklar

Karık sulama sistemlerinin tasarımında kapalı karıklar için kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir.

Islak çevre,

$$P = 0.265 \left( \frac{qn}{S_u^{0.5}} \right)^{0.425} + 0.227 \quad (7.29)$$



Şekil 7.18. Değişken debili açık karıklar için sistem tertibi

Kapalı karıklarda eğim söz konusu olmamasına karşın, bu eşitlikteki  $S_e$  suyun karık boyunca hareketini sağlayan hidrolik eğimi ifade etmektedir. Kapalı karıklarda ortalama hidrolik eğim;

$$S_e = \frac{0.0875 q^{0.342}}{L} \quad (7.30)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

Net infiltrasyon süresi;

Daha önce verilen (7.16) nolu eşitlikte hesaplanır.

Su ilerleme süresi,

Daha önce verilen (7.18) ve (7.19) nolu eşitliklerle hesaplanır. Kapalı karıklarda suyun göllendirilmesi söz konusu olduğundan, tava sulama yöntemine benzer biçimde su uygulama randımanının en az % 80 olması ve suyun karık sonuna net infiltrasyon süresinin en çok % 60'ı kadar sürede ulaşması istenir. Başka bir deyişle, kapalı karıklarda;

$$T_i \leq 0.60 T_n$$

koşulunu sağlayan karık uzunluğu seçilir.

Ortalama infiltrasyon süresi;

$$T_n = T_a + \frac{0.0929[(\beta - 1)e^{\beta} + 1]}{\beta \left( \frac{0.305\beta}{L} \right)^2} \quad (7.31)$$

Sulama süresi;

$$T_a = \frac{PL}{60q} (aT_n^2 + c) \quad (7.32)$$

Uygulanacak toplam sulama suyu miktarı;

Daha önce sabit debili açık karıklar için verilen (7.24) nolu eşitlikle hesaplanır.

Derine sızan su miktarı;

$$d_s = d_i - d_a \quad (7.33)$$

Su uygulama randımanı;

Daha önce verilen (7.28) nolu eşitlikle hesaplanır.

Kapalı karıklar için verilen eşitliklerde;

$T_n$  = Net infiltrasyon süresi, dak,

$d_n$  = Uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm,

$P$  = Islak çevre, m,

$T_i$  = Su ilerleme (suyun karık sonuna ulaşma) süresi, dak,

$L$  = Karık uzunluğu, m,

$q$  = Karık debisi, L/s,

$S_n$  = Ortalama hidrolik eğim, m/m,

$T_a$  = Sulama süresi, dak,

$T_n$  = Ortalama infiltrasyon süresi, dak,

$d_s$  = Uygulanacak toplam sulama suyu miktarı, mm,

$d_i$  = Derine (kök bölgesinin altına) sızan su miktarı, mm,  
 $a, b, c$  = Toprağın infiltrasyon özelliklerine ilişkin katsayılar ve  
 $f, g$  = Karıkta su ilerleme özelliklerine ilişkin katsayılardır.

Kapalı karık sistemlerinin tasarımına ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir.

**Verilenler :**

Daha önce açık karıklar için verilen örnek ele alınacaktır. Yalnız, tarla parseli sulama doğrultusunda eğimsizdir.

**İstenenler :**

Kapalı karıklar için sulama sisteminin tasarımı istenmektedir.

**Çözüm :**

1) Eklemeli su alma eşitliği;

$I_p = 0.40$  için Çizelge 7.1'den;

$$a = 1.064, b = 0.736, c = 7.0, f = 7.79, g = 2.230 \times 10^{-4}$$

bulunur. Bu durumda eklemeli su alma eşitliği;

$$D = aI^b + c = 1.064I^{0.736} + 7.0$$

biçiminde elde edilir.

2) Karık aralığı;

Bitki sıra aralığı 70 cm değeri 50 cm den büyük olduğundan her bitki sırası için bir karık açılır ve karık aralığı  $w = 0.70$  m alınır.

3) Tarla parselinin enine yerleştirilebilecek maksimum karık seti sayısı;

Maksimum karık debisi  $q_{max} = 1.4$  L/s ve sistem debisi  $Q = 80$  L/s koşullarında, bir karık setinde en az;

$$n_{min} = \frac{Q}{q_{max}} = \frac{80}{1.4} = 57 \text{ adet}$$

karık olabilir. Bu durumda minimum karık seti genişliği;

$$b_{min} = w n_{min} = 0.70 \times 57 = 40 \text{ m}$$

ve tarla parseli eni boyunca yerleştirilabilecek maksimum karık seti sayısı;

$$N_{max} = \frac{250}{40} = 6 \text{ adet}$$

bulunur.

4) Uygun karık debisi ve karık uzunluğu:

1. SEÇENEK : Parsel emine 6 karık seti yerleştirilsin ( $q = 1.33 \text{ L/s}$ );

a) Karık uzunluğu  $L = 350 \text{ m}$  için;

- Ortalama hidrolik eğim;

$$S_o = \frac{0.0875 q^{0.342}}{L} = \frac{0.0875 \times (1.33)^{0.342}}{350} = 0.00028 \text{ m/m}$$

- Islak çevre;

$$P = 0.265 \left( \frac{qn}{S_o^{0.2}} \right)^{0.423} + 0.227$$

$$P = 0.265 \left[ \frac{1.33 \times 0.04}{(0.00028)^{0.2}} \right]^{0.423} + 0.227 = 0.66 \text{ m}$$

Burada,  $P = 0.66 \text{ m} < w = 0.70 \text{ m}$  olduğundan uygundur.

- Net infiltrasyon süresi;

$$T_n = \left( \frac{d_n \frac{w}{P} - c}{a} \right)^{1.76} = \left( \frac{84.2 \times \frac{0.70}{0.66} - 7.0}{1.064} \right)^{1.76} = 368 \text{ dak}$$

- Su ilerleme süresi;

$$\beta = \frac{gL}{qS_o^{0.5}} = \frac{2.230 \times 10^{-4} \times 350}{1.33 \times (0.00028)^{0.5}} = 3.54$$

$$T_i = \frac{L}{f} e^{\beta} = \frac{350}{7.79} \times e^{3.54} = 1549 \text{ dak}$$

Burada,  $T_i = 1549 \text{ dak} > 0.60 T_n = 221 \text{ dak}$  olduğundan karık uzunluğu 350 m olamaz.

b) Karık uzunluğu  $L = 175 \text{ m}$  için;

- Ortalama hidrolik eğim;

$$S_o = \frac{0.0875 q^{0.342}}{L} = \frac{0.0875 \times (1.33)^{0.342}}{175} = 0.00055 \text{ m/m}$$

- Islak çevre;

$$P = 0.265 \left( \frac{qn}{S_v^{0.5}} f^{0.425} + 0.227 \right)$$

$$P = 0.265 \times \left[ \frac{1.33 \times 0.04}{(0.00055) f^{0.3}} \right]^{0.425} + 0.227 = 0.60 \text{ m}$$

Burada,  $P = 0.60 \text{ m} < w = 0.70 \text{ m}$  olduğundan uygundur.

- Net infiltrasyon süresi;

$$T_n = \left( \frac{d_w \frac{w}{p} - c}{a} \right)^{1/3} = \left( \frac{84.2 \times \frac{0.70}{0.60} - 7.0}{1.064} \right)^{1/0.336} = 423 \text{ dak}$$

- Su ilerleme süresi;

$$\beta = \frac{gl}{qS_v^{0.5}} = \frac{2.230 \times 10^{-4} \times 175}{1.33 \times (0.00055) f^{0.3}} = 1.25$$

$$T_i = \frac{L}{f} e^{\beta} = \frac{175}{7.79} \times e^{1.25} = 78 \text{ dak}$$

Burada,  $T_i = 78 \text{ dak} < 0.60 T_n = 254 \text{ dak}$  olduğundan karık uzunluğu  $L = 175 \text{ m}$  uygundur.

**2. SEÇENEK :** Parsel enine 5 karık seti yerleştirilsin ( $q = 1.13 \text{ L/s}$ ).

a) Karık uzunluğu  $L = 175 \text{ m}$  için;

- Ortalama hidrolik eğim;

$$S_o = \frac{0.0875 q^{0.342}}{L} = \frac{0.0875 \times (1.13) f^{0.342}}{175} = 0.00052 \text{ m/m}$$

- Islak çevre;

$$P = 0.265 \left( \frac{qn}{S_v^{0.5}} f^{0.425} + 0.227 \right)$$

$$P = 0.265 \times \left[ \frac{1.13 \times 0.04}{(0.00052) f^{0.3}} \right]^{0.425} + 0.227 = 0.58 \text{ m}$$

Burada,  $P = 0.58 \text{ m} < w = 0.70 \text{ m}$  olduğundan uygundur.

- Net infiltrasyon süresi;

$$T_n = \left( \frac{d_n \frac{w}{P} - c}{a} \right)^{1/b} = \left( \frac{84.2 \times \frac{0.70}{0.58} - 7.0}{1.064} \right)^{1/0.736} = 445 \text{ dak}$$

- Su ilerleme süresi;

$$\beta = \frac{g L_e}{q S_e^{0.5}} = \frac{2.230 \times 10^{-4} \times 175}{1.13 \times (0.00052)^{0.5}} = 1.51$$

$$T_i = \frac{L}{f} e^{-\beta} = \frac{175}{7.79} \times e^{-1.51} = 102 \text{ dak}$$

Burada,  $T_i = 102 \text{ dak} < 0.60 T_n = 267 \text{ dak}$  olduğundan kırık uzunluğu  $L = 175 \text{ m}$  uygundur.

**3. SECENEK :** Parsel etine 4 kırık seti yerleştirilsin ( $q = 0.90 \text{ L/s}$ );

a) Kırık uzunluğu  $L = 175 \text{ m}$  için;

- Ortalama hidrolik eğim;

$$S_e = \frac{0.0875 q^{0.542}}{L} = \frac{0.0875 \times (0.90)^{0.542}}{175} = 0.00048 \text{ m/m}$$

- Islak çevre;

$$P = 0.265 \left( \frac{qn}{S_e^{0.5}} \right)^{0.423} + 0.227$$

$$P = 0.265 \times \left[ \frac{0.90 \times 0.04}{(0.00048)^{0.5}} \right]^{0.423} + 0.227 = 0.55 \text{ m}$$

Burada,  $P = 0.55 \text{ m} < w = 0.70 \text{ m}$  olduğundan uygundur.

- Net infiltrasyon süresi;

$$T_n = \left( \frac{d_n \frac{w}{P} - c}{a} \right)^{1.76} = \left( \frac{84.2 \times \frac{0.70}{0.55} - 7.0}{1.064} \right)^{1.736} = 481 \text{ dak}$$

- Su ilerleme süresi,

$$\beta = \frac{gL}{qS_n^{0.5}} = \frac{2.230 \times 10^{-4} \times 175}{0.90 \times (0.00048)^{0.5}} = 1.98$$

$$T_i = \frac{L}{f} e^{\beta} = \frac{175}{7.79} \times e^{1.98} = 163 \text{ dak}$$

Burada,  $T_i = 163 \text{ dak} < 0.60 T_n = 289 \text{ dak}$  olduğundan karık uzunluğu  $L = 175 \text{ m}$  uygundur.

**4. SEÇENEK :** Parsel emine 3 karık seti yerleştirilsin ( $q = 0.67 \text{ L/s}$ );

a) Karık uzunluğu  $L = 175 \text{ m}$  için,

- Ortalama hidrolik eğim;

$$S_n = \frac{0.0873 q^{0.242}}{L} = \frac{0.0873 \times (0.67)^{0.242}}{175} = 0.00044 \text{ m/m}$$

- Islak çevre;

$$P = 0.265 \left( \frac{qn}{S_n^{0.5}} \right)^{0.423} + 0.227$$

$$P = 0.265 \times \left[ \frac{0.67 \times 0.04}{(0.00044)^{0.5}} \right]^{0.423} + 0.227 = 0.52 \text{ m}$$

Burada,  $P = 0.52 \text{ m} < w = 0.70 \text{ m}$  olduğundan uygundur.

- Net infiltrasyon süresi;

$$T_n = \left( \frac{d_n \frac{w}{P} - c}{a} \right)^{1.76} = \left( \frac{84.2 \times \frac{0.70}{0.52} - 7.0}{1.064} \right)^{1.6736} = 521 \text{ dak}$$

- Su ilerleme süresi,

$$\beta = \frac{gL}{qS_o^{0.5}} = \frac{2.230 \times 10^4 \times 175}{0.67 \times (0.00044)^{0.5}} = 2.78$$

$$T_i = \frac{L}{f} e^{\beta} = \frac{175}{7.79} \times e^{2.78} = 362 \text{ dak}$$

Burada,  $T_i = 362 \text{ dak} > 0.60 T_u = 313 \text{ dak}$  olduğundan karık uzunluğu  $L = 175 \text{ m}$  olamaz ve bu seçenek uygun değildir.

Bu örnekte, 1., 2. ve 3. seçeneklerde  $L = 175 \text{ m}$  karık uzunluğu uygun bulunmuştur. En düşük karık debisi 3. seçenektir ve bu seçenek en uygundur. Sonuçta, karık uzunluğu  $L = 175 \text{ m}$  ve karık debisi  $q = 0.90 \text{ L/s}$ 'dir.

5) Ortalama infiltrasyon süresi;

$$T_o = T_u + \frac{0.0929[(\beta - 1)e^{\beta} + 1]}{fl \left( \frac{0.305\beta}{L} \right)^2}$$

$$T_o = 481 + \frac{0.0929 \times [(1.98 - 1)e^{1.98} + 1]}{7.79 \times 175 \times \left( \frac{0.375 \times 1.98}{175} \right)^2} = 527 \text{ dak}$$

6) Sulama süresi,

$$T_o = \frac{PL}{60q} (aT_o^n + c)$$

$$T_o = \frac{0.55 \times 175}{60 \times 0.90} \times (1.064 \times 527^{0.736} + 7.0) = 204 \text{ dak} \cong 3.5 \text{ h}$$

7) Uygulanacak toplam sulama suyu miktarı;

$$d_i = \frac{60qT_o}{wl} = \frac{60 \times 0.90 \times 204}{0.70 \times 175} = 89.9 \text{ mm}$$

8) Derine sızan su miktarı;

$$d_s = d_i - d_o = 89.9 - 84.2 = 5.7 \text{ mm}$$

9) Su uygulama randımanı;

$$E_s = 100 \frac{d_s}{d_i} = 100 \times \frac{84.2}{89.9} = 93.7$$

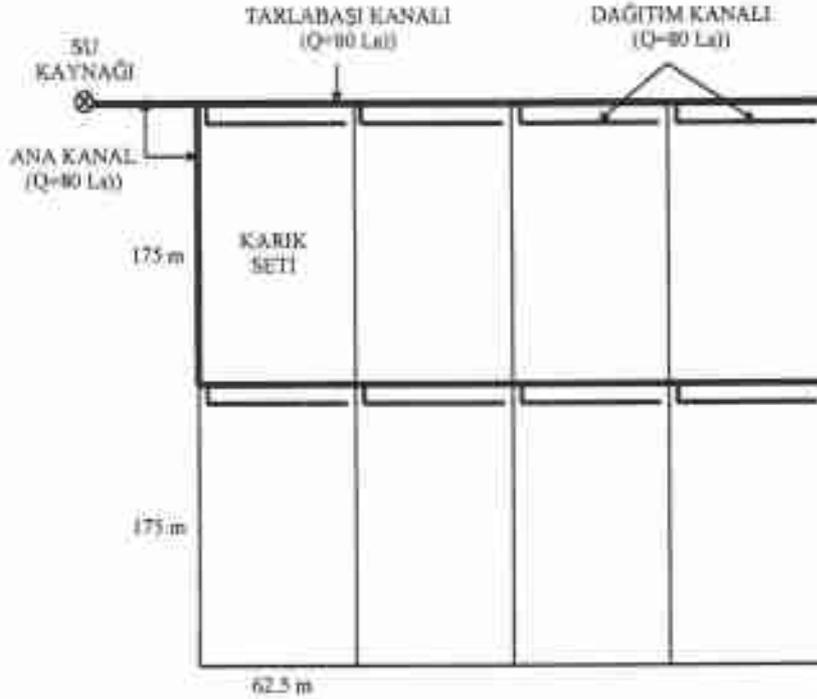
10) Sulamanın tamamlanacağı gün sayısı;

Toplam 8 kark seti vardır. Günde en çok 6 kark seti sulanır ve sulama 2 günde tamamlanır. Burada, günde yaklaşık 14 saat sulama yaparak 4 kark setinin sulanması ve sulamanın 2 günde tamamlanması daha iyi bir işletme olabilir.

11) Sistem tertibi yapılır;

Elde edilen sonuçlara göre sistem tertibi Şekil 7.19'da verilmiştir. Sistemde, ana kanal, tarla başı kanalları ve dağıtım kanalları  $Q = 80 \text{ L/s}$  debiyi iletecek biçimde boyutlandırılır.

Görüldüğü gibi, kapalı karklarda iyi bir planlama ve sulama işletmeciliği sonucunda, açık karklara oranla oldukça yüksek su uygulama randımanı elde edilir. Bunun nedeni, kark sonu kapalı olduğundan yüzey akışının söz konusu olmamasıdır. Eğer, topografik koşullar sulama doğrultusunda eğim olmayacak biçimde arazi tesviyesine olanak verirse, kapalı karklar açık karklara her zaman tercih edilmelidir.



Şekil 7.19. Kapalı karklar için sistem tertibi

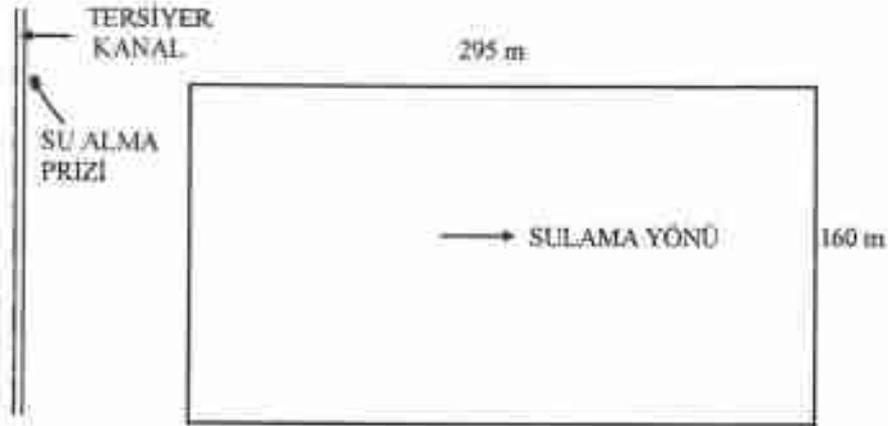
## 7.10. ÇALIŞMA PROBLEMLERİ

1. Şekil 7.20'de verilen tarım işletmesinde tava sulama sisteminin tasarımını yapınız.

- Bitki cinsi : Buğday
- Etkili kök derinliği : 90 cm
- Bitki su tüketimi : 6 mm/gün
- Toprak bünye sınıfı : CL
- Tarla kapasitesi : % 28,2
- Solma noktası : % 17,4
- Hacim ağırlığı : 1,32 g/cm<sup>3</sup>
- İnfiltrasyon grubu : 0,45
- Su kaynağının debisi : 50 L/s

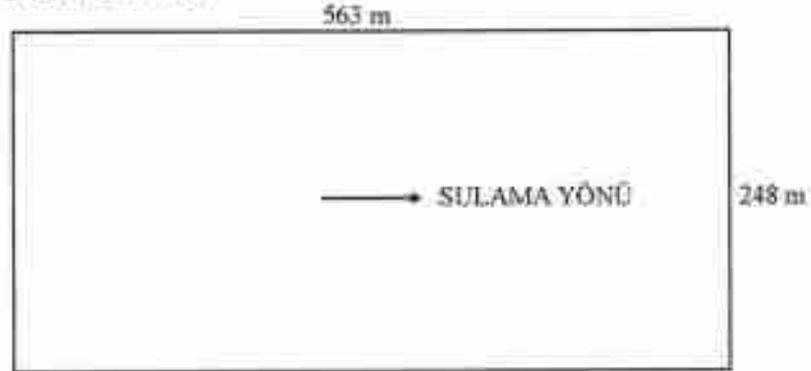
2. Şekil 7.21'de verilen tarım işletmesinde uzun tava sulama sisteminin tasarımını yapınız.

- Bitki cinsi : Yonca
- Etkili kök derinliği : 90 cm
- Bitki su tüketimi : 7,2 mm/gün
- Toprak bünye sınıfı : CL
- Kullanılabilir su tutma kapasitesi : 174 mm/m
- İnfiltrasyon grubu : 0,50
- Sulama doğrultusundaki eğim : % 0,7
- Su kaynağının debisi : 70 L/s



Şekil 7.20. 1. soru problemine ilişkin tarım işletmesi

⊗ SU KAYNAĞI

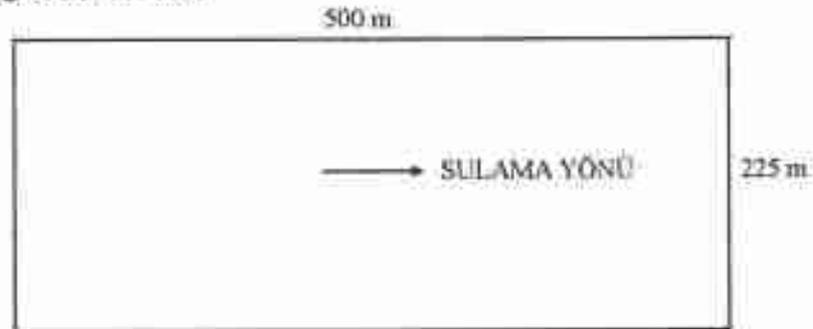


Şekil 7.21. 2 nolu probleme ilişkin tarım işletmesi

3. Şekil 7.22'de verilen tarım işletmesinde karık eğiminin % 0.2 ve % 0 (eğimsiz) olduğu koşullar için karık sulama sisteminin ayrı tasarımını yapınız.

- Bitki cinsi : Domates
- Sıra aralığı : 1.00 m
- Etkili kök derinliği : 90 cm
- Bitki su tüketimi : 7.4 mm/gün
- Toprak bünye sınıfı : SCL
- Uygulanacak net sulama suyu miktarı : 68 mm
- İnfiltrasyon grubu : 0.60
- Su kaynağının debisi : 100 L/s
- Maksimum karık debisi : 1.5 L/s

⊗ SU KAYNAĞI



Şekil 7.22. 3 nolu probleme ilişkin tarım işletmesi

## KAYNAKLAR

---

- Açıl, F., 1980. *Tarım Ekonomisi*. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 721, Ankara.
- Akalan, I., 1968. *Toprak*. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 356, Ankara.
- Aküzüm, T., 1976. *Türkiye'de İmal Edilen Yağmurlama Başlıklarının Su Dağılım Özellikleri Üzerinde Bir Araştırma*. Doktora Tezi (Bastırmamış), Ankara Üniv. Ziraat Fak. Kültürteknik Bölümü, Ankara.
- Aküzüm, T. ve Öztürk, F., 1996. *Toprağın Yapıları*. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 1448, Ankara.
- Aljibury, F.K., 1981. Water and energy conservation in drip irrigation. *Drip Trickle Irrig.*, 18:26-28.
- Altınorak, Y. ve Yıldırım, O., 1991. Uygun sulama yönteminin seçimine ekonomik faktörlerin etkisi. *Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yılığ* 1988, 39(1-2):81-88.
- Apaydın, H. and Yıldırım, O., 2005. Graphical method for determining lateral and manifold pipe diameters in drip irrigation. *Irrigation and Drainage*, 54(2):145-154.
- Aşık, N., 2003. *Damla Sulamada Toprakta Nem Dağılımı ve Damlatıcı Aralığının Belirlenmesi*. Y.Lisans Tezi, Ankara Üniv. Fen Bil. Enst., Ankara.
- Ayyıldız, M., 1983. *Hidrolik*. İkinci Baskı, Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 883, Ankara.
- Ayyıldız, M. ve Yıldırım, O., 1986. Basınçlı sulama sistemlerinde yağmurlama başlığı ve damlatıcılardaki yapım farklılıklarının eş su dağılım düzeyine etkileri. *II. Ulusal Kültürteknik Kongresi Bildirileri*, 29.4.-2.5.1986, 417-433, Çukurova Üniv. Ziraat Fak. Yayınları, Adana.
- Baars, C., 1976. *Design of Trickle Irrigation Systems*. Dept. Irrig. and Civil Eng., Agric. Univ., Wageningen.
- Balaban, A., 1986. *Su Kaynaklarının Planlanması*. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 972, Ankara.

- Balaban, A., Tekinel, O. ve Korukçu, A., 1970. Yağmurlama sulama metodunun teknik ve ekonomik elverişliliği üzerinde bir araştırma, *Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yılığ.*, 20(1);113-131.
- Bernstein, L. and Francois, L.E., 1973. Comparison of drip, furrow and sprinkler irrigation, *Soil Sci.*, 115;73-86.
- Boman, B.J., 1989. Emitter and spaghetti tubing effects on microsprinkler flow uniformity. *Transactions of the ASAE*, 32(1);168-172.
- Boswell, M.J., 1984. *Micro-Irrigation Design Manual*. Hardie Irrig., El Cajon, California.
- Bredetil, G.S. and Barnard, C.J., 1975. Micro irrigation of subtropical fruit crops. *The Citrus and Subtropical Fruit Jour.*, 5-10.
- Bresler, E., 1978. Analysis of trickle irrigation with application to design problems. *Irrig. Sci.*, 1(1);3-17.
- Burt, C.M. and Styles, S.W., 1994. *Drip and Microirrigation for Trees, Vines and Row Crops*. ITRC, Cal Poly, San Luis Obispo, California 93407.
- Çetin, Ö., Yıldırım, O., Uygan, D. ve Boyacı, H., 2002. Irrigation Scheduling of drip irrigated tomatoes using Class A pan evaporation, *Turk J. Agric. For.*, 26;171-178.
- Çevik, B., Tekinel, O. ve Kanber, R., 1990. *Bahçe Bitkileri Sulama Tekniği*. Çukurova Üniv. Zir. Fak. Yayınları 102, Adana.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O., 1977. *Crop Water Requirements*. FAO Irr. Drain Paper 24, Rome.
- Fereres, E. and Paech, L., 1981. *Irrigation Management Program : Irrigation Scheduling Guide*. California Dep. Water Resour., Sacramento, CA.
- Finkel, H.J., 1982. *Handbook of Irrigation Technology, Vol. I-II*. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
- Goldberg, D., Gornat, B. and Rimon, D., 1976. *Drip Irrigation*. Drip Irr. Sci. Publications, Kfar Shmaryahu, Israel.
- Güngör, Y. ve Erözel, A.Z., 1994. *Drenaj ve Arazi Islahı*. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 1341, Ankara.
- Güngör, Y., Erözel, A.Z. ve Yıldırım, O., 1996. *Sulama*, 2. Baskı, Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 1525, Ankara.
- Güngör, Y. ve Yıldırım, O., 1989. *Tarık Sulama Sistemleri*. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 1115, Ankara.
- Hillel, D., 1980. *Applications of Soil Physics*. Academic Press, New York.

- Hills, D.J., Nawar, F.M. and Waller, P.M., 1989. Effects of chemical clogging on drip-tape irrigation uniformity. *Transactions of the ASAE*, 32(4):1202-1206.
- Howell, T.A. and Hilel, E.A., 1974. Trickle irrigation lateral design. *Transactions of the ASAE*, 17(5):902-908.
- 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 Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 637, Ankara.
- Kanber, R., 1999. *Sulama*, 2. Baskı, Çukurova Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 174, Adana.
- Karmeli, D., 1977. Classification and flow regime analysis of drippers. *Jour. Agric. Eng. Res.*, 22(2):165-173.
- Keller J. and Karmeli, D., 1974. Trickle irrigation design parameters. *Transactions of the ASAE*, 17(4):678-684.
- Keller J. and Karmeli, D., 1975. *Trickle Irrigation Design*. Rain Bird Sprinkler Corp., Glendora.
- Korukçu, A., 1969. *Türkiye'de Yağmurlama Sulamasının Problemleri Üzerinde Bir Araştırma*. Doktora Tezi (Basılmamış), Ankara Üniv. Ziraat Fak. Kültürteknik Bölümü, Ankara.
- Korukçu, A., 1975. *Damla Sulaması ve Projelenmesi*. TOPRAKSU, Damla Sulaması I. Teknik Toplantısı, Ankara.
- Korukçu, A., 1980. *Damla Sulamasında Yan Boru Uzunluklarının Saptanması Üzerinde Bir Araştırma*. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 742, Ankara.
- Korukçu, A. ve Aközüm, T., Yağmurlama sulama sistemlerinde su dağılımı açısından başlıkların uygun tertip biçiminin saptanması üzerinde bir araştırma. *Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yıllığı*, 27(2):305-314.
- Korukçu, A. ve Öneş, A., 1981. *Küçük Yağmurlama Başlıklarının Teknik Özellikleri ve Kullanım Olanakları Üzerinde Bir Araştırma*. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 760, Ankara.
- Korukçu, A. ve Yıldırım, O., 1981. *Yağmurlama Sistemlerinin Projelenmesi*. TOPRAKSU Yayınları, Ankara.

- Korukçu, A. ve Yıldırım, O., 1982. Suyun yarıçekimi ile temin edildiği yağmurlama sulama sistemlerinde ekonomik boru büyüklüğünün saptanması. *TOPRAKSU Teknik Dergisi*, 60,21-32, Ankara.
- Korukçu, A. ve Yıldırım, O., 1983. Yağmurlama sulamasında su dağılımı ile sulama randımanı arasındaki ilişkilerin saptanması üzerinde bir araştırma. *Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Dergisi*, 2(1),65-76.
- Kovach, S.P., 1984. *Injection of Fertilizers into Drip Irrigation Systems for Vegetables*. Florida Coop. Ext. Serv., Circ. 606, Florida.
- Köksal, A.J., Dumanoğlu, H., Güneş, N., Yıldırım, O. ve Kadayıfçı, A., 1999. Farklı sulama yöntemleri ve programlarının elma ağaçlarının vejetatif gelişimi, meyve verimi ve kalitesi üzerine etkileri. *Türk Tarım ve Ormanlık Dergisi*, 23(Ek Sayı 4),909-920.
- Merriam, J.L. and Keller, J. 1978. *Farm Irrigation System Evaluation : A Guide for Management*. Irrig. Eng. Dept., Utah State Univ., Logan, Utah.
- Nakayama, F.S. and Bucks, D.A. (ed.), 1986. *Trickle Irrigation for Crop Production. Design, Operation and Management*. Development in Agricultural Engineering, No. 9, Elsevier, New York.
- Özekici, B. and Sneed, R.E., 1991. *Analysis of Pressure Losses in Tortuous-Path Emitters*. ASAE, Paper 912155, St. Joseph, Michigan.
- Özekici, B. and Sneed, R.E., 1995. Manufacturing variation for various trickle irrigation on-line emitters. *Transactions of the ASAE*, 11(2),235-240.
- Öztürk, F., Tokgöz, M.A. ve Yıldırım, O., 1989. *Karik Sulamada Sediment Tazıması*. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 1136, Ankara.
- Papazafritou, Z.G., 1980. A compact procedure for trickle irrigation system design. *ICID Bulletin*, 29(1),28-45.
- Parchomchuk, P. and Stevenson, D.S., 1980. Water distribution uniformity of undertree sprinklers in high density orchards. *Transactions of the ASAE*, 23(1),88-91.
- Perold, R.P., 1977. Design of irrigation pipe laterals. *Jour. Irrig. Drain. Div., ASCE*, 103(IR2),179-195.
- Sinclair, T.R., Tanner, C.B. and Bennet, J.M., 1984. Water use efficiency in crop production. *Bioscience*, 34,36-40.
- Smith, M., 1991. *Manual and Guidelines for CROPWAT*. FAO Irrig. Drain Paper 46, Rome.
- Solomon, K., 1979. Manufacturing variation of trickle emitters. *Transactions of the ASAE*, 22 (5),1034-1043.

- Solomon, K. and Keller, J., 1978. Trickle irrigation uniformity and efficiency. *Jour. Irrig. Drain. Div., ASCE*, 104(IR3),293-306.
- Stewart, B.E. and Nielsen, D.R. (ed.), 1990. *Irrigation of Agricultural Crops*. Am. Soc. Agron. Sci., Madison, Wisconsin.
- Tüzel, İ.H., Damla sulama sistemlerinde sulama yeknesaklığının değerlendirilmesi. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Dergisi*, 30(1-2):119-126.
- Tüzel, İ.H. ve Balcı, A., 1991. Ülkemizde üretilen küçük yağmurlama başlıklarının bazı teknik özellikleri ve sulama laterallerinde kullanım olanakları üzerinde bir araştırma. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Dergisi*, 28(1):153-170.
- Uzun, O.Ö., 2003. *Toplu Yağmurlama Sulama Sistemlerinde İşletme Yöntemlerinin Karşılaştırılması*. Afyon-Şuhut-Altıhisar Kooperatifi Örneği. Dönem Projesi, Ankara Üniv. Fen Bil. Enst., Ankara.
- Vermeiren, L. and Jobling, G.A., 1983. *Localized Irrigation*. FAO Irrig. Drain Paper 36, Rome.
- Wu, I.P., 1975. Design of drip irrigations main lines. *Jour. Irrig. Drain. Div., ASCE*, 101(IR4):265-278.
- Wu, I.P. and Gitlin, H.M., 1974. Drip irrigation design based on uniformity. *Transactions of the ASAE*, 17(3):429-432.
- Wu, I.P. and Gitlin, H.M., 1979. Drip irrigation design on nonuniform slopes. *Jour. Irrig. Drain. Eng., ASCE*, 105(IR3):289-303.
- Wu, I.P. and Gitlin, H.M., 1981. Preliminary concept of a drip irrigation network design. *Transactions of the ASAE*, 24(2):330-339.
- Wu, I.P., Saruwatari, C.A. and Gitlin, H.M., 1983. Design of drip irrigation lateral length on uniform slopes. *Irrig. Sci.*, 4(2):117-135.
- Yıldırım, O., 1980. *Türkiye'de Yapılan Bazı Boruların Yağmurlama Sulama Sistemlerinde Lateral Kullanım Özellikleri Üzerinde Bir Araştırma*. Doktora Tezi (Basılmamış), Ankara Üniv. Ziraat Fak. Kültürteknik Bölümü, Ankara.
- Yıldırım, O., 1988. Yağmurlama sulama yönteminde eş su dağılımının ekonomik yönü. *3. Ulusal Kültürteknik Kongresi Bildirileri*, Cilt 1, 256-264, 20-23 Eylül 1988, İzmir, Çukurova Üniv. Ziraat Fak. Genel Yayın No : 19, Adana.
- Yıldırım, O., 1994. Meyve Ağaçlarının Sulanmasında Damla, Yağmurlama ve Karık Yöntemlerinin Ekonomik Yönden Karşılaştırılması. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 1347, Ankara.

- Yıldırım, O., 1996. *Bahçe Bitkileri Sulama Tekniği*. II. Baskı, Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 1438, Ankara.
- Yıldırım, O., 1996. *Sulama Sistemleri II*. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 1449, Ankara.
- Yıldırım, O. ve Apaydın, H., 1999. Damla sulamada lateral ve manifold boru çaplarının belirlenmesinde grafiksel yöntem. *Ankara Üniv. Ziraat Fak. Tarım Bilimleri Dergisi*, 5(1):24-32.
- Yıldırım, O. ve Beyribey, M., *Toplu Yağmurlama Sistemlerinde Su Dağıtım Ağı Ekonomik Boru Çapının Saptanması*. Köy Hizmetleri Gn. Md. Yayınları, Ankara.
- Yıldırım, O. and Orta, A.H., 1993. Evaluation of some drip irrigation systems in Antalya region. *TÜBİTAK Doğu Bil. Der.*, 17,499-509.
- Yıldırım, O., Tokgöz, M.A. ve Öztürk, F., 1989. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliği Arazisinde Uygun Karık Uzunlukları*. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları 1131, Ankara.
- Yıldırım, O. ve Özder, F.E., 1990. Bazı büyük yağmurlama başlıklarının su dağılım özellikleri. *Doğa, Türk Tarım ve Ormanlık Dergisi*, 14,360-367.
- Yurman, S. ve Yıldırım, O., 1991. Karık, damla ve sızdırma sulama yöntemlerinin toprakta tuz dağılımına etkisi. *Ankara Üniv. Ziraat Fak Yılığ* 1988, 39 (1-2),47-57.



ISBN: 978-975-482-784-2