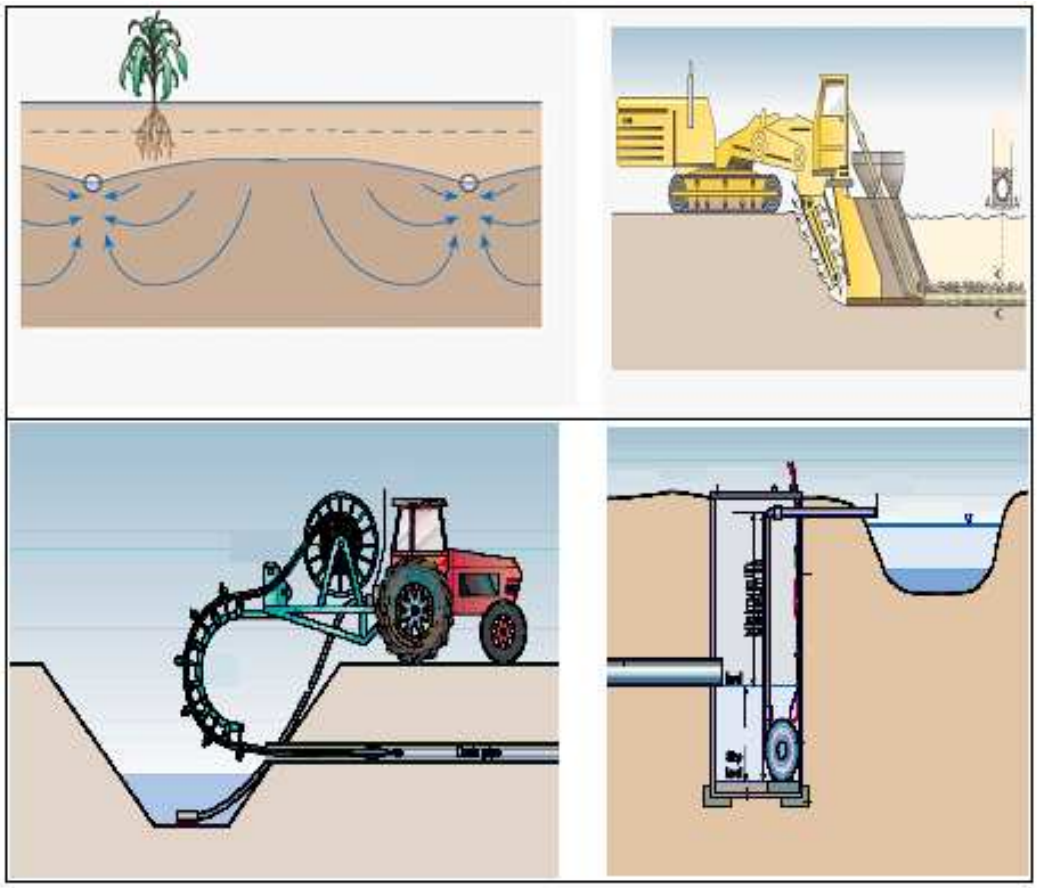
DRENAJ MÜHENDİSLİĞİ

Prof. Dr. İdris BAHÇECİ

HARRAN ÜNİVERSİTESİ ZİRAAT FAKÜLTESİ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA BÖLÜMÜ-ŞANLIURFA



ÖNSÖZ

Sulama kurak ve yarı kurak coğrafyada yer alan ülkelerde tarımsal üretimi artırmanın olmazsa olmaz öğelerinden biridir. Dünyada ve ülkemizde sulama yatırımlarına büyük kaynaklar ayrılmasının temel nedeni budur. Ülkemizin en büyük entegre yatırım projelerinden biri olan 1.7 milyon hektarlık sulama alanı ile Güneydoğu Anadolu Projesi bunun en açık örneğidir.

Sulamadan beklenen yararların sağlanması, sulama yatırımları yanında, her geçen gün daha da kıt bir kaynak haline gelen suyun etkin kullanımına bağlıdır. Ülkemizde sulanan alanların artmasıyla oldukça iyi ürün artışları sağlanmasına karşın, su kaynaklarının etkin kullanıldığını söylemek oldukça güçtür. Suyun etkin kullanımı ise, doğru planlanmış ve inşa edilmiş sulama ve drenaj sistemleri yanında en uygun su yönetimine bağlıdır. Ülkemiz su kaynaklarının %74 gibi büyük bir bölümünün sulamada kullanıldığı ve sulama sistemlerinin yaklaşık %80'inin yüzey sulama sistemlerinden oluştuğu göz önüne alındığında, tarımsal sulama ve drenaj alanında su yönetiminin önemi açıkça görülmektedir. Doğru ve kabul edilebilir bir su yönetimi için, sulama ve drenaj sistemlerinin doğru tasarımlanması ve inşa edilmesi gereklidir. Bu aşamada, tasarımlama için gerekli verilerin elde edilmesine yönelik çalışmaların önemi açıktır.

Sulama ve drenaj yönetiminin son basamağı sistem performansını en üst düzeye çıkarmaktır. Eksik bilgilerle tasarımlanmış sistemlerde bunun başarılması ise kuşkuludur. Ülkemizde inşa edilen drenaj istemleri, daha çok yağışlı bölgelerde uygulanan ölçütlere dayanmaktadır. Oysa kurak bölge drenajı veya sulanan alanların drenajı önemli farklılıklar içermektedir. Yanlış planlamalar, fazla suyu uzaklaştırmak adına, su eksikliğine neden olabilmektedir. Bu durumda eksik su drenaj kanallarından veya yer altı sularından sağlanmaktadır. Bu ise ek enerji masrafı

yanında düşük kaliteli suların sulamada kullanılması demektir. Dolayısıyla sistemlerin tasarımlanmasında doğru verilerin kullanılması yanında, su kazanımına yönelik yaklaşımlar göz önüne alınmalıdır. Aksi halde suyun etkin kullanımı bir hayal olmaktan öteye gitmeyecektir.

Küresel ısınmanın da etkisiyle, su sıkıntısının giderek arttığı ülkemizde, suyun etkin ve sürdürülebilir biçimde kullanılması, üzerinde önemle durulması gerekli diğer bir konudur. Su kullanımının daha fazla sorgulandığı bu günlerde, sulanan alanlardaki su ve tuz dengesi ve su kazanımı sağlayan çalışmalarla, bunların çevre üzerine etkileri, henüz yeterince çalışılmış değildir.

GAP Bölgesinin su yönetimi açısından eğitim ve araştırma gereksinimi ise diğer bölgelere göre çok daha fazladır. Sulamanın verimi en azından birkaç katına çıkardığı bu bölgede, suyun etkin kullanımını sağlamaya yönelik her çalışma, büyük yatırımlarla gerçekleştirilen GAP projesinden beklenen yararın elde edilmesine ve yatırımların geriye dönüşümüne katkıda bulunacaktır.

Büyük bir verim potansiyeline sahip olan bu bölgede, sulamanın çevreye ve tarımsal sürdürülebilirliğe etkilerinin doğru bir şekilde belirlenmesine veya önlenmesine katkıda bulunmak ve sürdürülebilir bir tarımsal üretim ortamı sağlamak her vatandaş gibi bilim adamlarının ve akademisyenlerin görevleri arasında yer almaktadır.

Doç. Dr. İdris BAHÇECİ

İÇİNDEKİLER Sayfa No

1 GİRİŞ 1

1.1 Drenajın Tanımı 1

1.2 Fazla Suyun Etkileri 5

1.2.1 Doğrudan Etkiler 5

1.2.2 Dolaylı Etkiler 6

1.3 Drenajın Genel Amaçları 7

1.3.1 Drenajın Toprak Üzerine Etkileri 8

1.3.1.1 Bitki Kök Bölgesinde Havalanmanın Gelişmesi 8

1.3.1.2 Yağışlardan Sonra Toprağın Erken İşlenebilir Duruma Gelmesi 9

1.3.1.3 İlkbaharda Toprağın Erken Isınmasının Sağlanması 10

1.3.1.4 Toprak Yapısının Bozulmasının Önlenmesi 10

1.3.1.5 Toprakta Biyolojik, Mikrobiyolojik ve Biyokimyasal Faaliyetlerin Teşvik Edilmesi 10

1.3.1.6 Toprakta Uygun Bir Tuz Dengesinin Sağlanması 10

1.3.1.7 Taban Suyu Düzeyinin Denetlenmesi 11

1.3.1.8 Çiftlik İşlerinin Yapılması 12

1.3.1.9 Erozyonun Önlenmesi 12

2 DRENAJ ETÜTLERİ 14

2.1 Giriş 14

2.2 Ana İlkeler Ve Uygulamalar 14

2.2.1 Sorunun Tanımı 15

2.2.1.1 Sorunun Doğası Ve Nedeni 15

2.2.1.2 Zararlı Etkiler 15

2.3 Tasarımlama Aşamaları 15

2.4 Tasarımlamada Genel Yaklaşım 16

2.4.1 Drenaj Sisteminin Fiziksel Özellikleri 16

2.4.2 Arazi Kullanım Özellikleri 16

2.4.3 İşletme Organizasyon 16

2.5 Veri Toplama Çalışmaları 17

2.5.1 Kaba Etütler 17

2.5.2 Yarı Ayrıntılı Etütler 18

2.5.3 Ayrıntılı Etütler 19

2.5.3.1 Topoğrafik Etütler 19

2.5.3.2 Jeolojik Etütler 21

2.5.3.3 Toprak Etütleri 22

2.5.3.4 Taban Suyu Etütleri 23

2.5.3.4.1 Ölçüm Sıklığı Ve Şekli 27

2.5.3.4.2 Taban Suyu Ölçümlerinin Değerlendirilmesi 27
2.6 Geçirimsiz Tabaka (Bariyer) Etütleri 29
2.6.1 Bariyer Derinliğinin Saptanması 31
2.6.2 Bariyer Derinlik Grupları Haritası 34
3 DRENAJ MÜHENDİSLİĞİNDE TOPRAK-SU SİSTEMİ 35
3.1 Toprakta Suyun Devinimi 36
3.2 Doygun Toprakta Su Devinim İlkeleri 38
3.3 Hidrolik İletkenlik Ve Ölçüm Yöntemleri 39
3.3.1 Tarla Yöntemleri 41
3.3.1.1 Küçük Yer Kaplayanlar 41
3.3.1.1.1 Burgu Deliği Yöntemi 41
3.3.1.1.2 Ters Kuyu Yöntemi 45
3.3.1.1.3 Sabit Su Düzeyli Arazi Permeametresi 48
3.3.1.1.4 Piyezometre Yöntemi 49
3.3.2 İnfiltrasyon 50
3.3.2.1 İnfiltrasyon Eşitlikleri 50
3.3.2.2 Büyük Ölçekte Yer Kaplayan 51
3.3.3. Dren Boşalım Yöntemi 51
3.3.4 Korelasyon Yöntemler 53
3.3.4.1 Gözenek Büyüklüğü Dağılımı 53
3.3.4.2 Toprak Haritalarından Yararlanma 54
3.3.5 Laboratuar Yöntemleri 54
3.3.5.1 Bozulmamış Toprak Örneklerinde Geçirgenliğin Saptanması 55
3.4 Drene Edilebilir Gözenek Hacmi 57
3.4.1 Arazi Koşullarında Drene Edilebilir Gözenek Hacminin Belirlenmesi 58
4 DRENAJ SİSTEMİNİN TASARIMLANMASINI ETKİLEYEN ETMENLER 62
4.1 Drenaj Sistem Veya Yöntem Seçimi 62
5 YÜZEY DRENAJI 69
5.1 Düz Araziler İçin Yüzey Drenaj Sistemleri 70
5.1.1 Yastıklama Sistemi 70
5.1.2 Paralel Tarla Drenleri Sistemi 70
5.1.3 Rastgele Drenler Sistemi 71
5.1.4 Paralel Açık Hendek Sistemi 71
5.2 Eğimli Alanlar İçin Yüzey Drenaj Sistemleri 71
5.2.1 Eğime Çapraz Hendek Sistemi 71
5.2.2 Standart Erozyon Kontrol Terası 71
6 AÇIK DRENAJ KANALLARI 73
6.1 Eğimli Araziler 73
6.2 Tarımsal Alanlar 74

6.3 Birleşik Drenaj Sistemi 75
6.4 Kıyı Ovasına İki Ayrı Sistem 75
6.5 Drenaj Boşaltım Noktası 76
6.6 Drenaj Kanallarının Tasarımı 76
6.7 Boşalım Kapasitelerinin Belirlenmesi 78
6.7.1 Yatırım Maliyetinin Belirlenmesi 79
6.7.2 Depolamanın Boşalım Kapasitesine Etkisinin Belirlenmesi 79
7 YÜZEY ALTI DRENAJI 81
7.1 Boru Drenaj Sistemi Döşeme Desenleri 85
7.1.1 Doğal-Rastgele Sistem 85
7.1.2 Paralel Sistemler 85
7.1.3 Balık Kılçığı Veya Kaburgalı Sistem 86
7.2. Dren Döşeme Yerleri Ve Düzenleme 87
7.3. Kontrollü ve Sığ Drenaj Sistemleri 91
8.TARIMSAL DRENAJ ÖLÇÜTLERİ 93
8.1 Drenaj Sistemlerinin Analizi 93
8.2 Temel Tasarımlama Ölçütleri 94
8.2.1 Ölçütler İçin Göstergeler 95
8.2.2. Mühendislik Ölçütleri 97
8.2.3. Çevresel Drenaj Ölçütü 97
8.2.4. Kritik Süre, Depolama Kapasitesi Ve Tasarımlama Boşalımı 99
8.3 Tasarımlamada Kararlı Ve Karasız Akış Eşitliklerinin Kullanımı 101
8.3.1 Tasarımlama Boşalımı (Drenaj Katsayısı) 102
8.3.2 Kış Dönemi İçin Drenaj Ölçütleri 102
8.3.3. Bitki Yetişme Dönemi İçin Ölçütler 105
8.4 Taban Suyunun Konumu ve Düşme Hızı 107
8.5 Drenaj Ölçütünün Simulasyonla Belirlenmesi 108
8.6. Dren Derinliğinin Drene Edilebilir Gözenek Hacmi İle İlişkisi 110
8.7. Tarla Drenaj Derinliği 110
8.7.1. Tarla Drenaj Derinliğini Etkileyen En Önemli Yerel Koşular 111
9 TARLA DRENAJ SİSTEMLERİNİN TASARIMLANMASI 114
9.1 Dren Aralık Eşitlikleri 115
9.1.1 Hooghoudt Eşitliği 116
9.1.2. Ernst Eşitliği 120
9.2 Akış Deseni 121
9.2.1 Düşey Akış 121
9.2.2 Yatay Akış 122
9.2.3 Radyal Akış 123
9.2.4 Giriş Akışı 124

9.4 Kararlı Akış Eşitliklerin Kullanımı 126
9.5 Kararsız Akış Koşulları 126
9.5.1 Glover-Dumm Eşitliği 127
9.5.2 Dalgalanan Su Tablası 128
9.5.3 Drenaj Şiddet Faktörü (α) 129
9.5.4 Hooghoudt Eşitliğinin Kullanımı 131
10 DREN BORULARINDA AKIŞ 137
10.1 Hidrolik Tasarımlama 137
10.1.1 Üniform Akış 138
10.1.2. Üniform Olmayan Akış 139
10.2 Toplayıcı Drenlerde Boru Çaplarının Belirlenmesi 141
10.2.1 Toplayıcı Kapasitelerinin Belirlenmesi 141
10.3 Dren Hatlarının Eğimi 145
11 SULANAN ALANLARDA TUZLANMA VE DRENAJ 148
11.1 Toprak Tuzluluğu 149
11.1.1 Yüksek Tuz Girişi Nedeniyle Tuzlanma 150
11.1.2 Tuz Yıkanmasının Zayıf Olduğu Koşullarda Tuzlanma 150
11.2. Sulama Nedeniyle Tuzlanma 150
11.2.1 Sulanan Arazilerde Tuz Dengesi 151
11.2.2 Yıkama Gereksinimi Hesaplamaları 152
11.2.3 Az Çözülebilir Tuzların Toprak Tuz Dengesi Üzerine Etkisi 154
11.2.4 Tuz Dengesi ve Yıkama Oranlarının Belirlenmesi 156
11.3 Bölgesel Tuz Dengesi 157
11.4 Yeraltı Suyundan Tuzlanma 158
11.5 Sulama Uygulamaları Ve Sulama Suyu Tuzluluğu 160
11.6 Drenaj Yönetimi 161
11.7 Kılcal Yükselmeyle Tuzlanmayı Etkileyen Faktörler 161
11.7.1 Buharlaşma 161
11.7.2 Bitki Örtüsünün Etkisi 162
11.7.3 Taban Suyu Beslenmesinin Etkisi 162
11.7.4 Taban Suyunun Derine Sızma İle Beslenmesi 162
11.7.5 Sızma İle Beslenme 163
11.8 Sodyumlulaşma (Alkalileşme) 165
12 SULANAN ARAZİLERİN DRENAJI 167
12.1 Drenaj Uygulamaları ve Tasarımlama Ölçütleri 169
12.2 Drenaj Yönetimi 169
12.2.1 En İyi Yönetim Uygulamaları 170
12.3 Drenaj Suyunun Tuzluluğu 170
12.4 Drenaj Suyunun Kalitesi 171

12.5 Drenajın Etkinliği Ve Denetimli Drenaj Sistemleri 171
12.6 Boru Drenaj Sistemi 173
12.7 Dren Derinliği 174
12.8 Dren Aralık Belirleme Ölçütleri 175
12.8.1 Su Tablası Derinliği; (H) 175
12.8.2 Dren Verdisi (Tasarım Boşalımı) Qt 176
12.9 Drenaj Sisteminin Tasarımlanmasında Modellerin Kullanılması 182
13 KUYU DRENAJ 184
13.1 Drenajda Pompaj 184
13.2 Boşaltıcı Kuyular 185
13.3 Temel Eşitlikler 188
13.3.1 Üçgen Desen 188
13.3.2 Serbest-Açık Aküfer 189
13.3.3 Dikdörtgen Desen 190
13.4 Yer Altı Suyu Kalitesi 191
13.5 Ağır Killi Toprakların Drenajı 192
13.6 Ters Kuyular 192
13.7 Organik Toprakların Drenajı 193
13.7.1 Drenaj Ve Toprak, Çökmesi 193
13.7.2 Çökmenin Boyutlarının Belirlenmesi Ve Arazi Islahı 193
13.7.3 Çökmenin Drenajla İlişkisi 194
13.7.4 Drenaj Ve İnşaatlar 195
13.7.5 Çökmenin Hesaplanması 196
13.8 Mol (Köstebek) Drenaj 198
13.8.1 Mol Drenajının Uygulanma Koşulları 199
13.8.2 Mol Drenlerin Planlama Esasları 202
13.8.3 Mol Drenaj Sistemlerinin Projelenmesi Ve İnşası 202
13.8.4 Tamamlayıcı Önlemler 204
13.8.4.1 Toprakaltı Çatlatılması 205
13.8.4.2 Mol Drenaj Araştırmaları 206
14 DRENAJ YAPILARI VE MALZEMELERİ 207
14.1 Drenaj Yapıları 207
14.1.1 Bağlantı Kutuları 208
14.1.2 Silt Bacaları 209
14.1.3 Eğim Kırıcı Bacalar 210
14.1.4 Tabansuyu Düzeyi Denetleme Yapıları 211
14.1.5 Çıkış Yapıları 211
14.2 Boru Bağlantıları 213
14.3 Drenaj Denetim Elemanları Veya Yapıları 214

14.4 Pompa Birimi 215
14.5 Drenaj Makinaları 218
14.5.1 Yüzey Drenaj Sistemi Veya Açık Kanallarda Kullanılan Makinalar 219
14.5.2 Borulu Drenaj Sisteminin İnşasında Kullanılan Makineler 219
14.6 Drenaj Sistemlerinin İşletme Ve Bakımı 221
15 DRENAJ SİSTEMLERİNİN İZLENMESİ BAKIMI 222
15.1 Dren Borularında Tıkanma Sorunları 222
15.2 Demir Çökelmesi 223
16 DREN ZARFLARI 226
16.1 Giriş 226
16.2 Dren Zarfının İşlevleri 227
16.3 Zarflar İçin Gereklilik 228
16.3.1 Dren Çevresindeki Toprakta Oluşan Olaylar 229
16.3.2 Toprak Stabilitesini Etkileyen Faktörler 230
16.3.3 Toprağın Suya Dayanıklılığı (Stabilite) 233
16.4 Zarf Gereksinimi Belirleme Yöntemleri 235
16.4.1 Kil Ve SAR Yöntemi 235
16.4.2 Kil Yöntemi 235
16.4.3 Pı Yöntemi 235
16.4.4 Cu Yöntemi 235
16.4.5 Hfg Yöntemi 235
16.5 Zarf Materyali Seçimi 237
16.6 Zarf Tasarımı 239
16.6.1 Granüle Zarf Materyallerin Tasarımlanması 239
16.6.2 Diğer Ölçütler 241
16.6.3 Organik Ve Sentetik Zarflar İçin Ölçütler 246
16.7 Gösterge Deneyler 247
16.7.1 Uzun Dönem Akış Sınaması (LTF) 248
16.7.2 Gradient Oranı Sınaması (GR) 248
16.7.3 Hidrolik İletkenlik Oranı Testi (HCR) 248
16.8 Zarf Döşenmesi 249
16.9 Zarf Bakımı 250
16.10 Tarla Testleri 250
17 DRENAJ ARAŞTIRMALARI 252
17.1 Drenajda Sınama İlkeleri 253
17.1.1 Tarla Ölçümleri 254
17.1.2 Dren Verdileri 255
17.1.3 Hidrolik Yükseklik ve Su Tablası 255
17.2 Dren Borusu Çevresinde Akış Koşulları 255

17.3 Giriş Dirençlerinin Belirlenmesi 256

17.3.1. Basit Yöntem 257

17.4 Dren Borularında Basınç Ölçülmesi 257

17.4.1 Tarla Denemeleri İle Bazı Parametrelerin Belirlenmesi 258

17.4.2 Drene Edilebilir Gözenek Hacminin Tarla Denemeleri İle Belirlenmesi 259

17.4.3 Drene Olan Su Ve Toprak Hacimleri 262

17.5 Kararlı Akış Eşitlikleri İle Değerlendirme 265

KAYNAKLAR 268

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir tarım, çok sayıda etkenin birlikte veya teksel olarak, dengeli biçimde uygulanmasını gerektiren ileri düzeyde bir tarımsal uygulamadır. Bunun tam olarak gerçekleştirilmesi, bitki kök bölgesinde uygun su ve tuz dengesinin yaratılmasına bağlıdır. Tuzlu taban suyunun doğrudan veya kılcal yükselişle kök bölgesine ulaşması ve orada belli bir süre kalması, bitki gelişimini olumsuz biçimde etkilediği gibi, tuzlu ve sodyumlu toprakların oluşmasına neden olarak çevre sorunu yaratır. Belirtilen olumsuz koşulların ortaya çıkmaması için, taban suyunun kök bölgesinin dışında ve belli bir derinlikte tutulması gereklidir. Değinilen derinlik uygun şekilde planlanmış ve inşa edilmiş bir drenaj sistemi ile olanaklıdır.

Dünyada yeterli ve güvenilir drenaj istatistikleri olmamasına karşın, yine de, FAO tarafından son yıllarda yapılan değerlendirmeler drenaj sistemi inşa edilmiş alanlar hakkında önemli bilgiler vermektedir. Bu çalışmalara göre, dünyada 3200 milyon hektar arazinin potansiyel olarak tarıma uygun olduğu, ancak bunun 1450 milyon hektarında halen tarım yapıldığı, kalan 1750 milyon hektar arazinin büyük bir bölümünün tarıma çok az uygun olduğu ve çevresel olarak duyarlı topraklar olduğu belirtilmektedir. Dünyada 1200 milyon hektarda kuru tarım, 250 milyon hektarda (%17) ise sulu tarım yapılmaktadır. Drenajı yapılan alanların toplamının 150-200 milyon hektar (%10-14) olduğu tahmin edilmektedir. Bunların 100-150 milyon hektarı yağışlı bölgelerde, 25-50 milyon hektarı ise sulanan alanlardadır (FAO, 1994).

1.1 Drenajın Tanımı

Drenaj fazla herhangi bir sıvının bulunduğu ortamdan boşaltılması ve uzaklaştırılmasıdır. Kurutma sözcüğü de drenaj yerine kullanılır. Ancak tarım

alanları söz konusu olduğunda sıvının yerini su, kurutmanın yerini drenaj alır. Çünkü drenajın amacı toprağın tamamıyla kurutulması olmayıp, bitkilerin optimum gelişmesi için uygun bir ortamın sağlanmasıdır.

Genel anlamıyla drenaj, tarımsal ve endüstriyel alanlar ile, spor ve eğlence alanlarından, cadde, sokak ve yollardan fazla suyun zarar vermeden uzaklaştırılmasıdır. Tarımsal drenaj ise tarımsal alanlardan fazla suyun ürün azalmalarına, toprakta olumsuz etkilere neden olmadan ve çevreye zarar vermeden uygun tekniklerle uzaklaştırılması olarak tanımlanır.

Topraktaki fazla suyun uzaklaştırılması tarımsal drenajı tanımlasa da, bunu tam anlamıyla karşılamaz. Onun için, sürdürülebilir bir tarım anlayışı ile toprakların tuzlanmasını önlemenin yanında, yetiştirilen bitkilerin su stresi çekmeyeceği uygun toprak-su ve tuz dengesini oluşturacak mühendislik yapıları ve kültürel önlemlerin tümüne tarımsal drenaj denir.

Genel olarak drenajdan beklenenler aşağıdaki gibi sayılabilir.

A) Yüksek taban suyuna sahip alanlarda taban suyu düzeyini ve yer altı suyu akışını düzenlemek,

-Islak alanlara su akışını kesmek veya önlemek,

-Artezyenik basınçların etkisini düzenlemek,

-Yüzey sularını uzaklaştırmak,

-Sulanan alanlarda veya fazla suların atıldığı alanlarda, su tablası düzeyini denetleyerek, toprağı ve çevresini geliştirmek, bitki kök gelişimini ve bitkisel büyüme ile ekim dikim ve hasatta arazi üzerinde trafiği sağlamak ve su kalitesini artırmak.

B) İnşaat çevrelerinden, yollardan, oyun alanlarından ve diğer fiziksel geliştirme alanlarından fazla suyu uzaklaştırmak.

C) Suyu düzenleyerek ve denetleyerek sağlığa yönelik tehlikeleri önlemek, pestisitlerin atıldığı ve sivrisineklerin geliştiği alanları denetim altında tutarak sağlık sorunlarının ortaya çıkmasını önlemek.

Fazla su, hem toprak yüzeyinde hem de yüzey altında olabilir. Arazi yüzeylerinin düzgün olmaması, engebeler veya tesviye yetersizliği, suyun yüzeyde birikmesine neden olur. Yerçekim kuvvetiyle derine süzülemeyen su kütlesi, toprak

içerisinde değişik yönlerde hareket eder. Bu sular genellikle düz arazilerin en çukur kesimlerinde birikerek su düzeyinin yükselmesine neden olurlar.

Sulama ve yağışlar sonucunda toprağa süzülen sular geçirimsiz bir kat üzerinde birikip, toprak gözeneklerini doldurarak toprak yüzeyine kadar yükselebilir. Taban suyu, yeraltı suyu veya su tablası gibi isimler verilen bu su kütlesinin üst sınırı taban suyu düzeyini gösterir.

Fazla su toprağın gözeneklerini tamamen doldurur. Böylece toprağın hava ve su dengesi bozulur. Havasız koşullar uzun süre devam ederse, toprak yapısında bir takım olumsuzluklar ortaya çıkar ve bitki gelişmesi olumsuz yönde etkilenir.

Yüksek taban suyu bitki kök bölgesine girip uzun süre kalırsa, toprak ve bitki üzerinde bir takım olumsuz etkiler yaratır. Bu yüzden kök bölgesindeki fazla suyun uygun bir sürede ve uygun bir şekilde uzaklaştırılması veya drene edilmesi, gerekir. Uygun süre, fazla su nedeniyle toprakta ve tarımsal üretimde olumsuzlukların başlamasına neden olandan daha kısa bir süre, uygun bir şekilde uzaklaştırılması ise bu amaçla yapılacak drenaj sistemini tanımlar.

Genel anlamda drenaj sorunu olan alanlar, doğal drenajın yetersiz olduğu kıyı ovaları, ırmak vadileri, yağışların evapotranspirasyondan fazla olduğu iç ovalar ve zayıf su yönetimi nedeniyle suya boğulma ve ikincil tuzlanmanın olduğu kurak alanlardır.

Bu alanlarda kurulacak yapay drenaj oldukça uygun ve ucuz bir yöntem olup, bu sistemlerin kurulmasıyla ulaşılması düşünülen genel amaçlar ve beklenen etkiler aşağıda sıralanmıştır.

Tarımsal su yönetiminin bir parçası olarak bitki verimini artırmak ve toprağın verimliliğini sürdürmektir. Tarımsal drenajın bu amacı

-Yüzey ve yüzey altındaki fazla suyu uzaklaştırmak,

-Çözünebilir tuzları fazla su ile birlikte toprak profilinden uzaklaştırmak

-Yer altı suyunu arzu edilen düzeyde tutmak

Su tablasının yüksek olduğu tuzlu alanlarda;

-Su tablasını ve toprak tuzluluğunu istenen düzeyde tutmak,

-Su altında kalan ve tuzlanan alanlarda verimliliği sürdürmek.

Özel koşullar altında drenaj sistemleri aşağıdaki koşulları yaratır.

-Çiftlik işleri için makinelerin tarlaya girişi kolaylaşır ve çalışılabilir gün sayısı uzar.

-Her yıl yetiştirilen bitki çeşidi daha fazla olur.

-Daha çok sayıda bitki yetiştirilir.

-Daha yüksek değerli bitkiler yetiştirilir.

Drenaj sistemlerinin ikincil yararları;

-Yer altı su düzeylerini düşürerek yerleşim bölgelerinde yaşayanlara daha sağlıklı ve temiz su sağlanır.

-Durgun sular uzaklaştırılarak bir çok hastalığın nedeni olan sivrisinek ve haşerelerin yaşam ortamı ortadan kaldırılır.

-Yüzey suyu ve yüksek yeraltı suları uzaklaştırılarak alana giriş kolaylaşır, tarımsal işerin süresi artar.

-Çevresel koşullar gelişir, daha düşük yer altı su tablası ve azalan tuzluluk çevre koşullarının bozulmasını önler.

1.1.1 Drenajın tarihi ve mevcut durum

Drenaj 9000 yıl önce başladığında Mezopotamya'da henüz boru yoktu. Drenaj hendeklerine (Van Schilfgarde,1979) taş, çalı gibi geçirgen malzemeler konularak drenaj yapılmıştır. En eski dren borusu yaklaşık 4 000 yıl önce Aşağı İndus ırmağı vadisinde bulunmuştur (Ami, 1987). Arkeolojik bulgular Fırat ve Dicle nehirleri tarafından sulanan ovalarda zamanla toprakların tuzlandığını ve drenaj kanallarının açıldığını göstermiştir. Bu bölgelerde buğday yetiştirilirken, daha sonra tuza daha dayanıklı olan arpanın yetiştirilmeye başlanması, toprakların tuzlandığını göstermektedir. Dicle ve Fırat nehirlerinin suladığı Mezopotamya vadisinde ve Mısır da Nil nehri boyunca görülen ilk medeniyetler sulu tarımla birlikte ortaya çıkmıştır. Bu vadilerin verimli üst toprak katlarında fazla miktarda tuzların birikmesi nedeni ile geniş alanlar çöl haline gelmişlerdir. Bugün bu yerler de görülen terkedilmiş sulama sistemleri ve tuzlu sahalar drenaj eksikliğinin kanıtı olarak durmaktadırlar Benzer şekilde Nil deltasında da drenaj kanallarına rastlanmıştır. Hindistan da ve Çin de tarihin eski devirlerinde drenaj sistemlerinin kurulduğuna ilişkin çalışmalar olduğu bilinmektedir.

Hollanda da ise drenaj sistemlerinin kullanımının tekrar 1544 yılında yeniden ortaya çıkmasıyla, Hollandalı mühendisler drenciler ve dykçılar olarak anıldılar. Drenajın dünyadaki gelişme aşamalarına bakıldığında ise ilk kil künklerin 1835'te ABD'de döşenmesi, püskürük taşlardan ilk boruların 1840'ta İngiltere'de yapılması, ilk düz plastik boruların 1959'da Hollanda da kullanılması, kum ve çimentodan yapılan ilk dren borusunun 1862'de ABD'de yapılması, ilk trençher (hendek kazıcı) makinası 1880'de ABD'de kullanılması, 20. yüzyıla kadar drenaj alanındaki başlıca aşamalar olarak sayılabilir. İlk esnek boruların 1963'te Almanya'da kullanılması, ilk takviyeli boruların 1965'te ABD'de yapılması, ilk dren pulluğunun 1969'da ABD'de kullanılması ve ilk standart PE drenaj borusunun 1974'de drenaj sistemlerinde kullanılması 20. yüz yıldaki drenajda belirli aşamalar olarak sayılabilir (Stuyt ve ark., 2000).

Drenaj konusunun kuramsal temelleri bilimsel çalışmaların artmasına paralel olarak 19. yüz yılda atılmıştır. Sanayi devrimi ile birlikte artan makine gücü drenajda da kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçta açılan drenaj kanallarına kil künk ve kum çakıl malzemeleri döşenirken, 1960'lı yıllarda plastik sanayinin gelişmesiyle drenajda delikli plastik borular kullanılmaya başlanmıştır.

1.2 Fazla Suyun Etkileri

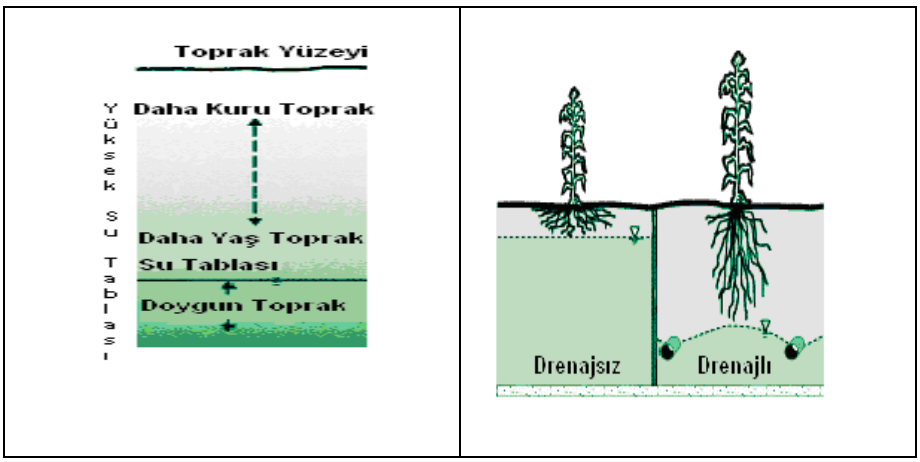
Yüksek taban suyu tarımsal alanlarda birçok doğrudan ve dolaylı olumsuz etkinin kaynağını oluşturur. Drenaj sistemleri öncelikle yağışlı bölgelerde fazla suyun uzaklaştırılmasına yönelik olarak kurulurken, sulanan alanların artması ve ikincil tuzlanmalar nedeniyle sulu tarım alanlarında da drenaj gerekliliği kaçınılmaz olmuştur.

1.2.1 Doğrudan etkiler

Arazi üzerinde araç trafiğinin veya tarımsal işlemlerin engellenmesi, toprakların geç tava gelmesi, toprak işlemesi ve tarımsal çalışmaların güçleşmesi, ekim zamanının gecikmesi, bitki kök bölgesinin, taban suyu düzeyinin yüksekliğine bağlı olarak sınırlanması ve su içinde kalan bitki köklerinin havasızlık nedeniyle

zarar görmesi olarak sayılabilir. Anılan bu etkiler nedeniyle üründe azalmalar görülür.

Şekil 1.1'de yüksek tabansuyu koşullarında drenajlı ve drenajsız bir toprakta nem profili ile bitki kök gelişmesi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 1.1 Toprakta taban suyu ve drenajın etkisinin şematik görünümü

Toprak nem durumu taban suyunun konumuna bağlı olarak değişirken, drenajsız toprakta yüksek taban suyu düzeyinden ileri gelen küçük bir kök bölgesi nedeniyle bitkilerde zayıf gelişme görülürken, drenajlı olan toprakta ise gelişmiş bir kök sistemine bağlı iyi gelişmiş bitki gözlenmektedir.

1.2.2 Dolaylı etkiler

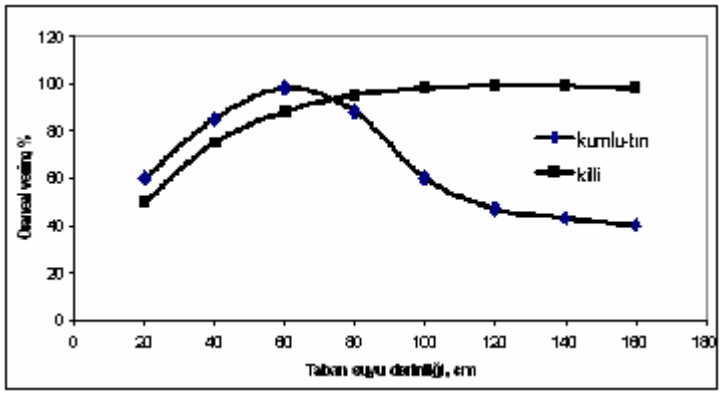
Yüksek su tablasının toprakta yarattığı fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkilerin sonucunda ortaya çıkarlar. Taban suyunda çözünmüş tuzlar, kılcal yükselme ile bitki kök bölgesine, bazen toprak yüzeyine kadar yükselebilirler.

Suyun buharlaşması ve bitkiler tarafından alınması sonucu taban suyunun tuz derişimi artar. Böylece, tuzlar toprakta birikerek, bitkilere zarar verecek düzeylere çıkabilir. Anılan olaylar yazları kurak ve sıcak geçen ve düz arazilerin olduğu bölgelerde daha yaygın olarak görülür.

Diğer taraftan taban suyu düzeyinin fazla derinlere düşürülmesi bitki su gereksinmelerini artırabilir. Özellikle kılcal yükselmenin düşük olduğu kaba bünyeli topraklarda, yaz döneminde su sıkıntısı ve buna bağlı olarak bazı yerlerde su yetersizliğinden ileri gelen ürün azalmaları görülebilir.

Şekil 1.2'de görüldüğü gibi, killi ve kumlu topraklarda taban suyu derinliğinin ürün verimi üzerine etkisi farklılık göstermektedir.

Başlangıçta her iki toprakta yüksek taban suyu, verimde azalmaya, derin su tablası ise artışa neden olmaktadır. Ancak, killi toprakta taban suyu düzeyi 100-120 cm derinliğe düşünceye kadar verimin artmasına, kumlu toprakta taban suyu düzeyinin 60-70 cm'den daha derine düşmesi, üründe önemli düzeyde azalmalara neden olmaktadır. Yine killi topraklarda, taban suyu düzeyinin daha derinlere düşmesi verimde azalmaya neden olmazken, kumlu topraklarda önemli oranlarda ürün azalmaları olmaktadır.



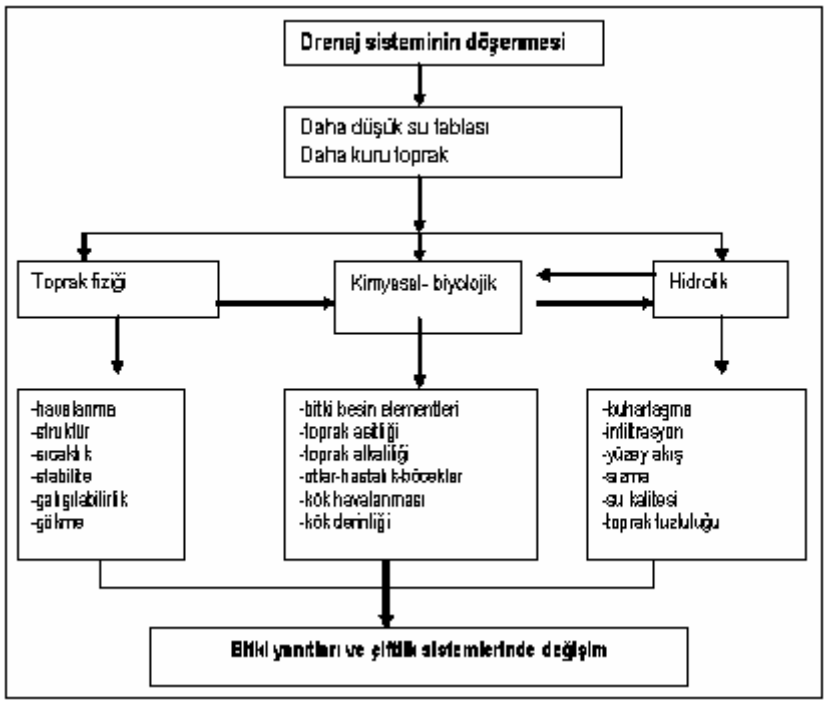
Şekil 1.4 Değişik bünyeli topraklarda taban suyu derinliği ile verim arasında ilişkiler (Smedema ve Rycroft, 1983)

Sınırları toprak yapısı ve bitki çeşidine göre değişmekle beraber, su düzeyinin hızlı ve derinlere düşmesi de, yavaş düşmesi de üründe azalmaya neden olur. Su tablasının derin olması halinde, üründeki azalmanın nedeni su eksikliğidir. Bunu önlemek için, özellikle kurak bölgelerde, uygun drenaj sistemleri inşa etmek veya sulama kanallarının kapasitelerini artırmak gerekebilir.

1.3 Drenajın Genel Amaçları

Drenajın genel amacı; tarımsal üretimin yapıldığı alanlarda fazla sudan kaynaklanan ürün azalmalarının önlenmesi ve sonuçta iyi bir ürün alınmasının sağlanmasıdır. İyi bir ürün alınmasını gerçekleştirmek için toprakta uygun su-hava ve

tuz dengesinin oluşturulması gerekir. Onun için drenaj sistemi kurulan topraklarda Şekil 1.5'te gösterilen gelişmeler ve değişmeler beklenir.



Şekil 1.5 Drenajın genel amaçları (Ritzema, 1994)

Şekilde görüldüğü gibi drenaj sisteminin kurulmasıyla daha düşük su tablası ve daha kuru bir toprak katı elde edilir. Bu durum toprakta fiziksel, kimyasal, biyolojik ve hidrolojik etkiler yaratır. Şekilde sayılan bu etkiler birbirine bağlı olarak değişirler. Örneğin strüktürün düzelmesi infiltrasyonu arttırır. İnfiltrasyon artınca yüzey akış azalır. Bu konular ve yukarıda belirtilen olaylar ve birbiri üzerine etkileri ilerdeki bölümlerde yeri geldiğinde açıklanmıştır.

1.3.1 Drenajın toprak üzerine etkileri

Bunlar dolaylı ve doğrudan etkiler olarak, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerde olabilirler. Ayrıca etkilerin ortaya çıkış süreleri ve gözlenebilir hale gelmesi, bu olayların birbirini etkileme düzeylerine göre değişirler. Bu bölümde genel bir değerlendirme yapılmıştır.

1.3.1.1 Bitki kök bölgesinde havalanmanın gelişmesi

Topraklar hacimsel olarak %50 katı (mineral madde), %25 sıvı (su) ve %25 hava (boşluk) fazından oluşur. Bu durum toprakların yapılarına, çeşitlerine göre biraz değişiklik gösterse de, genel olarak bu oranlarda fazla bir sapma olmaz. Toprağı oluşturan bu üç ana elemandan, katı maddede fazla bir değişme beklenmez. Ancak hava ve su arasındaki denge, birinin artmasıyla diğeri azalacağından bozulabilir. Bazen aşırı trafik nedeniyle toprakların sıkışması sonunda hava oranında azalma olsa da, bu durum çok geniş alanları kapsamaz. Halbuki faklı bölgelerde iklim koşulları nedeniyle ve mevsimlere de bağlı olarak toprakların hava ve su içerikleri çok fazla değişebilir.

Yağışlı bölgelerde ve sulanan alanlarda fazla su toprak gözeneklerinin tamamını doldurarak kök bölgesinde havasız bir ortam yaratır. Havasız ortamda genellikle oksijen yetersizliği nedeniyle, bitki kökleri ya yavaş gelişirler veya ölürler. Bunun aksine çeltik suya doygun topraklarda ve su altında yetişir. Genel olarak bitki kökleri toprak içerisindeki gazlardan oksijen (O_2) alırlar, karbondioksit (CO_2) verirler. Kök bölgesinde suya doygunluk uzun bir süre devam ederse havalanma olmaz ve köklerde solunum sınırlanarak, karbondioksit birikimi toksik düzeylere çıkabilir. Bitkiler sudaki çözünmüş oksijeni soğuk hava koşullarında sıcak koşullardan daha fazla alabilirler, ancak, bu çok sınırlıdır.

Kök bölgesinin su ile doygun olduğu koşulların belli bir süreden fazla devam ettiği bölgelerde, havasızlığın toprak üzerine olumsuz etkisi sonucunda önemli düzeylerde ürün kayıpları olabilir.

1.3.1.2 Yağışlardan sonra toprağın erken işlenebilir duruma gelmesi

Ağır bünyeli topraklardan oluşan düz arazilerde, yağışlardan sonra toprakların işlenebilir duruma gelmesi gecikir. Drenaj sorunu olan bölgelerde bu gecikmeler nedeniyle, ekim gecikir ve dolayısıyla yetişme dönemi kısalır. Ayrıca, toprakların su altında kalması yetiştirilen bitkilerin de su altında kalmasına neden olur. Bu durum bitkilerde havasızlık nedeniyle zarar oluşturarak, bu alanlarda ürün azalmaları ortaya çıkar.

Arazi yüzeyleri düzeltilmemiş, çukurlukların olduğu ağır bünyeli, geçirgenliği düşük topraklarda, yağışlardan sonra yüzeyde göllenmeler olur. Ekili alanlar ve

bitkiler su altında kalırlar. Bu yüzden şiddetli yağışların sıkça olduğu yerlerde, uygun drenaj sisteminin olmadığı alanlarda zarar düzeyi artar.

1.3.1.3 İlkbaharda toprağın erken ısınmasının sağlanması

Drenaj sorunu olan bölgelerde ilkbaharda yüksek taban suyu nedeniyle ıslak topraklar daha geç ısınırlar. Bunun nedeni suyun özgül ısısının yüksek (1.0 cal g^{-1}), toprağın ise daha düşük (0.2 cal g^{-1}) olmasıdır. Diğer taraftan su buharlaşırken toprak üzerinde soğutucu bir etki yaratır. Onun için drenaj sorunu içeren topraklar, içermeyenlere göre 1-7 ^{0}C daha soğuk olabilirler.

Düşük toprak sıcaklığı bitki gelişimini olumsuz etkiler. Olumsuzluk, tohumların geç çimlenmesi ve çimlenmiş olanların ise yavaş gelişmesi olarak ortaya çıkar. Özellikle çimlenme döneminde toprak sıcaklığındaki küçük değişmeler çimlenme oranlarını önemli düzeyde etkiler.

1.3.1.4 Toprak yapısının bozulmasının önlenmesi

Su ile doygun topraklar havasız koşulları içerdiğinden bu topraklarda organik maddenin ayrışma hızı yavaştır. Yavaş ayrışan topraklarda azotun mineralizasyonu da yavaş olduğundan, drenaj sorunu olan topraklarda azot eksikliği görülür. Ayrıca havasız koşullarda ayrışan organik madde, metan ve metil bileşikleri ile karmaşık aldehitlerin oluşmasına yol açar. Suya doygun topraklarda demir ve sülfit iyonlarının derişimi artarak bitkileri zehirleyecek düzeylere ulaşabilir.

1.3.1.5 Toprakta biyolojik, mikrobiyolojik ve biyokimyasal faaliyetlerin teşvik edilmesi (özellikle azotun bitkilere yarayışlı hale getirilmesi)

Toprakların su içerikleri ile toprak içerisindeki biyolojik olaylar çok yakından ilişkilidir. Bitkilerin fazla suya dayanım yetenekleri birbirinden farklıdır. Bir bölgede yetişen bitki çeşitleri ile diğer bir bölgede yetişenleri sınırlayan en önemli etken nem koşullarıdır. Bazı bitkiler su içinde yetişebildikleri halde, bazıları yetişemezler.

Su ve hava dengesi iyi kurulmuş topraklarda bitki gelişmesi en yüksek düzeye ulaşır. Böyle topraklarda organik maddenin ayrışma hızı yüksek olduğundan, bitki besin elementleri organik formdan inorganik forma daha hızlı dönüşerek, bitkilerin

daha iyi beslenmesini sağlarlar. Çünkü iyi havalanmış topraklarda mikroorganizma faaliyetleri havasız topraklardan çok daha fazladır.

1.3.1.6 Toprakta uygun bir tuz dengesinin sağlanması

Toprakta tuz dengesinin sağlanması drenajın en önemli amaçlarından biridir. Bütün topraklar ve bütün sular mineral tuzlar içerirler. Suda çözünen bu maddelerin derişimleri belli düzeylerde arttığında bitkilerin gelişmelerini olumsuz etkilerler. Anılan tuzların bitki gelişmesi üzerine etkileri aşağıda sıralanmıştır.

i) Fizyolojik kuraklık; Toprak suyunda çözünen tuzlar, kök bölgesindeki toprak suyunun ozmotik potansiyelini artırır. Toprakta su olmasına karşın, bitki su alamaz ve su stresi çeker. Bitkilerin bu şekilde etkilenme düzeyleri bitkiden bitkiye değişir. Bu olaya fizyolojik kuraklık denir.

ii) Zehir etkisi; topraktaki bazı tuzlar (klor, sodyum ve bor) düşük derişimler de bile zehir etkisi yaparlar. Söz konusu bu tuzlardan klor ve bor toprak yapısında herhangi değişiklik yaratmaz. Bitkilerde yaptığı zararla ortaya çıkar.

iii) Dengesiz beslenme, fazla tuz bitkilerin topraktan besin elementlerini dengeli bir biçimde alınmasını önler. Böylece beslenme bozukluğu ve bunun sonucunda verim azalmaları ortaya çıkar.

iv) Toprakta sodyum derişiminin artması, bu durum toprakların sodyumlu bir hale gelmesine, bunun sonucunda kil taneciklerinin dağılarak toprak yapısının bozulmasına ve toprağın su iletim hızının azalmasına neden olur. Böyle topraklarda su ve hava hareketi çok yavaş olup, bu toprakların tava gelmeleri ve işlenmeleri neredeyse olanaksız hale gelir. Yüksek sodyum nedeniyle dağılmış hale gelen bu topraklar ıslakken balçık halinde, kuruduklarında sert kesekler oluştururlar.

Bu sayılanların sonucunda bitkilerde aşağıda belirtilen arazlar görülür.

-Yavaş ve yetersiz çimlenme,

-Fizyolojik kuraklık, solma, kuruma,

-Bodurluk, küçük yapraklar, kısa gövde ve dallar,

-Yaprak rengi mavimsi yeşil bir hal alması,

-Geç çiçeklenme, az çiçek açma, kısırlık, küçük tohum,

-Tuza dayanıklı bitkilerin gelişmesi,

1.3.1.7 Taban suyu düzeyinin denetlenmesi

Su tablasının derinliği, üst toprağın nem koşullarını belirlediğinden, hem çiftlik işlerini ve hem de bitki gelişmesini etkiler. Taban suyu derinliğinin bitki gelişmesi ve verimi üzerine etkileri toprağın yapısına, taban suyunun niteliğine, bitki çeşidine ve bitkinin gelişme dönemine göre değişir.

Su tablasının kök bölgesinde kalma süresi ve zamanı önemlidir. Çünkü bitkilerin fazla suya dayanımları yetişme dönemlerine göre farklılık gösterir. Diğer taraftan yüksek taban suyu olan alanlarda toprağın geç tava gelmesi, arazide çiftlik makinalarının çalışmalarını zorlaştırır, çiftlikte çalışılabilir gün sayısını azaltır ve çiftlik işlerini daha pahalı bir hale getirir.

Bu konuda yapılan araştırma çalışmalarından elde edilen verilere göre, genel olarak taban suyu derinliğinin hafif bünyeli topraklarda 50-100 cm, ağır bünyeli killi ve siltli killi topraklarda 150–200 cm olmasının uygun olduğu önerilmektedir (Smedema ve Rycroft, 1983) (Ritzema, 1994).

1.3.1.8 Çiftlik işlerinin yapılması

Topraktaki fazla su toprak üzerinde çalışılabilirliği zorlaştırmaktadır. Zayıf drenajlı alanlarda çok az çalışılabilir gün olması nedeniyle, tohum yatağı hazırlanması, ekim, dikim, yabancı otlarla savaşım, ilaçlama, çaplama ve hasat işleri önemli düzeyde gecikir. Diğer taraftan uygun olmayan nem koşullarında yapılan çiftlik işleri toprakta sıkışmaya, su birikintilerine, çamur bulaşmalarına ve toprak yapısının önemli düzeyde bozulmasına neden olur. Bu durumun gelecekteki verimliliği etkilemesi yanında, zayıf yapılı topraklarda infiltrasyonu ve dolayısıyla derine süzülmeyi engelleyerek, toprak yüzeyinde yağış sularının birikmesine ve çalışılabilir gün sayısının azalmasına neden olur.

1.3.1.9 Erozyonun önlenmesi

Eğimli arazilerde, şiddetli yağışlar ve aşırı sulamalardan ileri gelen fazla sular yüzey akışa geçerler. Yüzey akışlar hem toprakların aşınmasına neden olurlar, hem de taşıdıkları toprakları düz alanlara bırakarak verimli tarım alanlarına zarar verirler. Bu bakımdan anılan bölgelerde akışların ve erozyonun kontrolüne yönelik çalışmalar için kuşaklama kanalı ve kontrol yapılarının yapılması gerekli olmaktadır.

Böylece yağışların teraslarda tutulması, yüzey akışa geçen kısmının azalması ve toprağa süzülen kısmının artması sağlanır. Teraslanan bölgede depolanan su miktarı artınca vejetatif gelişme artarak toprak üzerinde örtü oluşturur. Bitki örtüsü toprakların yerinde tutulmasını, aynı zamanda bitkisel üretimin ve dolayısıyla toprakta organik maddenin artmasını sağlar. Artan organik madde toprağın yapısını güçlendirerek erozyona duyarlılığını azaltır veya dayanımını artırır. Bu durum tarımda sürdürülebilirlik bakımından en önemli unsurlardan biridir.

2. DRENAJ ETÜTLERİ

2.1 Giriş

Bir drenaj sisteminin tasarımlanması için gereken verileri derleme çalışmaları drenaj etütleri diye tanımlanır. Veri derleme çalışmaları, kaynakların en iyi biçimde değerlendirilebilmesi için sistemli olarak yürütülmelidir. Yetersiz, tutarsız ve yanlış veriler, hazırlanacak olan projenin teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilirliğini tehlikeye atabileceği gibi, gereğinden fazla verinin veya gereksiz girdilerin derlenmesi de, kaynakların israf edilmesine neden olur.

Yağışlı bölgelerdeki arazi geliştirme ve iyileştirme çalışmalarında drenaj önemli bir yer tutar. Kurak ve yarı-kurak bölgelerde ise, arazi geliştirme projelerinde temel amaç sulama suyu sağlanmasıdır. Böyle bir projenin en önemli tamamlayıcı kısmını ise drenaj oluşturur.

Drenaj sorunlarının doğmasına neden olan etkenlerin farklılığı ve bitki istemlerinin değişiklik göstermesinden ötürü, birbirinden çok farklı drenaj sorunlarıyla karşılaşılmaktadır. Topografya, toprak ve fazla suyun kaynağı ve niteliği, diğer bir alandakinden büyük ölçüde farklı olabileceği gibi, bunların ortaklaşa etkileri de farklılıklar gösterir. Söz konusu alandaki drenaj sorunlarının giderilmesini sağlayacak sistemin tasarımlanması, ancak bu faktörlerin tam ve doğru bir biçimde incelenip değerlendirilmesiyle başarılabilir.

Bazı alanlarda, özellikle küçük alanlarda tasarımlamaların söz konusu olduğu durumlarda sorunun kaynağı çok açık olabilir. Bu gibi durumlarda çözüm için izlenecek yol da kolayca belirlenebilir. Bununla birlikte, büyük alanlarda üzerinde çalışılan fiziksel ortamın değişkenliği ve drenaj sorunlarının nedenlerinin farklılığı, çok daha geniş çaplı ve ayrıntılı veri derleme çalışmalarının yapılmasını gerekli kılar (Gemalmaz, 1992).

2.2 Ana İlkeler ve Uygulamalar

Drenaj sorunun çözümü için öncelikle bir planlama yapılmalıdır. Böyle bir planlama bazı ölçümler ve işler gerektirir. Bazen sorunu çözmek için arazi kullanımını veya çiftlik uygulamalarını değiştirmek en uygun çözüm olabilir. Örneğin bir bölgede suya daha az duyarlı bitkiler yetiştirilerek sorun çözülebilir. Ancak drenaj sistemi yeni yapılan tasarımlama ve inşaatlardan oluşur. Yapılacak bu işlerin ve inşaatların detaylandırılması, mühendisliğin alanına girer ve yaygın olarak tasarım/proje olarak bilinir.

Drenaj sistemlerinin tasarımlaması ve uygulaması için tarla araştırmaları yapılarak gerekli bilgilerin toplanması gerekir. Toplanan bilgiler ışığında,

-Sorunun tanımı ve olası çözümlerin tasarımı yapılır.

-Tasarı ve tasarımlamalar hazırlanır.

2.2.1 Sorunun tanımı

Bir drenaj projesi hazırlamak için çok büyük miktarda ve kapsamlı bilgiler gereklidir. Bu bilgileri toplamak üzere arazi çalışmaları, tarla araştırmaları ve özellikle aşağıdaki konularda bilgi gerekebilir.

2.2.1.1 Sorunun doğası ve nedeni

Derine süzülme, yüksek su tablası, fazla suyun kaynağı, drenaj çıkış ağzının konumu ve yeterliliği, boşaltım alanı için özel yapıların gerekli olup olmadığı ve bu konudaki var olan seçenekler.

2.2.1.2 Zararlı etkiler

Etkilenen alanın boyutları, fazla suyun dönemi ve sıklığı, çiftlik çalışmaları, bitkilere etkileri, vb.

Uygun tasarım ve tasarımlamalar için yukarıda belirtilen konular üç aşamalı bir inceleme ve veri toplama çalışması ile yapılır. Bu çalışmaların birbirinden farkı, toplanan verilerin içerdiği ayrıntıdan ileri gelmektedir. Örneğin her üçünde de

haritalarla çalışılır, ancak kaba etütlerde 1/100 000-50 000 ölçekli haritalar yeterli olurken, ayrıntılı etütlerde ölçek 1/5 000 - 1/2 500 olmalıdır.

2.3 Tasarımlama Aşamaları

Tasarımlama aşaması dört kısımda incelenebilir. Bunlar tanımlama, ön yapılabilirlik, yapılabilirlik ve sonuç aşamasıdır. Aslında tasarımlamada göz önüne alınan konular sadece drenaj sistemlerine ilişkin olmayıp, genel bir anlam taşırlar.

1. Tanımlama; öncelikle var olan bilgiler ışığında analizler ve değerlendirmeler yapılır. Araştırma ve ön yapılabilirlik, toplanan araştırma sonuçları değerlendirilerek drenaj sorununu ön tanımı yapıldıktan sonra, olası çözüm kaba hatlarıyla ortaya konmaya çalışılır.

2. Ön yapılabilirlik; bu aşamada her türlü araştırma bilgileri toplanır. Drenaj sorununun ön tanısı yapılır. Tasarım alanları ve gerekirse alt bölümleri belirlenir. Çözüm ana hatlarıyla ortaya konur. Tasarımın geleceği ve değişik seçeneklerin getirisi tartışılır.

3. Yapılabilirlik; mevcut bilgiler ve araştırma sonuçları yarı ayrıntılı olarak 1/10 000-5 000 ölçekli haritalara çizilir. Yapılan çalışmaların teknik uygunluğu gözden geçirilerek, genel bir tasarım maliyeti %10 doğruluk düzeyinde belirlenir. Belirlenen kesin çözüm önerisinin yönetim, ekonomik ve finansal yönden uygulamaları kuşkuya yer bırakmayacak şekilde incelenir.

4. Sonuç aşaması; bütün araştırma ve incelemelerin ayrıntılı sonuçlarına dayalı olarak tasarı ve tasarımlar çizilir. Çalışma alanındaki tüm yapıların ayrıntılı tasarımları çizilir.

2.4 Tasarımlamada Genel Yaklaşım

Bir sitemin tasarımlanmasında aşağıda belirtilen genel kurallar göz önüne alınır. Özel durumlar için yeni seçenekler denenebilir.

2.4.1 Drenaj sisteminin fiziksel özellikleri

Uygun drenlerin ve yapıların seçimi, aralık, derinlik ve kapasitelerin belirlenmesi, inşaat yöntemleri ve kullanılacak malzemelerin seçilmesi.

2.4.2 Arazi kullanım özellikleri

Uygun arazi kullanımı, çiftlik sistemleri ve tarımsal uygulamalar göz önüne alınır. Bölgede yetiştirilen ürünler ve yetişme dönemleri yapılacak sistemi etkiler. Çayır, mera ve yem bitkilerinin yaygın olduğu alanlar ile meyve bahçelerinin veya tarla bitkilerinin yetiştirildiği alanlar sistemin tipini etkiler.

2.4.3 İşletme organizasyon

Kurumsal örgütlenmeler, işletmeler, sistemin bakımı, pompa ve yapıların işletilmesi, parasal düzenlemeler bir organizasyon tarafından yapılmalıdır.

Bütün drenaj sistemleri fazla suyu denetlemek amacıyla tasarlanır ve tasarımlanırlar. Ancak unutulmamalıdır ki tasarı ve tasarımlamada bir çok değişken bir birine bağımlıdır. Dren tipi arazi kullanımına, dren aralığı dren derinliğine veya çıkış ağzının durumuna bağlı olarak değişir. Bunlardan birinin değişmesi diğerlerinin de değişmesine neden olur. Belirlenen temel tasarım ölçütlerine göre hazırlanan tasarımların varsayımları en iyi şekilde karşılaması gerekir.

2.5 Veri Toplama Çalışmaları

2.5.1 Kaba etütler

Bu aşamada öncelikle halihazır bilgiler ve araştırmalar gözden geçirilir. Daha sonra gerçek gözlemlere göre fazla suyun zamanı ve zarar düzeyi incelenir. Kaba etüt sırasında yapılacak arazi çalışmaları etütçüye mevcut koşulları tanıma ve bazı tamamlayıcı verileri araştırmayla, soruşturmayla veya tesadüfi gözlemlerle saptama olanağı verir.

Daha ileri aşamalarda değişik haritalardan yararlanılır. Bu haritalar toprak, jeolojik, hidrolojik, eğim, çıkış ağzı, mevcut drenaj sistemi, toprakların dağılım deseni, arazi kullanımı ve geçirimsiz kata ilişkin olabilir. Hava fotoğrafları bu konularda çok yararlı bilgiler sağlar.

Bu basamakta bir çalışma esas olarak eldeki bilgilere dayanmakla birlikte bazı sınırlı miktardaki arazi etütlerini de içermektedir. Göz önüne alınan alana ilişkin veriler daha önce bu alanda çalışmalar yapmış olan ilgili kuruluşlardan toplanmalıdır.

Bu çalışmaların günün koşullarına göre çözümlenmesi ve yeniden değerlendirilmesi gerekir. Derlenecek diğer veriler;

-Hava fotoğrafları,

-Her türlü harita: jeolojik, topoğrafik haritalar (1/25 000 veya 1/50 000'den küçük ölçekli olmayanlar), yol haritaları, arazi kullanma haritaları, arazi mülkiyet haritaları vs.,

-Toprak, sulama durumu, iklim, yetiştirilen bitkiler hakkında bilgiler.

Yapılacak işlerin başında proje alanı diye tanımlanacak arazinin geçici sınırlarının saptanması gelir. Büyük alanlarda alt birimler belirlenir ve daha sonraki çalışmalar için bu alanlar aralarında bir öncelik sırası saptanır.

Arazi çalışmalarında üzerinde durulacak noktalar şunlardır:

-Doğal su yollarının yerleri ve kapasiteleri,

-Fazla suyun dağılımı ve çeşitli nedenleri, miktarı, ortaya çıkma sıklığı ve süresinin sayısal olarak belirlenmesine çalışılmalıdır,

-Tahliye olarak kullanılabilecek yerler ve tahliye koşulları belirlenmelidir,

-Taşkınlara ilişkin izler ve diğer veriler saptanmalıdır,

-Kanalların, kuyuların, kaynakların, su depolama yapılarını ve diğer yeraltı suyu kaynaklarını yerleri ve karakteristikleri saptanmalıdır,

-Su verme yöntemleri ve sulama randımanları gibi yerel sulama uygulamalarına ilişkin bilgiler derlenmelidir,

-Mevcut yeraltı suyunun dalgalanma durumu ve akış yönü tahmini olarak belirlenmelidir,

-Yetiştirilmekte olan bitki çeşitlerine ve verimlerine ilişkin bilgiler, gelecekle bu konudaki olası değişmeler,

-Proje alanındaki drenlerin tipleri, yerleri, aralıkları, derinlikleri ve etkinlikleri; bu yapılacak çalışmaların en önemlilerinden biri olup, proje alanındaki drenaj ölçütlerinin belirtilmesinde çoğu kez en sağlam dayanağı oluşturur.

-Drenlerin konumlandırılmasında etkili olacak belirgin topoğrafik özellikler,

-Tuzluluk ve alkalilik belirtileri,

-Yöredeki çiftçilerle görüşmeler yapılmalıdır; bu yolla yetiştirilen bitkilerin çeşitleri ve verimleri, sulama uygulamaları, yerel taşkınlar ve etkinlikleri,

-Kamu veya özel kuruluşların mevcut drenaj programlarının durumları ve kapsamları saptanmalıdır.

Kaba etütlerin asıl amacı daha çok tasarımın teknik yönden yapılabilirliğini saptamaktır. Hazırlanacak etüt raporunda masraf ve verimle ilgili değerler bir tahmin olarak bir başka yerdeki uygulamalara göre birim alana veya birim uzunluğa düşen fiyat şeklinde verilmesi uygun olur. Raporda yer alacak en önemli konu atılacak ikinci adım hakkındaki önerilerdir, çözüm seçeneklerinden bir veya birkaçı yapılabilir olarak gözüküyorsa, ayrıntılı etüt basamağında ne gibi çalışma programlarına gerek duyulduğu belirtilmelidir.

2.5.2 Yarı ayrıntılı etütler

Bu etütler kaba etütlere göre tasarlanmış olan değişik planların yarı ayrıntılı düzeyde planlar (ön planlar) haline getirilmesi için yapılması gereken ek çalışmaları kapsar. İlk etüt raporunda öngörülen daha ayrıntılı arazi incelemeleri bu basamakta gerçekleştirilir.

Bu incelemelerle derlenecek veriler projenin masrafların %10'luk bir hata içerisinde belirlenmesine olanak verecek düzeyde ayrıntılı olmalıdır.

Bu basamakta kullanılan topoğrafik haritalar 1/25 000 veya 1/10 000 ölçekli ve eşyükselti eğrileri en çok 0,25 m aralıklarla geçirilmiş olmalıdır. Tasarlanan kanalların, hendeklerin, sanat yapılarının yerleri belirtilmeli, gerekli profil ve en kesitlere ilişkin ayrıntılar çizilerek, tasarımlama için gereken tüm çalışmalar tamamlanmalıdır.

Sorun doğru bir şekilde tanımlandıktan sonra, çözümü için planlar tasarlanabilir. Planlama ve tasarımlama için gerekirse daha ileri araştırmalar yapılabilir. Çevre, teknik, sosyo-ekonomik ve kurumsal koşullar yapılacak olan proje için temel ölçütler sağlar.

Yarı ayrıntılı etütlerin sonuçlarına dayanılarak karar vericiler tarafından en uygun olanı plan seçilir ve uygulanmasına karar verilir.

2.5.3 Ayrıntılı etütler

Ayrıntılı etütler, göz önüne alınan alan için en iyi tasarım saptandıktan sonra bunun tasarımlanması için, daha açık bir anlatımla inşa planlarının hazırlanması için gereken çalışmalardır. Bu basamakta köprü, menfez, eğim kontrol yapıları, yüzey suyu girişleri, şeddeler, taşkın kapakları, pompaj istasyonları gibi kısaca sanat yapılarının çizimleri ve hesaplamaları yapılır. Ayrıntılı etütlerde inşaat masrafları için yapılacak hesaplamalar yarı ayrıntı düzeydekinden pek farklı değildir. Gerekli haritalara ilişkin ölçek 1/10 000-1/2 500'dür. Bu basamakta gerçekleştirilecek son çalışma ise inşa şartnamelerinin hazırlanmasıdır.

2.5.3.1 Topoğrafik etütler

Proje alanının yüzey şekli, eğimler, doğal drenajın yönü ve boşaltım noktaları topoğrafik etütlerle saptanır. Bunun için eşyükselti eğrilerini gösteren 1/100 000 - 1/250 000 ölçekli bir haritalara gerek vardır. Eş yükselti eğrilerine ek olarak kasabalar, köyler, yollar, demiryolları, patikalar, tarla yolları, nehirler, dereler, kanallar, hendekler, işlenen araziler, boş araziler, doğal bitki örtüşü, boru hatları, çiftlik sınırları, çitler vs. gibi tüm topoğrafik ve fizyografık özellikler bu haritada yer almalıdır.

Gözlem noktalarının yerlerinin, ana kanalların konumlarının ve eğimlerinin seçimi, toplayıcı hendeklerin, tarla emici drenlerinin yerlerinin ve uzunluklarının saptanması, savakların ve diğer düşü yapılarının inşa edileceği yerlerin belirlenmesi, uygun çıkış noktalarının bulunması gibi hususların tümü topografyaya bağlıdır.

Hem yüzey drenajı, hem de yüzey altı drenajı etütlerinde topoğrafik etütler ilk sırayı almakladır. Her ne kadar drenaj sorunlarının görüldüğü alanlarda hem yüzey drenajı koşulları, hem de yüzey altı drenajı koşulları birlikte etüt edilirse de, yüzey drenaj önlemleri söz konusu olduğunda bu küçük düzey farkları önem kazanmaktadır. Arazinin eğimi azaldıkça hazırlanacak olan topoğrafîk haritadaki eşyükselti eğrilerinin aralıkları küçültülmelidir. Yine yüzey drenajı etütlerinde, eşyükselti eğrileri arasına rastlayan kritik noktaların ayrı ölçümler yapılarak haritaya geçirilmesi gerekir.

Yüzey altı drenajı etütlerindeyse topoğrafik haritaların asıl kullanılış amacı yeraltı suyu ve toprak etütleri için bir temel oluşturmaktır.

Yüzey drenajı çalışmalarında tasarımlama düzeyinde mevcut akarsulara, hendeklere ilişkin profil en kesitlerine gerek vardır. Kaba etütlerde en kesitler arasındaki uzaklık arazinin birörnekliğine de bağlı olmak üzere 150-1500 m arasında değişir, ayrıntılı tasarımlama etütlerinde ise bu aralıkları 30-300 m'ye kadar indirmek gerekir. Yine bu basamakta topoğrafyanın değişme gösterdiği kısımlarda da kesitler çıkarılmalıdır. Doğal akarsuların, su yollarının, hendeklerin veya çöküntülerin yer aldığı kısımlar boyunca profiller çıkarılmalı ve öngörülen yüzey drenaj önlemlerinin tasarımlanmasına ve inşasına olanak verecek biçimde alınacak kesitler tasarım çizgisinin iki yanına yeteri kadar uzatılmalıdır.

Yüzey altı drenajı çalışmalarında sızıntıların görüldüğü, ya da bitki örtüsünün sürekli veya mevsimlik yüksek su tablasının varlığının görüldüğü kesimler topoğrafık haritaya geçirilmelidir. Sırtlar, tümsekler, çukur alanlar, doğal drenaj yolları, kayalıklar ve boşaltım kanalları özellikle önem taşır. Gözlem kuyularının ve piyezomtrelerin kodlarının ve yerlerinin saptanması diğer topoğrafık veri derleme çalışmaları sırasında yapılmalıdır.

Hava fotoğrafları da drenaj çalışmalarının her aşamasında çok yararlı olmaktadır. Bunlar doğal veya yapay drenaj yollarının genel görünümü ile özellikle boşaltım koşullarını ortaya koymada topoğrafik haritaları tamamlamaktadırlar. Bunun ötesinde fazla suyun kaynağı, sızıntı alanları, tuzlu ve sodyumlu kesimler gibi drenaj sorunları çoğu kez bu fotoğraflardan yararlanılarak belirlenir.

Sözü edilen bu hava fotoğraflarının çoğu genel amaçlı pankromatik fotoğraflar olup, nispeten küçük ölçeklidirler. Drenaj çalışmalarında ise daha çok büyük ölçekli hava fotoğrafları arzu edilir. Eğer olanak varsa kızılötesi fotoğraflarla, uygun filtrelerin kullanılmasıyla çekilmiş fotoğraflar karşılaştırmalı olarak kullanılmalıdır. Böyle bir olanak yoksa kızılötesi fotoğrafları yeğlenmelidir (Gemalmaz, 1992).

2.5.3.2 Jeolojik etütler

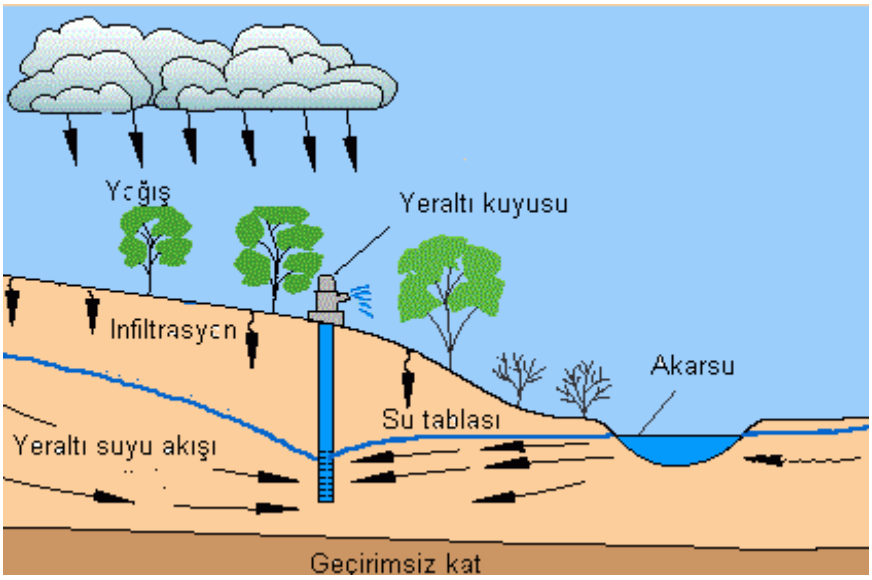
Topraklar çok karmaşık olan jeolojik süreçler sonucunda oluştuklarından birçok jeolojik toprak tipi bulunmaktadır. Bu bakımdan jeolojik süreçlerin

kavranması drenaj sorunlarının ortaya çıkmasının nedenlerinin ve çözüm yollarının kestirilmesinde ve çözümlenmesinde yardımcı olmaktadır.

Örneğin sulanan alanlarda en yaygın olarak allüviyal topraklar bulunmakta olup, sularla taşınıp biriktirilmiş malzemelerden oluşan bu toprakların bünyeleri kilden çakıla kadar değişebilir. Bu tip allüviyal toprakların geçirgenlikleri, genellikle drenaj sistemlerinin inşasını ekonomik kılacak düzeylerdedir.

Kilden kaba kuma kadar değişen durgun su çökelti kökenli lakustrin toprakların süreklilikleri ve yapıları göl boyunca genellikle değişiklikler gösterirler. Bu tip toprakların bir çoğu ekonomik bir şekilde drene edilebilirler.

Rüzgarlarla taşınarak birikmiş Eolian topraklar ince bünyelidirler. Lösler ve kumullar olmak üzere başlıca iki grupta incelenirler. Bunların kalınlıkları onlarca metreyi bulabilir. Yine bu topraklar da, ekonomik olarak drene edilebilecek niteliklere sahiptirler.



Şekil 2.1 Fazla suyun basit jeohidrojeolojik döngüsü

Çalışma alanı topraklarının jeolojik koşullarına ilişkin bilgilerin elde edilmesi de çok önemlidir. Kaba etütlerde jeolojik formasyon özelliklerini incelemek amacıyla sondaj delikleri açmak için genellikle yeterli zaman ve para bulunmaz. Litolojik dizilişi, su ileten tabakaların derinlikleri ve kalınlıkları ile geçirimsiz tabakanın derinliğini gösteren birkaç kesitle jeolojik harita desteklenmelidir.

Bu amaçla mevcut kuyuların (derin kuyular ve köy kuyuları) logları incelenmelidir. Eğer böyle loglar mevcut değilse 5 veya 6 m derinliğe kadar inen burgu delikleri açılmalıdır. Etkinliğin artırılması ve ekonomi sağlama amacıyla bu iş toprak etütleriyle birleştirilebilir.

2.5.3.3 Toprak etütleri

Topraklarla ilgili olarak elde yeteri kadar ayrıntılı veri olmadığında, ne tip olursa olsun bir drenaj sisteminin tasarımlanması düşünülemez. Küçük bir çiftliğin drenaj tasarımı için topraklara ilişkin verilerin bir dizi burgu deliği açmakla derlenmesi olanaklı iken, büyük alanlarda tüm alanı kapsayan tam bir toprak etüdünün yapılması gerekir. Yürütülecek toprak etütlerinin kapsamı ve ayrıntı derecesi arazinin drene edilmesinde güdülen amaca bağlıdır (Gemalmaz, 1992).

Yüzey altı drenajında çeşitli toprak tabakalarının hidrolik iletkenliklerinin ve etkili gözenekliliklerinin bilinmesi, başarılı bir tasarımlama yapmanın vazgeçilmez öğelerindendir. Dren aralıklarını dren düzeyinin aşağısında kalan malzemenin hidrolik iletkenliği büyük ölçüde etkilediğinden, toprak yüzeyinden itibaren 1.50-2.50 m arasındaki bölge özellikle önemlidir.

Toprakların 1.20 m derinliğe kadar etüt edilmesiyle hazırlanmış olan haritalar kaba etütlerde büyük yararlar sağlar. Asıl sorunun yüzey drenajı olduğu alanlarda 0.90-1.80 m derinliğe kadar yapılacak toprak etütleri yeterli olabilmekteyse de, sulanan alanlarda çok daha derin, hatta 30 m'nin aşağılarına kadar inen sondajlara gerek duyulabilmektedir.

Yüzey altı drenaj etütlerinde kanalların inşasını etkilemesi bakımından temel toprak etütlerindekinden daha derine inen sondajlarla, toprak stabilitesi, geçirgenlik ve geçirimsiz tabakanın yeri, sıkışmaya yatkın organik tabakaların derinlikleri ve kalınlıkları gibi özelliklerin belirlenmesi gerekir.

İnşa edilecek hendeklerin derinliklerinin 1.20 m'yi geçmeyeceği durumlarda projeleme için temel bir toprak etüdü yeterli bilgi sağlarsa da, hendeklerin daha derin olması durumunda öngörülen güzergahlar boyunca daha derine burgu delikleri açılarak toprak tabakaları incelenmelidir. Bu derinlik, yaklaşık olarak düşünülen hendek derinliğinin bir buçuk katı kadar olmalıdır.

Dren döşeme derinliklerindeki toprak özellikleri zarf tasarımlaması bakımından da önemli olduğundan, drenaj sistemi tasarımlanan alanlarda toprakların tane dağılım özelliklerinin belirlenmesi gerekir.

2.5.3.4 Taban suyu etütleri

Bir yerde yüzey altı drenaj sorunun olup olmadığına, o bölgede taban suyunun toprak yüzeyinden derinliğine ve bu konumda kaldığı süreye bakarak karar verilir. Bunun için belli aralıklarla açılan gözlem kuyularından yararlanılır. Bir drenaj sisteminin etkin çalışıp çalışmadığını belirlemek için de yine gözlem kuyularından yararlanılır. Onun için taban suyu ölçümleri drenaj sistemi kurulduktan sonra da devam etmelidir. Ancak, bu durumda ölçümler daha sık yapılmalıdır. Böylece sulama veya yağışlarla gelen fazla suyun kök bölgesinden uzaklaşma süresi izlenerek sistemin çalışma etkinliği belirlenir.

Taban suyunun 2 m derinlikte olduğu yerlerde drenaj sorununun başladığına ve yüzeye yaklaşma durumuna göre sorunun şiddeti ve taban sularının bulundukları derinliklere göre bölgedeki drenaj gereksinimi hakkında karar verilir (Çizelge 2.1).

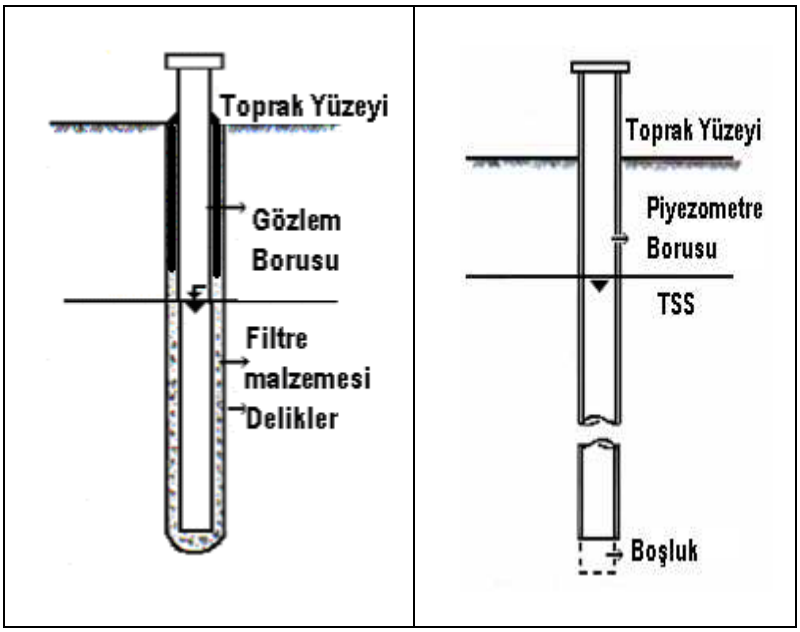
Çizelge 2.1 Taban suyunun derinliklere göre sınıflandırılması, (Güngör ve Erözel, 1994)

Sınıf	Derinlik, (m)	Sınıf	Derinlik, (m)
Çok sığ	0.45	Sığ-	45-90
Orta	90-150	Derin	150-200
Çok derin	200<	-	-

Taban suyu düzeyinin zaman içerisinde değişimi gözlem kuyularında veya köy kuyularında ölçülür. Gözlem kuyuları 6-8 cm çapında, toprak yüzeyinden 2-3 m derinlikte açılırlar. Ancak gözlem kuyularının en fazla hangi derinlikte olması gerektiği önceki araştırmalara dayanılarak belirlenir. Eğer su tablası 3 m'den daha derinse, bu gibi alanlarda drenaj tasarımlaması düşünülmeyeceğinden gözlem kuyularının en fazla 3 m derinlikte olması yeterlidir. Ancak dalgalı topoğrafyaya sahip alanlarda yer altı suyunun konumunu belirlemek için daha derin kuyulara gerek olabilir.

Eğer bu kuyularda uzun süre gözlem yapılacaksa, bu kuyuların içine etrafı delikli borular yerleştirilerek, uzun süre gözlemler yapılabilir. Aksi halde toprak bünyesine göre değişen belli sürelerde kuyu kenarlarındaki çökmeler nedeniyle bu kuyular bir süre sonra kullanılamaz hale gelirler.

Eğer amaç sulamaya açılan bir alanda su tablasının yükselme hızını belirlemek ise, bu durumda mevcut olan daha derin kuyularda belli aralıklarla ölçüm yapılarak taban suyunun kök bölgesine yükselme zamanı kestirilmeye çalışılır. Böylece yeni sulamaya açılan alanlarda olası drenaj sorununun ortaya çıkacağı zaman belirlenir. Eğer taban suyu tablasının yükselme hızı beklenenden daha fazla ise nedenleri araştırılarak aşırı beslenme önlenmeye çalışılır.



Şekil 2.2 Gözlem kuyusu ve piyezometrenin görünümü

Artezyenik basınçların beklendiği bölgelerde belli sayıda derin piyezometre setleri yerleştirilir. Bunların derinlikleri ve sayıları konusunda belirli bir kural yoktur. Çünkü bu durum alanın hidrojeolojik koşullarına bağlı olarak değişir.

Alüvial alanlarda toprak katmanları değişik kalınlıklarda, bünyelerde ve değişik derinliklerde olabilirler. Toprak katmanlarının kalınlıkları bazen çok fazla olabilir. Böyle durumlarda değişik derinliklere piyezometreler yerleştirilmesi gerekir. En derin piyezometre artezyenik basıncın olduğu kaba kumlu kata yerleştirilmelidir. Ancak, böyle bir işlem için özel ekipmanlara gerek vardır.

Gözlem kuyularının açılacağı yerler/noktalar öncelikle söz konusu alanı temsil etmelidir. Onun için gözlem kuyuları açılırken bazı kurallara özen gösterilmesi gerekir. Örneğin drenaj sistemi kurulu alanlarda drenaj kanalı yakınındaki bir gözlem kuyusunda taban suyu düzeyi kanaldaki su düzeyine yakın bir değer olacaktır. Gözlem kuyuları drenaj kanallarının etkisinden yeterince uzakta, ulaşılması kolay, izleneceği bölgeyi/toprakları temsil edebilen doğal yapısı bozulmamış yerlere kurulmalıdır.

Bu bakımdan gözlem kuyularının yerleri aşağıda sıralanan özellikler dikkat edilerek açılırlar. Bunlar;

-Su tablası eğiminin değişme olasılığı olan yerler,

-Olası su akış yollarına ve su kanallarına dik hatlar,

-Artezyenik basınç ve aşırı sulanan alanlardan ileri gelmesi olası sığ taban suyu olan alanlar,

-Drenaj tasarımlaması yapılan alanın sınırlarına dik hatlardır.

Gözlem kuyularını açarken çıkan topraklar, derinliklerine göre analiz edilerek toprak etütleri de yapılmış olur. Ayrıca kuyular donatılı hale getirilmeden önce bunlarda hidrolik iletkenlik testleri yapılarak sistemin tasarımlamasındaki en önemli parametrelerden biri olan hidrolik iletkenlik değerleri belirlenir.

Bir drenaj alanında veya ovada açılacak gözlem kuyusu sayısı, ovanın büyüklüğüne göre değişmekle beraber bir fikir vermesi bakımından; büyüklüğü 100 hektarlık bir alanda 20, 1000 hektarlık bir havzada 30-40, 10 000 hektarlık bir havzada yaklaşık 100, 100 bin hektarlık bir alanda 300 kadar gözlem kuyusu önerilmektedir. Geniş alanları kaplayan büyük ovalarda kenarları 1 km uzunluğunda kareler ağı oluşturularak, bu karelerin köşelerine birer gözlem kuyusu kurulması uygun olur.

Gözlem kuyularında su düzeyi ölçümleri birkaç değişik yöntemle yapılabilir. Bunlar;

-Islak şerit yöntemi; bu yöntemde milimetre bölümlü çelik metre kuyuya daldırılır. Islak olan bölüm, kuyu ağzına kadar olan kısımdan çıkarılarak su düzeyi belirlenmiş olur. Böyle bir işlemde çelik metrenin her defasında kurulanması gerekir.

-Mekanik ses yöntemi; bu yöntemde şerit metrenin veya bir ipin uç kısmına genişliği 10-20 mm ve uzunluğu 40-50 mm bakır veya çelik metalden yapılmış ters huni şeklinde bir parça bağlanır. Bu parça suya değdiğinde plap şeklinde bir ses çıkarır.

-Elektrikli su düzeyi ölçüm cihazı; iki telli bir kablonun alt uçlarına bağlı iki elektrot, kablonun üst ucu ise bir ampermetreye, ses çıkarıcıya veya bir lambaya bağlıdır. Elektrotlar suya değdiğinde, içinde çözünmüş tuzlar nedeniyle su iletken bir hale geldiğinden kablonun üst ucuna bağlı cihaz çalışır. Böylece su düzeyi belirlenir.

-Yüzücü su düzeyi kaydedicisi; bu tür aletler veya cihazlar elektronik veya mekanik olabilir. Bunlar suda yüzücü bir parça ve bir dengeleyiciden oluşur. Ancak, yüzücü parçanın genişliği nedeniyle, daha geniş çaplı kuyulara gerek duyulur.

Basınç veya su düzeyi kaydedicisi; elektronik olarak su düzeyini veya su basıncını yıl boyunca bir saat aralıklarla kaydeder. Basınç kayıtları bir mikrobilgisayar tarafından depolanır. Belli dönemlerde, gözlem sonunda veya kapasite dolduğunda kayıtlar bir bilgisayara aktarılır. Basınca duyarlı cihazlar 20-30 mm çapında olup küçük çaplı borularda kullanım için uygundurlar.

-Eşeller veya açık su düzeyi kaydedicileri; açık su düzeylerini okumak için su kenarına bir eşel veya su düzeyi kaydedicisi yerleştirilir. Dalgıç şeklinde olan basınç kaydediciler bu amaç için en uygun olanlarıdır. Bu iş için akarsu tabanına bir silindir çakılması yeterlidir.

Belirli aralıklarla yapılan su düzeyleri ölçümü sırasında su kalitesi ölçümleri için örnekleme yapılabileceği gibi, taşınabilir cihazlarla tuzluluk ölçümleri de yapılabilir.

2.5.3.4.1 Ölçüm sıklığı ve şekli

Su tablası, beslenme ve boşalımda oluşan değişimlere göre tepki verir. Bir drenaj alanında su tablasının en yüksek ve en düşük düzeyde olduğu dönemleri ile yıllık ortalama düzeyi önemlidir. Dolayısıyla, su tablasının konumunun ve zamansal değişiminin belirlenmesi için belli aralıklarla ölçüm yapmak gerekir. Ölçüm sıklığının ayda bir olması yeterli görülmesine karşı, en uygun olanı 15 günde birdir. Sulama dönemlerinde daha sık ölçüm yapılması önerilmektedir. Eğer olanaklı ise,

taban suyu düzeyi ölçümleri bütün alanda bir günde tamamlanmalıdır. Böylece drenaj alanında su tablasının konumu tam bir şekilde ortaya çıkarılmış olur.

Yapılan ölçümler önceden hazırlanmış kayıt formlarına işlenirler. Bu formlarda kuyulara ilişkin genel bilgiler ayrıntılı bir şekilde yazılır. Bunlar, arazi sahibi, kuyunu derinliği referans noktasına göre konumu, koordinatları, kuyu derinliği, açıldığı tarih, kuyu tipi, aküfer özellikleri borunun topraktan yüksekliği gibi bilgilerdir. Bir gözlem formunda ise, gözlem tarihi, yapılan okuma, taban suyu düzeyi ve toprak yüzeyinden derinliği ile açıklamalar sütunundan oluşur.

Eğer belirli bir amaç için gözlem yapılıyorsa daha sık ölçüm yapılması gerekir. Örneğin yağışların veya sulamaların taban suyunun dalgalanması üzerine etkilerinin belirlemesi için yapılan bir çalışmada, ölçümlerin her gün yapılması gerekir. Böyle durumlarda otomatik kaydedicilerin kullanılması daha uygun olur.

2.5.3.4.2 Taban suyu ölçümlerinin değerlendirilmesi

Bir bölgede drenaj sorununun nedenleri, boyutları ve şiddeti hakkında karar vermeden önce, ölçümlerle elde edilen ham verilerin işlenmesi ve değerlendirilmesi gerekir. Söz konusu veriler jeolojik ve hidrojeolojik verilerle birlikte değerlendirilerek, sonuçlar harita, grafik ve kesitler şeklinde gösterilir. Bunlar yardımıyla sorunun tanısı yapılır. Bu işlem sırasında topoğrafik, jeolojik ve toprak haritalarının da olması gerekir.

Elde edilen verilerden aşağıdaki haritalar hazırlanır.

—Yeraltı suyu hidrografları,

—Eşyükseltili taban suyu haritaları,

—Taban suyu derinlik haritaları,

—Taban suyu dalgalanma haritaları,

—Yük farkları haritaları

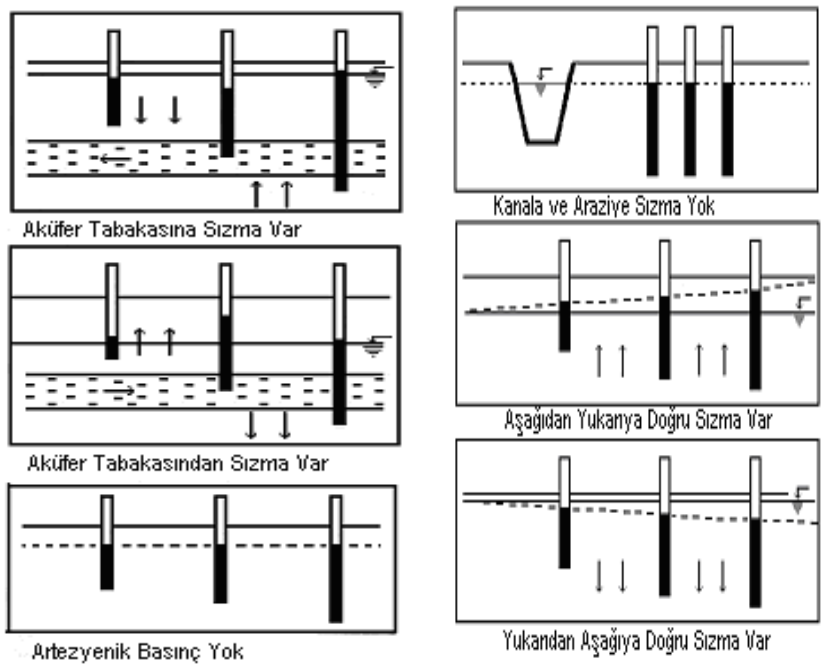
—Yeraltı suyu kalite haritaları

Taban suyunun düzeyi yanında, hareketinin de belirlenmesinde yarar vardır. Her ne kadar taban suyu geçirimsiz bir kat üzerinde yükselse de, yine de bu katlar az da olsa su iletirler. Ayrıca bir akarsudan tarımsal alanlara veya tarımsal alanlardan

akarsuya veya yeraltından artezyenik basınçla üst katlara sızma olabilir. Bu tür durumların belirlenmesi için gözlem kuyuları ve piyezomtreler kullanılır.

Özellikle artezyenik basınç alanlarının olduğu bölgelerde su tablasının denetiminin yağış ve sulamalara göre belirlenmesi halinde, sistemin kapasitesi yetersiz kalabilir. Diğer taraftan üzerinde su tablası bulunan geçirimsiz kil katmanları çok düşükte olsa su iletebilirler. Böyle durumlarda su tablası, hem tasarımlamada öngörülenden daha hızlı düşer ve hem de özellikle drenaj sorununun sulamadan ileri geldiği bölgelerde, sulama mevsimi başında dren düzeylerinin altına düşer.

Bu nedenle aküferden üst katlara veya üst katlardan aküfere olan sızmaların doğru hesaplanması tasarımlamada büyük önem taşır. Anılan durumun varlığı ve büyüklüğü değişik toprak katlarına çakılacak piyezometreler yardımıyla belirlenir. Şekil 2.3'de toprak katmanlarında olası sızma durumları ve bunların piyezomtrelerle belirlenmesine ilişkin örnekler görülmektedir.



Şekil 2.3 Piyezometrelerle taban suyu hareket yönünün belirlenmesi

Bir bölgede taban suyunun yatay yönde hareketi piyezometre ve gözlem kuyularıyla belirlenir. Anılan duruma ilişkin örnekler Şekil 2.3 ve 2.4'te gösterilmiştir.

Bir kanaldan derine sızma olup olmadığı kanala çakılacak bir piyezomtre yardımıyla belirlenebilir. Kanaldan araziye veya araziden kanala su akışının olup olmadığı ise aynı derinliğe çakılacak piyezomtre veya gözlem kuyuları ile belirlenebilir. Eğer araziden kanala sızma varsa kanala en yakın piyezometrede su düzeyi en düşük olacaktır. Eğer kanaldan araziye sızma varsa kanaldan uzaklaştıkça su düzeyleri azalacaktır (Şekil 2.4).

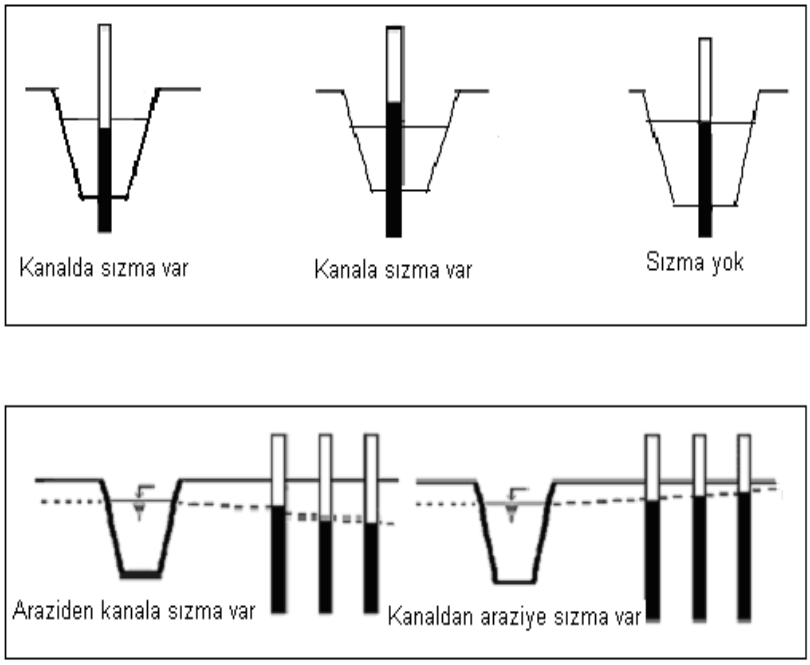
Ancak piyezometre ve gözlem kuyularında su düzeylerinin doğru belirlenmesi için arazideki eğimlere dikkat edilmesi gerekir. Taban suyu düzeylerindeki küçük değişmeler arazideki engebeler nedeniyle yanlış algılanıp yanlış değerlendirmeler yapılmaması için ölçümlerin belli bir kıyas düzlemine göre yapılması gerekir.

2.6 Geçirimsiz Tabaka (Bariyer) Etütleri

Drenaj mühendisliğinde bariyer terimi, genellikle geçirgen olmayan veya çok az geçirgen olan toprak katmanları için kullanılır. Toprak içine sızan suyun üzerinde toplandığı ve bu suyun daha derinlere inmesine engel olan tabakaya bariyer denir.

Toprak içerisinde yerçekimi etkisi ile aşağıya doğru süzülen sular yüzey altında geçirgenliğin azaldığı bir yerde birikmeye başlar ve biriken bu sular taban suyunun seviyesini yükselterek bitki köklerinin gelişme alanını engeller. Aynı zamanda yüzey altı drenaj sistemlerinde drenaj borularına gelen su akım yollarının değişmesine yol açar. Bu kapsamda bariyer etütleri drenaj sistemlerinin planlanmasında önemli rol oynar.

Toprak altında geçirimsiz tabakanın varlığı ancak bu tabakanın sorunlu bölgenin 2/3'ünü kapladığı koşullarda sorun olarak ortaya çıkabilir. Ancak bir çok nedenlerle oluşmuş geçirimsiz tabaka her zaman bariyer olarak kabul edilemez. Toprak içerisinde yapılan etüt çalışmalarında tam anlamıyla geçirimsiz bir tabakanın bulunması her zaman olağan değildir. Ancak, toprakta birim derinlikte bulunan katmanlar arasında geçirgenlik farklarının ve bu katmanlarda bir önceki katmana göre geçirgenlik azalmasının (1/5 veya 1/10 oranında) olduğu koşullarda bariyerin varlığı düşünülebilir.



Şekil 2.4 Piyezometrelerle taban suyu gözlemlerine ilişkin örnekler.

Drenaj sistemlerinin planlanmasında bariyerin büyük önemi vardır. Bariyer dren aralıklarının, dren derinliklerinin, hidrolik iletkenliğin, taban suyu seviyesinin ve etkili gözenek hacminin belirlenmesinde etkilidir. Eğer bu veriler doğru bir şekilde belirlenemezse drenaj projelerinde yanlış hesaplamalar, drenaj maliyetinin artması ve sistemin işlevini yerine getirememesi gibi olumsuz durumlar ortaya çıkar.

Toprak içine sızan suyun üzerinde toplandığı ve bu suyun daha derinlere inmesine engel olan tabakaya drenaj mühendisliğinde bariyer denir.

Drenaj projelerinde dren derinlik ve aralığının saptanmasında kullanılan temel değerlerden birisi de bariyer derinliğidir. Toprak içerisinde sızan su bariyer adı verilen geçirimsiz tabaka üzerinde toplanarak taban suyunu oluşturur.

Bariyer; toprak suyunun düşey hareketini kısıtlayan çok az geçirgen veya geçirgen olmayan toprak tabakalarına denilmektedir. Drenaj etütlerinde toprak altı koşullarında toprak yapısı, bünyesi, permeabilitesi, değişik tabakalardaki kalınlığı, konumu ve sürekliliğine ilişkin temel bilgiler sağlamak amacıyla gözlem kuyuları açılır.

Çizelge 2.2 Bariyer derinliğinin saptanması için açılacak kuyu sayıları

Toprak serisi içindeki arazi alanı (da)	Kuyu derinliği	
	8 m	5 m
50 >	1	2
50 – 250	1	3
250 – 1000	1	1 adet/1000 da
1000 <	1 adet/1000 da	1 adet/500 da

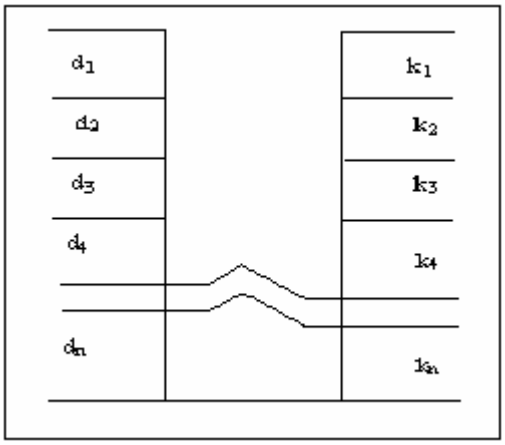
Burgu deliği (Auger Hole) yöntemine göre açılan gözlem kuyularından elde edilen veriler yardımıyla bariyer tabakasının derinliği belirlenmeye çalışılır. Bariyer derinliğinin saptanması amacıyla kuyu derinliğine göre açılacak olan kuyu sayıları Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

2.6.1 Bariyer Derinliğinin Saptanması

Toprak altında geçirimsiz tabakanın kesin olarak bulunması her koşulda olmayabilir. Bu nedenle geçirimsiz tabaka derinliğinin belirlenmesinde bazı varsayımlar yapılmaktadır. Onun için hangi katın bariyer özelliği taşıdığı ve hangi derinlikte olduğunu belirlemek için, öncelikle toprak katmanlarının geçirgenlikleri ve derinlikleri göz önüne alınarak toprağın ortalama geçirgenlik değeri hesaplanır.

Toprak katmanlarının ölçülen bireysel geçirgenlikleri k_1, k_2, k_3,.....k_n ve her bir toprak katmanının derinliği d_1, d_2, d_3 .....d_n ile gösterilirse, ortalama geçirgenlik değerleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir.

Ortalama geçirgenlik değerleri (k) en az 1 metrelik toprak katmanını temsil etmelidir. Geçirimsiz katın belirlenmesinde genellikle iki varsayım göz önüne alınır (Şekil 2.5). Birinci varsayımda geçirimsiz kat, üstteki tartılı ortalama geçirgenliğin beşte birine (1/5) veya daha az geçirgenliğe sahip bir katmandır. İkinci varsayımda ise, geçirgenlik üstteki tartılı ortalama geçirgenliğin onda biri (1/10) veya daha az geçirgenliğe sahip katmandır.



Şekil 2.5 Bariyer derinliğinin saptanmasına ilişkin toprak katman derinlik ve geçirgenlikleri

Tartılı ortalama; Eşitlik 2.1'deki eşitlikle hesaplanır.

$$K = \frac{d_1 k_1 + d_2 k_2 + d_3 k_3 + ... + d_n k_n}{d_1 + d_2 + d_3 + ... + d_n} \qquad (2.1)$$

Eşitlikte k, katmanların hidrolik iletkenliklerini cm d^{-1} veya m d^{-1}, d katın kalınlığı, cm veya m ve K ortalama hidrolik iletkenliği göstermektedir.

Örnek 1

Aşağıdaki Çizelge 2.3'te toprak katmanlarının derinliği ve geçirgenlikleri verilmektedir. Buna göre 1/5 geçirimsizlik oranı için toprağın geçirimsiz kat (bariyer) derinliğini hesaplayınız?

Tartılı ortalama geçirgenlik değerleri:

$$K_1 = \frac{120x1.60}{120} = 1.60$$

$$K_2 = \frac{120x1.60 + 120x1.40}{240} = 1.50$$

$$K_3 = \frac{120x1.60 + 120x1.40 + 120x0.90}{360} = 1.30$$

$$K4 = \frac{120x1.60 + 120x1.40 + 120x0.90 + 120x0.40}{480} = 1.07$$

Çizelge 2.3 Bariyer katmanının saptanması

Toprak katmanının derinliği (cm)(d)	Hidrolik iletkenlik (k) (cm h^{-1})	Ortalama iletkenlik (cm/h)	Karşılaştırma	Sonuç
0–120	1.60	1.60		
120–140	1.40	1.50	1.60<1.4x5=7.0	Bariyer yok
240–360	0.90	1.30	1.50<0.9x5=4.5	Bariyer yok
360–480	0.40	1.07	1.30<0.4x5=2.0	Bariyer yok
480-600	0.20		1.07>0.20x5=1.0	Bariyer var

Çizelgede görüldüğü gibi katların hidrolik iletkenlik değerlerinin 5 katı alındığında 480 cm derinliğindeki ortalama iletkenlik 1.07 cm d^{-1} iken 480-600 cm derinlikteki iletkenliğin 5 katından (5x0.2=1.0) daha büyüktür. İşlemi diğer şekilde yaparsak 1.07/5=0.22>0.2 olduğundan bu kat bariyer kabul edilir.

Örnek 2

Bir drenaj alanında 2.40 m derinliğe kadar her 0.60 m' den alınan toprak örneklerinde laboratuarda geçirgenlik testleri yapılmış ve bulunan hidrolik iletkenlik (K) değerlerinin ortalama değerleri eşitlikten (K_{ort}) bulunarak bir önceki katmanla karşılaştırılması yapılmıştır. Değerler Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4 Geçirimsiz katın belirlenmesine ilişkin örnek hesaplama

Profil derinliği	Kn	Kort	Kx5	Bariyer
0 – 0.60	1.2	-	-	-
0.60 – 1.20	0.5	1.2	0.5x5=2.5>1.20	Bariyer yok
1.20 – 1.60	0.2	0.85	0.2x5=1.0>0.85	Bariyer yok
1.60 – 2.00	0.1	0.63	0.1x5=0.5<0.63	Bariyer var

Görüldüğü gibi, bariyer 1/5 geçirimsizlik oranında 1.60–2.40 katmanındadır. Genellikle bariyerin belirlenmesi için 3 ve 10 metre derinlikte kuyular açılır. Bu

kuyuların açılması toprak etütlerinin yapılması sırasında aşağıda verilen esaslara göre yapılır (Çizelge, 2.5).

Çizelge 2.5 Yeraltı suyu etütlerinin yapılma esasları

Alan büyüklüğü (ha)	5 m kuyu	10 m kuyu
50	2	1
5–25	3	1
25–100 da	1/100 da	1

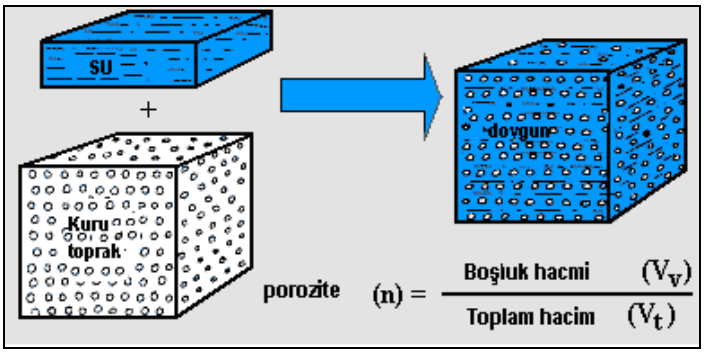
2.6.2 Bariyer derinlik grupları haritası

Yüzeyden geçirimsiz katmana kadar olan derinlikler dikkate alınarak çizilir ve arazi sınıf sınırları dikkate alınarak sınırları oluşturulur. Oransal bariyerin tespit edildiği durumlarda da, bu değerler kullanılır. Bunlar kuşaklama drenlerin derinliğinin belirlenmesinde kullanılırlar.

Bariyer katmanının yüzeye yakın olması drenaj sisteminin oluşturulmasında temel faktörlerdendir. Bariyer yüzeyde yer alıyorsa, geçirimlilik durumuna bağlı olarak diğer kültürel ve bitkisel ıslah önlemleri söz konusu olabilir. Bariyer tabaksının konumu, sulama ve drenaj sistemine etkili olabildiği gibi arazinin sulama dışı bırakılmasında bile etkin olmaktadır.

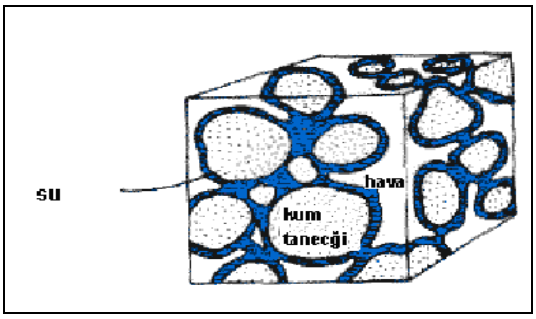
3. DRENAJ MÜHENDİSLİĞİNDE TOPRAK-SU SİSTEMİ

Topraktan fazla suyu uzaklaştırmak için, öncelikle toprak ve su ilişkileri ile suyun toprakta devinim ilkelerinin bilinmesine gerek vardır. Toprak, bir bölümü su, bir bölümü ise hava ile dolu olan gözenekli bir yapıdadır. Normal bir toprakta gözeneklerin su ve hava ile dolu olan kısımlarının oranları yaklaşık olarak birbirine eşittir (Şekil 3.1). Toprak gözeneklerinin su ile dolu olan kısmının artması ve bu durumun belli bir süre devam etmesi toprak ve bitki üzerine olumsuz etki yapar. Böyle bir durum drenaj sorununun varlığını gösterir.



Şekil 3.1 Toprak bileşenlerinin şematik olarak gösterimi

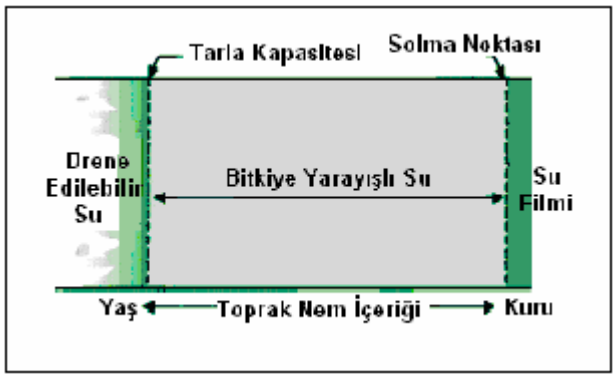
Su toprağa yağış veya sulama suyu olarak girdikten sonra buharlaşma, bitkiler tarafından alınma gibi drenajla kök bölgesinden ayrılıncaya dek bir birinden farklı olaylara konu olurlar. Değinilen olaylar, büyük ölçüde toprakta suyun devinim hızı ile denetlenmektedir.



Şekil 3.2 Bir toprak parçacığında suyun tutulması

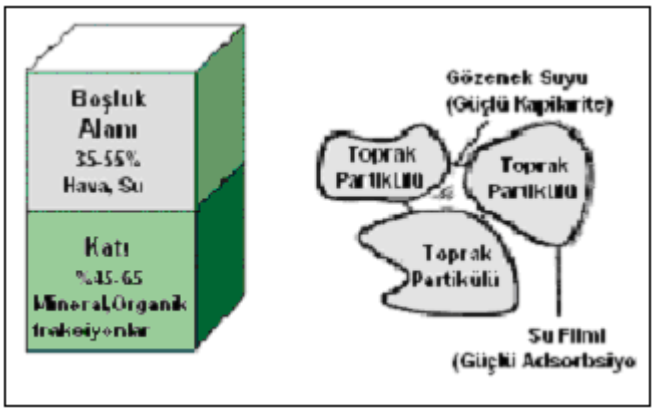
3.1 Toprakta Suyun Devinimi

Toprak içerisindeki su, doymuş ve doymamış koşullarda olmak üzere iki değişik durumda devinir. Sulama sırasında suyun üst katmanlardan aşağılara süzülüşü, suyun dren borularına girişi, yeraltı sularının pompalanması, doymuş; sulamadan sonra suyun bitkiler tarafından kullanılması ise doymamış devinime örnek gösterilebilir.



Şekil 3.3 Toprakta suyun tutulma şekilleri ve drenaj suyu

Doymuş koşullardaki akış, suyun tüm toprak hacminde kendisini türdeş bir emişe uydurması ile meydana gelir. Taban suyunun yükselerek toprak yüzeyine çıkması veya yanlara akması, değinilen devinime örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 3.4 Toprak suyunun hacimsel miktarı ve tutunma biçimleri

Toprakta suyun düşey doğrultudaki bir boyutlu akışı, Darcy yasası ile açıklanabilir (James, 1988).

$$V = -KV = -K\frac{\Delta H}{\Delta S} = -K\frac{\partial H}{\partial S} \qquad (3.1)$$

Burada, V değeri, artan S mesafesi doğrultusunda birim kesit alandan geçen akış miktarı; K, toprak nem düzeyi (θ) ile değişen hidrolik iletkenlik; H, hidrolik yükü göstermektedir. H=h+z olduğundan, tek boyutlu düşey doğrultudaki akış;

$$V = -KV = -K\left\{\frac{\partial H}{\partial z} + 1\right\} \qquad (3.2)$$

şeklinde yazılır. Eşitlikteki eksi işaret, akım yönünün azalan potansiyel doğrultusunda olmasından ileri gelmektedir. Denklemdeki, z değeri yukarı doğru pozitiftir; h değeri ise atmosferik basınçla ilişkili su yükünü göstermektedir. Değinilen h değeri, doygun olmayan koşullarda negatiftir. Eğer, V değeri negatif ise akım yönü aşağı doğrudur veya her zaman H değerinin azalma doğrultusundadır. Durağan veya V=0 koşulları için $\partial h/\partial z = -1$ dir.

Sulanan arazilerde, taban suyu düzeyi çok aşağılarında olduğunda ve aşırı sulama suyu uygulandığında $\partial h/\partial z = 0$ dır. Değinilen koşullarda V=K düzeyinde bir drenaj meydana gelir. Olağan şekilde, drenaj hızı sabit olmadığından dolayı, K değerindeki değişmeye bağlı olarak θ ve h değerleri de değişir.

Kararlı olmayan akış koşullarında, ∂h/∂z ≠0, Darcy yasası ile süreklilik denklemi birleştirilir. Yeni oluşturulan eşitlik, Richard Denklemi diye adlandırılır. Anılan eşitlik, tek boyutlu düşey durumdaki akı için geliştirilmiştir.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left\{k\frac{\partial H}{\partial z}\right\} = \frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial h}{\partial z}\right) + \frac{\partial K}{\partial z} \qquad (3.3)$$

Doygun topraklarda suyun devinimini tanımlayan ve açıklayan Darcy yasası, doymamış koşullardaki su deviniminin açıklanmasında da kullanılabilir. Ancak, temelde iletimin, yalnızca düşey doğrultuda olduğu varsayımının yapılması gerekir.

$$q = -k(\theta)\frac{\partial H}{\partial z} \qquad (3.4)$$

Eşitlikteki, q simgesi, birim zamanda birim alandan geçen akış miktarıdır. Belli bir z derinliğindeki derine süzülme, tansiyometre ve nötronmetre kullanılarak, aynı derinlikteki nem kapsamının ve ölçülen nem kapsamına karşı hidrolik iletkenliğin bilinmesi koşuluyla yukarıdaki eşitlik yardımıyla kestirilebilir (Kanber, 1993).

Sulanır alanlarda bir toprak profilinde aynı anda pozitif ve negatif hidrolik eğim profilleri oluşur. Toprak yüzeyine yakın kesimlerde hidrolik eğim pozitif işaretlidir. Açıklanan koşulda evapotranspirasyonu karşılamak üzere suyun profilde yukarı doğru devindiği anlaşılır. Aynı şekilde, hidrolik eğimin negatif olduğu profil bölgesinde suyun kök bölgesinin aşağılarına doğru aktığı, yani drenaj kayıplarının meydana geldiği görülür. Her iki bölge arasında hidrolik eğimin sıfır olduğu bir nokta vardır. Anılan profil derinliği, sıfır akı düzlemi olarak adlandırılır. Söz konusu düzlemin yukarı kesiminde, evaporasyon veya evapotranspirasyon; aşağı kesiminde ise drenaj kayıpları meydana gelir. Değinilen düzlem derinliği sabit olmayıp sulama yöntemine, toprağın fiziksel özelliklerine, bitki türü ve gelişme durumuna bağlı olarak değişir (Kanber, 1993).

3.2 Doygun Toprakta Su Devinim İlkeleri

Bir toprak-su sistemi daima minimum enerji düzeyine ulaşmaya çalışır. İki noktada enerji düzeyleri farklı ise, enerji düzeyleri eşit olana kadar, su bir noktadan diğerine doğru hareket eder. Doygun ve doygun olmayan bir toprakta suyun hareketi toprak gözenekliliğin ve su yükünün bir işlevi olup, Darcy Yasasına uygun biçimde gerçekleşir.

Gözenekli ortamda suyun hareket etme hızı ortamın geçirgenliğinin bir göstergesi olup, bu toprağın su iletkenliği ve yaygın kullanılış şekliyle hidrolik iletkenlik olarak bilinir. Suya doygun bir toprağın hidrolik iletkenliği Şekil 3.5'teki gibi bir düzenek yardımıyla laboratuarda bozulmuş veya bozulmamış topraklarda belirlenebilir. Sabit su düzeyi sağlayan iki silindir arasına yerleştirilen topraktan geçen suyun debisi, su düzeyleri arasındaki fark ve toprak kütlesinin uzunluğu ölçülerek, elde edilen veriler Darcy Yasası eşitliği ile çözümlenir ve örnek toprağın hidrolik iletkenliği belirlenebilir.

$$v=-K(\varphi A-\varphi B)/L \qquad (3.5)$$

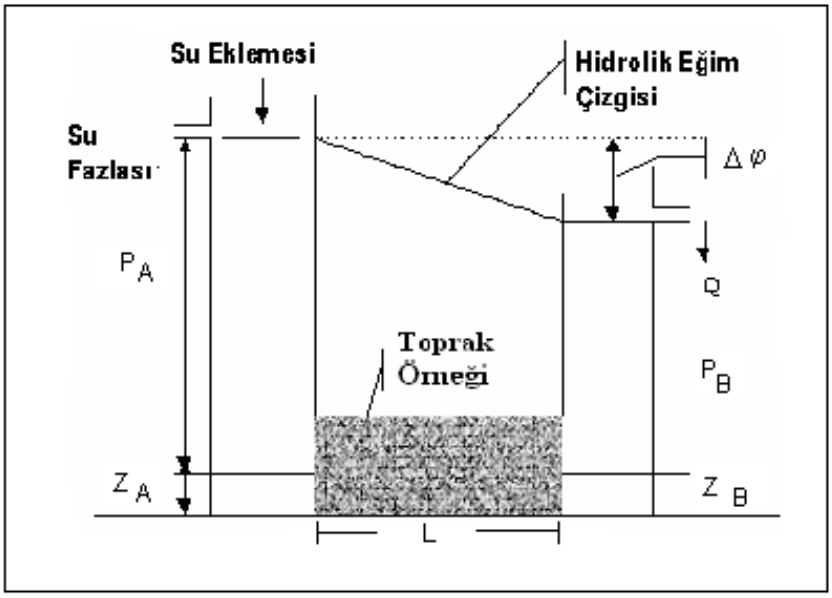
şeklinde yazılabilir. Eşitlikte, v akış hızını; K hidrolik iletkenliği; L, A ve B noktaları arasındaki mesafeyi göstermektedir. Elde edilen değerler ve Darcy eşitliği kullanılarak,

$$(\varphi A-\varphi B)/L=\Delta\varphi/L=i \text{ (hidrolik eğim)}, \qquad (3.6)$$

$$\varphi A= ZA+ PA \qquad (3.7)$$

$$\varphi B= ZB +PB \qquad (3.9)$$

$$Q=vA=KiA \qquad (3.10)$$



Şekil 3.5 Darcy yasasının şekille açıklanması

yazılır. Eşitliklerde, v hız cm s^{-1} veya m $gün^{-1}$; Q debi cm^3s^{-1} veya m^3 $gün^{-1}$; i hidrolik eğim (boyutsuz); K hidrolik iletkenlik cm s^{-1} veya m $gün^{-1}$' dür.

Elde edilen ilişkiden de görüleceği gibi toprak kütlesinden geçen su miktarı toprak kütlesinin uzunluğu ile ters, hidrolik eğimle doğru orantılıdır.

Drenaj sistemleri kurulacak alanlarda boru hatlarının veya drenaj kanallarının aralıklarını belirleyebilmek için toprakların hidrolik iletkenliklerinin (K) bilinmesi gerekir. Toprakların hidrolik iletkenliği bilinmeden dren aralıklarını belirlemek olanaklı değildir. Onun için drenaj sistemi kurulacak alanlarda, öncelikle toprakların hidrolik iletkenliklerinin belirlenmesi gereklidir.

Hidrolik iletkenlik ölçümleri her ne kadar laboratuarda toprak örneklerinde yapılabilirse de, doğru, güvenilir ve araziyi örnekleyen sonuçların alınabilmesi için, ölçümlerin arazide yapılması en uygun yoldur. Ne şekilde belirlenirse belirlensin, özellikle toprakların yersel dağılımlarında değişkenliğin yüksek olması nedeniyle hidrolik iletkenlik değerleri geniş bir dağılım gösterebilir. Belli bir alan için yapılacak tasarımlamada ortalama değerler kullanılır. Ayrıca hidrolik iletkenlik değerlerinin toprak derinliğine göre önemli farklılıklar gösterdiği durumlarda, drenlerin altı ve üstü için ayrı testlerin yapılması gerekir.

Bir toprağın hidrolik iletkenliği, su ile dolu gözeneklerin büyüklüğüne, geometrisine ve dağılımına bağlıdır. Gözenekler dolambaçlı, küçük ve toprakta yapılanma yeterli değilse hidrolik iletkenlik (K) değerleri düşüktür.

Onun için hidrolik iletkenlik toprakta suyun devinimini sağlayan güçlerle, engelleyen güçlerin ve dirençlerin bileşkesi olarak da tanımlanabilir. Hidrolik iletkenlik bir önceki bölümde açıklandığı gibi laboratuarda bozulmuş veya bozulmamış toprak örneklerinde veya arazide belirlenir.

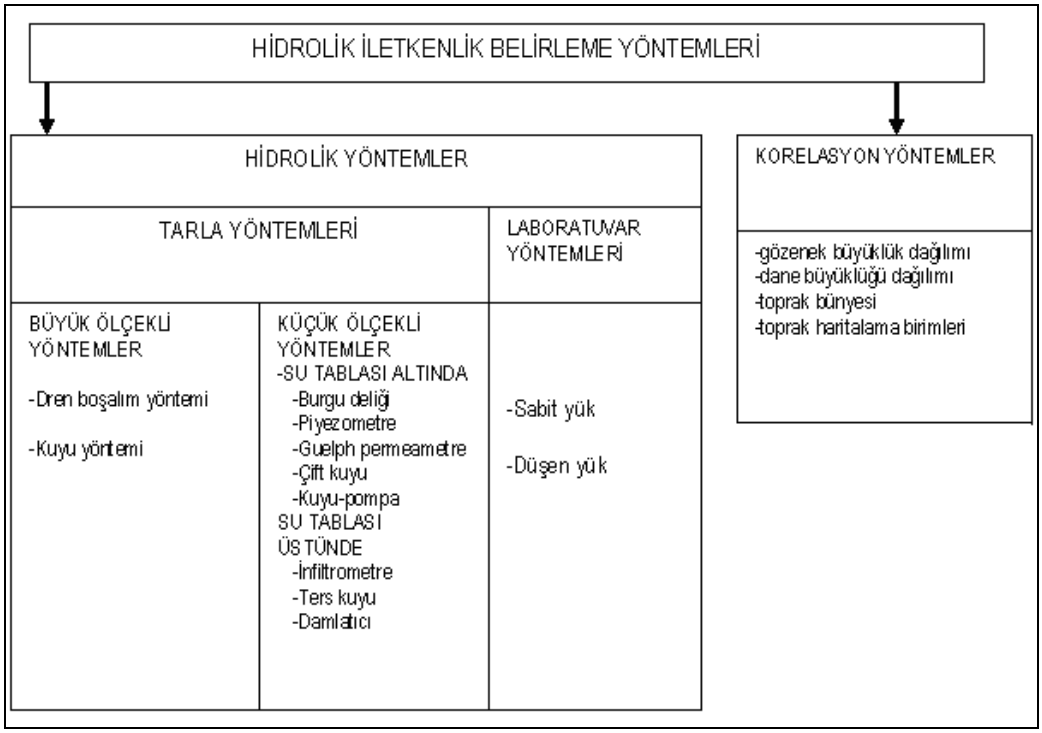
Doymuş toprakların hidrolik iletkenlik (K) değeri genellikle toprağın toplam gözenek hacmi ve geometrisi ile yakından ilişkilidir. Bitki kökleri veya diğer yarık ve çatlaklar K değerini önemli düzeyde etkileyebilir. Diğer taraftan aynı arazide hidrolik iletkenlik (K) değeri hem derinlikle hem de yatay aralıklarla önemli düzeyde değişebilir. Çünkü derinlikle ve yatay uzaklıklarda toprağın bünyesi ve yapısı değişir.

Hidrolik iletkenliğin belirlenme yöntemleri, hidrolik ve korelasyon yöntemler olarak iki ana grupta incelenebilir. Hidrolik yöntemler de tarla veya laboratuar yöntemleri olarak iki grupta ele alınabilir. Yöntemleri Şekil 3.6'da verildiği gibi sınıflamak olanaklıdır.

Herhangi bir drenaj alanında değişik yöntemlerle elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri tasarımlamada kullanılırken proje alanını temsil etme düzeyinin ne olduğunun bilinmesi istenir. Bir noktadaki K değerinin çalışma alanını ne düzeyde temsil ettiği sistemin işlevini yerine getirebilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Çünkü test alanının büyüklüğü, sıklığı ve tarla veya laboratuarda yapılmasına göre temsil yeteneği değişir.

3.3 Hidrolik İletkenlik ve Ölçüm Yöntemleri

Toprakların hidrolik iletkenlik ölçüm yöntemleri laboratuarda ve arazide olmak üzere ve laboratuar yöntemleri ise bozulmuş veya bozulmamış toprak örneklerinde yapılmasına göre sınıflandırılır. Bu yöntemlerin sınıflanması şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6 Hidrolik iletkenlik ölçüm yöntemlerinin sınıflaması (Ritzema, 1994)

3.3.1 Laboratuar yöntemleri

Laboratuar koşullarında toprak geçirgenliğinin saptanması için drenaj alanlarındaki toprakları temsil edebilecek yerlerden, farklı derinliklerde yatay ve düşey konumda alınan bozulmuş veya bozulmamış toprak örnekleri laboratuara getirilerek geçirgenlikleri saptanma işlemleri laboratuar yöntemleri olarak adlandırılır. Bunlar;

3.3.1.1 Bozulmamış toprak örneklerinde geçirgenliğin saptanması

Bozulmuş toprak örneklerinde belirlenen geçirgenlik değeri, toprağın arazide sahip olduğu doğal koşulları yansıtmadığından drenaj projelerinde veri olarak kullanılması sakıncalar doğurur. Ancak bu veriler bazı özel amaçlar için kullanılabilirler.

Drenaj etüt ve projelemelerinde, doğal koşulları mümkün olduğu kadar yansıtan bozulmamış toprak örneklerinde ölçülen geçirgenlik değerleri kullanılır. Toprağa çakılan çelik silindirler içerisine alınan bozulmamış toprak örnekleri laboratuarda test edilerek geçirgenlik değerleri saptanmaktadır.

Laboratuarda bozulmamış toprak örneklerinde geçirgenliği saptamak amacıyla

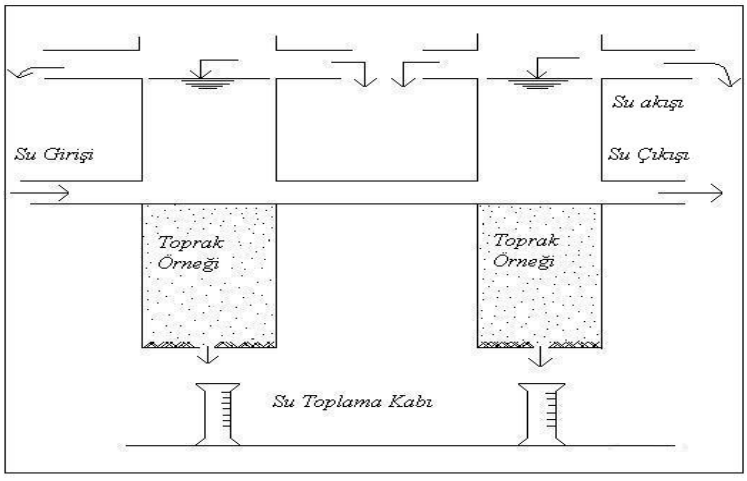
1. Sabit seviyeli

2. Değişken seviyeli permeametreler geliştirilmiştir

Sonuçların doğruluğu ve kalitesi örneklerin alındığı yerleri temsil yeteneğine bağlıdır. Topraktaki değişkenlik nedeniyle örnekler çok sayıda ve her noktadan 2-3 yinelemeli olarak alınmalıdır. Bozulmamış örneklerin alınması sırasında çok özen gösterilmeli, örneklerin dağılmasına izin verilmemelidir. Bozulmamış örnekler genel olarak iç çapı 5 cm olan 100 cm^3'lük çelik silindir şeklindeki kaplarla alınır. Örnekleme kapları açılacak basamaklı bir boy çukurunda yatay ve düşey yönde çakılarak alınan örneklerde, hem düşey hem de yatay hidrolik iletkenlik değerleri (K) belirlenebilir.

3.3.1.2 Sabit su düzeyli permeametre yöntemi

Bozulmuş veya bozulmamış toprak örneklerinde yapılır. Hidrolik iletkenlik ölçümü; suyun toprak örneğinden geçerken meydana gelecek yük kaybının belirlenmesi temel ilkesine dayanır.



Şekil 3.7 Bozulmuş toprak örneklerinde geçirgenliğin saptanması

Test süresince sabit su yükü uygulanarak, yük kaybı kayıtlarından hidrolik iletkenlik belirlenir. Örnekler test öncesi su ile doyurularak toprak içinde hava

kabarcıklarının kalmaması sağlanır. Orta ve kaba bünyeli topraklarda uygulanması önerilmektedir.

Silindir içine konan toprak üzerinde şekilde görüldüğü gibi bir su yükü oluşturulur. Fazla bir boru yardımıyla uzaklaşır. Belirli zaman aralıklarında suyun miktarı ölçülür. Örneğin geçirgenliği Darcy yasası yardımıyla belirlenir.

Arazi koşullarını temsil edebilecek yerlerden farklı derinliklerden alınan bozulmuş toprak örnekleri laboratuara getirilerek kurutulur ve 2 mm'lik elek altına geçen toprak alınarak özel kaplardaki filtre malzemesi üzerine konur. Kaplar giriş ve çıkış ağızlarından birbiriyle bağlanır. Kaplar üzerinden akan suyun toprak örneği içerisinden geçerek sızan miktarı belirli sürelerde bir kap yardımıyla ölçülür. Bozulmuş toprak örneklerinin geçirgenlik değeri Darcy eşitliğinden yararlanılarak hesaplanabilir.

Örnek soru

Şekildeki düşey toprak kesitinin uzunluğu 50 cm, yarı çapı 5 cm'dir.

a- 2 saatte 5 litre su toplandığına göre toprak örneğinin hidrolik iletkenliğini,

b- K= 2.0 cm h^{-1}, olduğuna göre toprak kolondan bir günde akan suyun miktarını bulunuz.

Çözüm :

a- Darcy eşitliği Q=AKi,

$A=(0.05)^2 \times 3.14= 0.0246\ m^2$

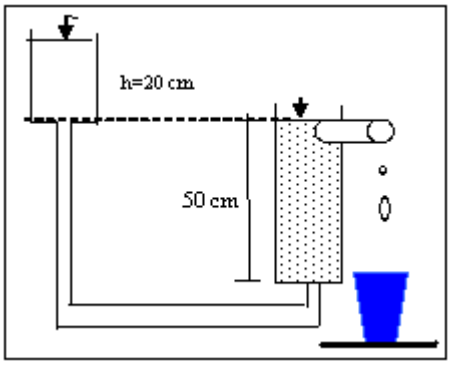
i=h/L, L=50 cm

i=20/50 =0.4

Q=5/2 =2.5 L h^{-1} ve 0.0025 m^3 h^{-1} Buradan

K= 0.0025 / (0.0246 x 0.4)

K= 2.54 m h^{-1} bulunur



Şekil 3.8 Sabit düzeyli permeametrede hidrolik iletkenliğin belirlenmesi

b- Yine Darcy yasası yazılarak, Q=AKi

K=2 cm h^{-1} = 2 x 24 = 48 cm $gün^{-1}$=0.048 m $gün^{-1}$

i=20/50=0.4

Q= 0.0246 x 0.4 x 0.048

Q=0.0047 m^3 $gün^{-1}$ bulunur.

Örnek 2.

Verilenler:

Şekil de gösterilen sabit su düzeyli permeametre aletinde toprak örneğinin geçirgenlik, değeri belirlenecektir. Toprak örneğinin çapı 10 cm'dir. Denemede 20 dakikada topraktan geçen su miktarı 240 cm^3 olarak ölçülmüştür.

İstenen: Bu toprak örneğinin geçirgenliğini hesaplayınız

Çözüm:

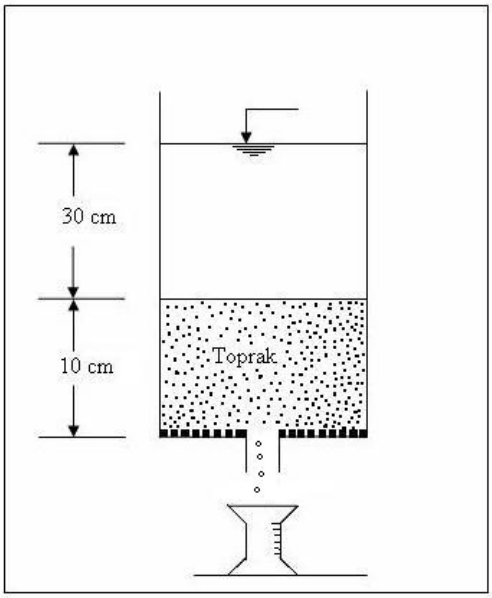
Toprak örneğinin geçirgenliği Darcy eşitliği, yardımıyla hesaplanabilir. Darcy eşitliği,

Q = A.K.i olduğuna göre, geçirgenlik değeri,

$$K = \frac{Q}{A} \times i$$

Hidrolik eğim, $i = \frac{(10+30)}{10} = 4$

Topraktan geçen su debisi, $Q = \frac{240 cm^3}{20 \min} = 12 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$



Şekil 3.9 Örnek 1.1.'e ait sabit seviyeli permeametre

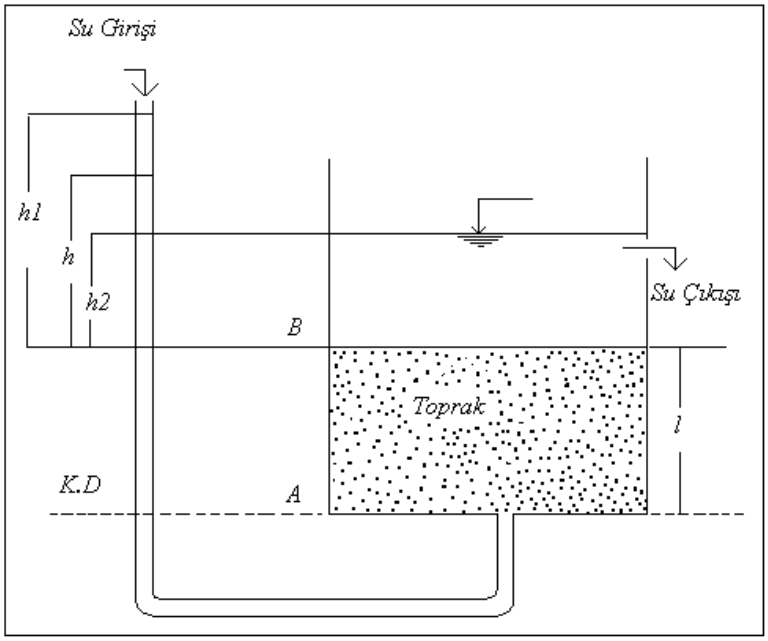
Toprak örneğinin kesit alanı, $A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \times 10^2}{4} = 78.5 \text{ cm}^2$

Geçirgenlik, $K = \frac{12}{78.5} \times 4 = 0.038 \text{ cm min}^{-1}$

K= 2.29 cm h^{-1}

3.3.1.3 Değişken su düzeyli permeametre yöntemi

Geçirgenlikleri düşük olan ağır bünyeli topraklardan geçen su miktarı az olduğu için, bu toprakların geçirgenlik değerleri genellikle değişken seviyeli permeametre ile ölçülür. Kısa sürede, hidrolik yükü arttırarak toprak örneğinden geçen su miktarını yükseltmek bu yöntemin esasını oluşturmaktadır. Bu alette toprak örneği içerisinden geçen suyun miktarı, denemeye giren suyun geçtiği borudan ölçülerek saptanmaktadır.



Şekil 3.10 Değişken su düzeyli permeametre

$$\frac{dQ}{dt} = A.K.i \qquad (3.11)$$

Eşitlikte;

$H_A=(h+L) + 0$, $H_B=L+0$ buradan

$= (H_A-H_B)/L$ ve $i =h/L$ olmaktadır. Dolayısıyla

$dQ_1=A.K.(h/L) \times dt$ (3.12)

Cam borudan geçerek toprak örneğine giren su miktarı;

$dQ_2=(ah_0-ah_1)$, $dQ_2=a(h_0-h_1)$ (3.13)

(h_0-h_1)= dh değeri (2.3) eşitliğinde yerine konarsa

$dQ_2= -adh$ (3.14)

Burada negatif işaret suyun zamanla azaldığını göstermektedir.

Borudan gelen su miktarı ile, topraktan geçen su miktarı aynı olduğundan,

$dQ_1 = dQ_2$ dir. Buradan,

$$-a \times dh = A \times K \frac{h}{L} \times dt$$

$$\frac{-dh}{h} = \frac{A.K}{a.L} \times dt$$

Değişken seviyeli permeametrelerde toprak geçirgenliği eşitliği;

$$K = 2{,}3\frac{a.L}{A.t}\log\frac{h_0}{h_1} \qquad (3.15)$$

elde edilir.

Örnek 1.2.

Verilenler: Değişken seviyeli bir permeametrede toprak örneğinin çapı 8 cm, yüksekliği 15 cm'dir. Permeametre borusunda su 70 dakikada 90 cm den 20 cm ye düşmektedir.

İstenen : Permeametre borusunun çapı 1 cm olduğuna göre toprak örneğinin geçirgenlik değerini hesaplayınız.

Çözüm:

Değişken seviyeli permeametrede toprak geçirgenliği

$K = 2{,}3\frac{a.L}{A.t}\log\frac{h_0}{h_1}$ eşitliği ile hesaplanmaktadır;

Permeametrenin boru kesit alanı,

$$a = \frac{3.14 \times 1^2}{4} = 0.785 \text{ cm}^2$$

Toprak örneği kesit alanı,

$$A = \frac{3.14 \times 8^2}{4} = 50.24 \text{ cm}^2$$

$$K = 2{,}3 \times \frac{0.785 \times 15}{50.24 \times 70} \times \log\frac{90}{20} = 0.0503 = 0.301 \text{ cm h}^{-1}$$

Değerlendirme

Laboratuar testleri ile K değeri belirlenmesi küçük örnekler kullanılarak yapılır. Çok sayıda örnek almak maliyeti ve iş gücünü arttırır. Daha büyük bozulmamış

örnekler almak için ekipmanlar geliştirilmiştir. Ancak bunlar sıradan drenaj araştırmaları için uygun değildir.

Geçirgenliği çok düşük olan ağır killi topraklarda örnekler yarık ve çatlaklara rastlarsa, çok yüksek K değerleri elde edilir. Laboratuar testleriyle yüksek değişkenliği olan sonuçlar elde edilir. Bu yüzden, genellikle tarlada ölçülen K değerleri laboratuarda elde edilenlere yeğlenmektedir.

Sonuç olarak laboratuar koşullarında belirlenen hidrolik iletkenlik değerleri toprakların hidrolik özelliklerini belli bir düzeyde yansıtmasına karşılık, arazi koşullarını tam olarak yansıtmadığı gibi, elde edilen sonuçlar çok geniş bir değişkenlik göstermektedir. Ayrıca örneklerin hacmi büyüdükçe daha çok emek ve işgücü gerekmekte, dolayısıyla uygulanabilirliği azalmaktadır. Buna karşın işlemin kolaylığı ve tasarımlamanın başlangıcında bir fikir vermesi bakımından yararlıdır.

Derin toprak tabakalarından alınacak örneklerde yapılacak ölçümlerle toprak katlarının geçirgenliklerini birbirleriyle kıyaslama olanağı vermesi bakımından yararlıdır.

3.4 Arazi yöntemleri

Doğru ve güvenilir sonuçlar arazide yapılacak sınamalarla elde edilebilmektedir. Arazi sınamaları toprak özelliklerine bağlı olarak yeteri sıklıkta yapılmalıdır. Arazide yapılan hidrolik iletkenlik ölçümleri kapladığı alanın büyüklüğüne göre küçük ölçekli ve büyük ölçekli, su tablasının konumuna göre de su tablasının altında ve üstünde olmak üzere sınıflandırılır.

3.4.1 Küçük yer kaplayanlar

Küçük ölçekli yöntemler; Şekil 3. 6'da görüldüğü gibi su tablası altında 5 ve üstünde 3 yöntemden oluşmaktadır. Bu yöntemlerle elde edilen K değerleri yatay ve düşey yönlerde oldukça büyük değişkenlik gösterirler. Onun için belli alanlarda belli sayılarda yapılan testlerin istatistiksel değerlendirilmesi yapıldıktan sonra kullanılması uygun olur. Küçük ölçekli yöntemlerden en yaygı olarak kullanılanı Burgu Deliği Yöntemidir.

3.4.1 Burgu deliği yöntemi

Bu yöntem, doygun koşullarda hidrolik iletkenliğin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Testler toprak yüzeyinden 2-3 m derinliğine kadar, 6-8 cm çapında burgularla açılan gözlem kuyularında yapılır. Kuyunun açılmasından bir süre sonra kuyu çevresindeki sular kuyuya dolarak denge haline gelir. Bu dengeleme süresi toprak bünyesine göre farklılıklar gösterir. Genellikle, normal koşullarda, kuyunun açılmasından 24-48 saat sonra test yapılabilir.

Ağır bünyeli topraklarda kuyuların açılmasından bir gün sonra test yapılması uygundur. Hafif bünyeli kumlu topraklarda dengelenme süresi daha kısadır. Bu topraklarda kuyunun açılmasından sonra fazla beklemek kuyu kenarlarının çökmesine ve yanlış sonuçların alınmasına neden olabilir.

Yöntem kuyu derinliğindeki tüm profilin, o noktadaki su tablası altındaki ortalama hidrolik iletkenlik değerini verir. Bu yöntemde kuyudan pompa veya kova ile boşaltılan suyun, dengeye ulaşana kadar çevreden sızan suyun kuyudaki yükselme hızı ölçülür. Toprak bünyesi ne kadar ağır olursa olsun bir kuyuda 2-3 defadan fazla test yapmak sakıncalıdır. Bunun nedeni kuyu kenarlarının çökmesi ve kova ile su boşaltılması sırasında kenarların cilalanması ile kuyu kenarlarındaki doğal yapının bozulmasıdır

Yöntem taban suyu tablasının 20 cm altından kuyu tabanına kadar 30 cm çapında bir toprak kolonunun hidrolik iletkenliğini hesaplar. Bu yöntemle farklı toprak katlarının hidrolik iletkenlikleri ayrı ayrı belirlenebilir. Böyle bir işlem aynı kuyu derinleştirilerek alt kısımlarında ölçüm yapmak şeklinde gerçekleştirilir. (Van Beers, 1965). Elde edilen verilerden eşitlik ve grafikler yardımıyla hidrolik iletkenlik hesaplanır.

3.4.1.1 Yöntemin dayandığı kuram

Su tablası altına açılan bir burgu deliğinde su düzeyinin ortalama yükselme hızına bağlı olarak toprakların K değerinin belirlenebileceği bir yöntem Ernst tarafından geliştirilmiştir. Yönteme ilişkin geometri Şekil 3.11’de verilmiştir.

Anılan şekilden

$$K = C \frac{H_0 - H_t}{t} \qquad (3.15$$

yazılarak hidrolik iletkenlik hesaplanabilir. Burada;

K, doygun toprağın hidrolik iletkenliği (m gün^{-1}),

C, burgu deliğinin tabanından geçirimsiz kata kadar olan mesafe ile delikteki su düzeyinin ortalama olarak düşürüldüğü derinliğe bağlı tanımlanan bir sayı,

t, taban suyunun ilk ölçümünden sonra yükselme süresince geçen zamanı (s),

H_t, t anında taban suyu düzeyinin başvuru düzlemine olan uzaklığını (cm)

H_0, t=0 anındaki H_t' yi göstermektedir.

D>1/2 D_2 olduğunda;

$$C = \frac{4000 \frac{r}{h'}}{(20 + \frac{D2}{r})(2 - \frac{h'}{D2})} \qquad (3.16)$$

D= 0 olduğu durumda

$$C = \frac{3600 \frac{r}{h'}}{(20 + \frac{D2}{r})(2 - \frac{h'}{D2})} \qquad (3.17)$$

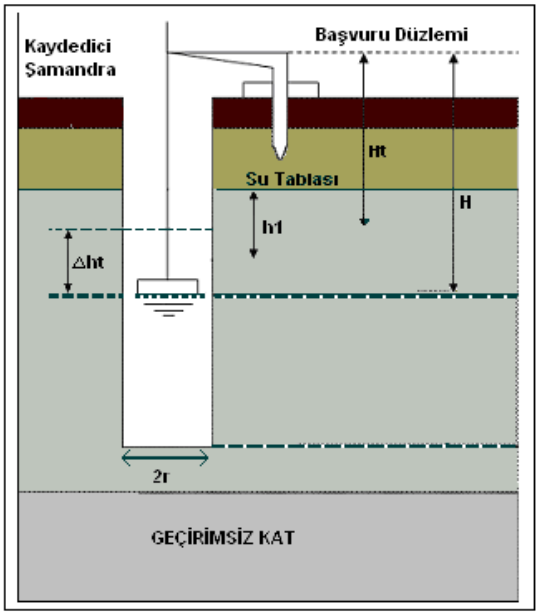
eşitlikleri uygulanır. Eşitliklerde; D, burgu deliği tabanından geçirimsiz kata kadar olan uzaklık (cm),

D_2, Su tablasından burgu deliği tabanına kadar olan derinlik cm), genellikle 20< D_2<200 olmalı

r; burgu deliği çapı (cm) 3<r<7

h'; su tablası altında burgu deliğindeki suyun ortalama derinliği (cm), h'>D2/5

Eğer 0<D<1/2D_2 ise yukarıda verilen iki eşitlikten elde edilen sonuçların ara değerinin bulunması gerekir





Şekil 3.11 Burgu deliği yönteminin geometrisi ve arazi uygulaması (ILRI, 1994)

.

Ortalama su tablası derinliği h' ;

$$h'=0.5(H_0+H_n)-D_1 \qquad (3.18)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada;

D_1; su tablasının başvuru düzeyinden derinliği (cm),

H_n; ölçümler sonunda burgu deliğindeki su tablası derinliği (cm),

Ölçümlerin doğru ve güvenilir olduğunun varsayılması;

-delik içinde suyun 20-200 cm arasında olması,

-ölçme başlangıcındaki tabansuyu düzeyinin statik seviyeye olan uzaklığı $ht>=0.2D_2$ olmalı,

-ölçme işlemi boşaltılan su derinliğinin 1/4'ünde yapılmalı,

-kuyu tabanının geçirimsiz tabakaya olan uzaklığı $0.5D_2$'den veya 10-15 cm'den büyük olmalıdır. $D>0.5\ D_2$ veya D>10-15 cm.

Sınama sonuçları $H_0-H_t<0.25(H_0-D_t)$ olduğunda geçerli olduğu varsayılır.

Örnek:

Burgu deliği yöntemine göre arazide yapılan ölçüm sonuçları aşağıda verilmiştir. Toprağın hidrolik geçirgenliğini belirleyiniz.

Kuyu içindeki su bir bailer yardımıyla boşaltılır. Aletin şamandırası kuyunun içine bırakılır. Şamandıranın su ile dengeye gelmesi ile t anındaki su tablası derinliği okunur. Örnek sınamada bu değer, 187.8 cm olarak okunmuştur. Daha sonraki okumalar belirli zaman aralıklarında yapılır. Geçirgenliği yüksek olan topraklarda daha kısa, düşük olanlarda ise daha kısa aralıklarla okumalar yapılması daha doğru sonuçlar verir.

Çizelge 3.1 Augher-hole yöntemiyle ölçüm ve hesaplamalar

No:1 Yer: Harran ovası	Tarih: 2003	
Kuyu derinliği D' Su tablası derinliği; D1 D2=D'-D1 Kuyu çapı , r Geçirimsiz kat derinliği	250 cm ölçme düzleminden 140 cm ölçme düzleminden 110 cm 4 cm D>1/4 D2	
t, (s)	H_t, (cm)	Δh_t, (cm)
0	187.8	
10	184.8	3.0
20	182.0	2.8
30	180.1	1.9
40	178 .4	1.7
50	177.4	1.3

Kontrol $H_0-H_{50}<0.25\ (H_0-D_1)$ = 187.5-177.4 =10.1<0.25 (187.5-140)=11.875

10.1<11.875 olduğundan ölçümlerin bu aralıkta yapılması uygundur.

h'=0.5(187.8-177.4)-140

h'=42.6

C= 4000 (4/42.6)/(20+110/4)(2-42.6/110)

C=4.855

K=4.855 ((187.5-177.4)/50)

K=0.98 m $gün^{-1}$ bulunur

Eğer okuma derinlikleri yukarıda belirtilen koşullara uygun yapılmazsa sınamanın yinelenmesi gerekir. Bir kuyuda en fazla üç test yapılması önerilmektedir. Daha fazla okuma yapılması halinde, kuyu çevresindeki çökmeler, hatalı sonuçlara neden olmaktadırlar.

3.4.1.2 Ters kuyu yöntemi

Suya doymamış bir toprakta doygun hidrolik iletkenliği belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Eğer toprağa çelik bir silindir çakarak sürekli su verilirse, belli bir süre sonra silindirin çakılı olduğu yerden aşağı ve yanlara doğru sızan su belirtilen bu kısımlarda toprağı doygun koşullara yaklaştıracaktır. Suyun toprağa infiltre olduğu ıslanma önünün hemen üstünde bir nokta göz önüne alındığında, burada matrik potansiyelin (hm) çok küçük bir değere sahip olduğu görülecektir. Bu noktadaki su yükü z+h olup, toplama yük farkı z+h+(hm) ve hidrolik eğim,

$$S= (z+h+(m))/z \qquad (3.15)$$

olacaktır (Şekil 3.8). Eğer z yeterince büyükse, s yaklaşık olarak değişmez sabit bir değer alacaktır. Darcy yasasında suya doygun topraklarda ortalama akış hızı su iletkenliğine yaklaşık eşittir (v=K).

Ters kuyu yöntemi yukarıda anılan ilkeyi temel alır. Toprağın içine açılan bir kuyu su ile doldurulursa zamanla kuyunun altı ve çevresi suya doyar. İnfiltrasyon hızı sabit bir değere yakalaştığında kuyu içinde suyun alçalma hızı ölçülerek hidrolik iletkenlik belirlenir. Bu işlemde toplam infiltre olan su

$$Q= v \times A \qquad (3.19)$$

olacaktır. Eşitlikte v=K alınıp yerine konursa

$$Q=K \times A \qquad (3.20)$$

elde edilir.

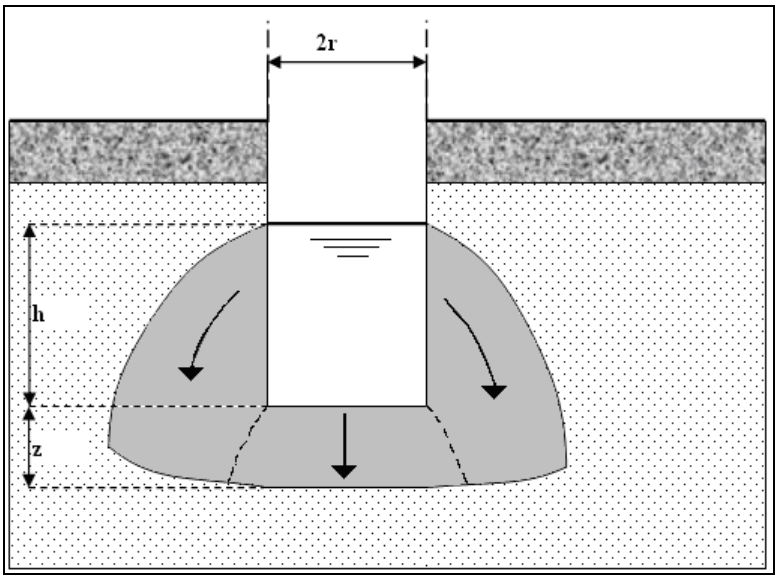
Kuyu içinde su kuyu tabanına ve yanlara doğru infiltre olduğundan;

$$A=\pi r2+2\pi \qquad (3.21)$$

$$Q==2\pi Kr(h+1/2r) \qquad (3.22)$$

Q değeri delikteki suyun alçalma hızından aşağıdaki eşitlik yazılır;

$$Q=-\pi r2dh/dt \qquad (3.23)$$



Şekil 3.8 Ters kuyu yönteminde suyun torak içinde devinimi (ILRI, 1994)

Bu eşitliklerin sol tarafları Q olduğundan birbirine eşitlenerek

2K(h+1/2r) -πr2dh/dt yazılıp integrali alınıp yeniden düzenlenerek,

$$K = 1.15r\frac{\log(ho+1/2r)-\log(ht+1/2r)}{t-to} \qquad (3.24)$$

eşitliği elde edilir.

Eşitlikte, t ölçümün başlangıcında itibaren geçen zamanı (s), ht t anında burgu deliğindeki su yüksekliğini (cm), ve ho, t=o anındaki ht değerini göstermektedir.

Eşitlikteki değerler Şekil 3.9'dan

ht=D'-Ht (3.25)

Buradan hidrolik iletkenlik (K) değeri aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

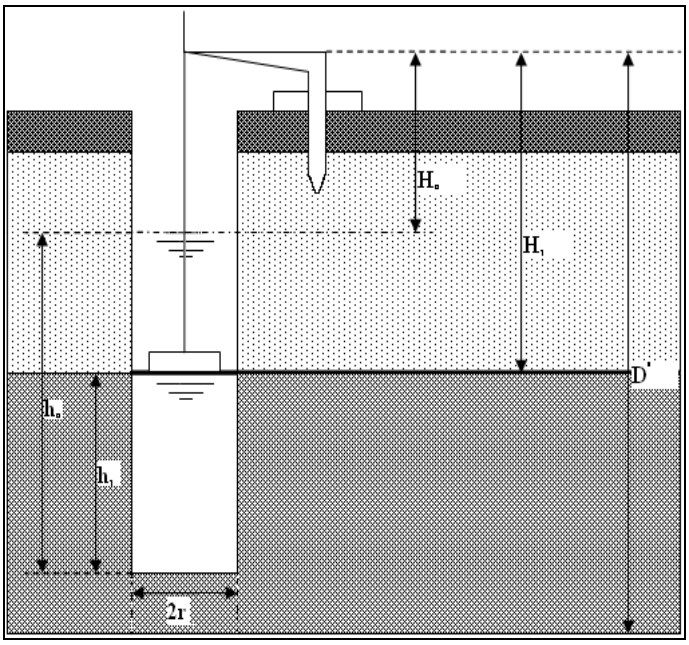
K=1.15 r tanα (3.26)

H ve t uygun aralıklarla ölçülerek K değeri hesaplanabilir.

Yarı-log bir kağıda h+1/2r logaritmik eksende, t doğrusal eksende çizilirse bir doğru elde edilir. Bu doğrunu eğimi

$$\tan\alpha = \frac{\log(ho+1/2r)-\log(ht+1/2r)}{t-to} \qquad (3.27)$$

eşitlik yardımıyla hesaplanır.

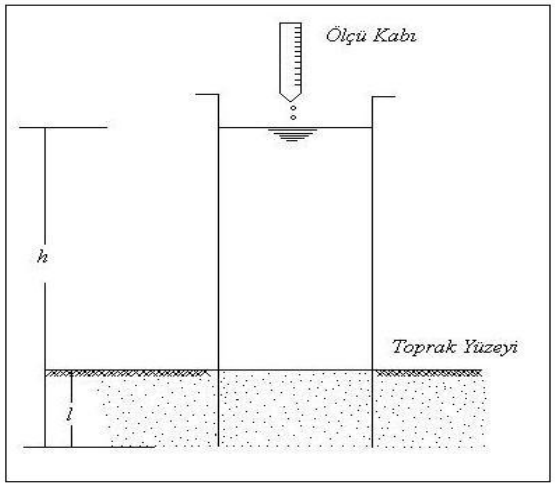


Şekil 3.12 Ters kuyu yöntemini geometrisi

3.4.1.3 Sabit su düzeyli arazi permeametresi

Arazide uygulanan basit bir yöntemdir. Permeamatre silindiri arazi yüzeyine belirli bir derinlikte çakılır. Su ile doldurulan silindirde su düzeyi değişmeyecek bir şekilde su ekleyecek bir düzenekle su eklenir (Şekil 3.10).

Bu yöntemde permeametre kabı geçirgenliği ölçülecek toprağın içerisine belirli bir derinliğe kadar çakılır.



Şekil 3.13 Sabit su düzeyli arazi permeametresi

Sabit seviyeli permeametre aleti ile geçirgenlik, katsayısı aşağıdaki eşitlikten yararlanarak bulunur.

$$k = \frac{q.l}{h.a} \qquad (3.28)$$

Eşitlikte:

k = Toprağın geçirgenlik katsayısı

q= Su seviyesini sabit tutmak için belirli bir sürede harcanan su miktarı

L = Aletin topraktaki derinliği

h= Alet tabanı ile su seviyesi arasındaki mesafe

a = Aletin kesit alanı

k=(q x L)/ (h x a) eşitliği ile hidrolik iletkenlik katsayısı hesaplanır.

Q, harcanan su miktarını, L, aletin çakılma derinliğini, h alet tabanı ile su düzeyi arasındaki mesafeyi, a kesit alanını göstermektedir.

3.4.1.4 Değişken seviyeli arazi permeametresi

Değişken seviyeli arazi permeametresinin bir örneği Şekil 1.4 de gösterilmiştir. Bu alet dairesel kesitli bir kısım ile toprağın geçirgenliğini saptamak için ölçüm işlemini yapan koni şeklinde alete bağlı bir kapak kısmından ve ince bir cam borudan oluşmaktadır. Alet çapına oranla en az 100 kere daha küçük olan bu cam borudaki su seviyesinin topraktan geçen su miktarına eşit olarak alçalmasından geçirgenlik belirlenmektedir. Bu aletle yapılan ölçüm sonuçları aşağıdaki eşitlikle değerlendirilir.

$$k = 2{,}3\frac{a.l}{A.t}\log\frac{h_1}{h_2}$$

Eşitlikte;

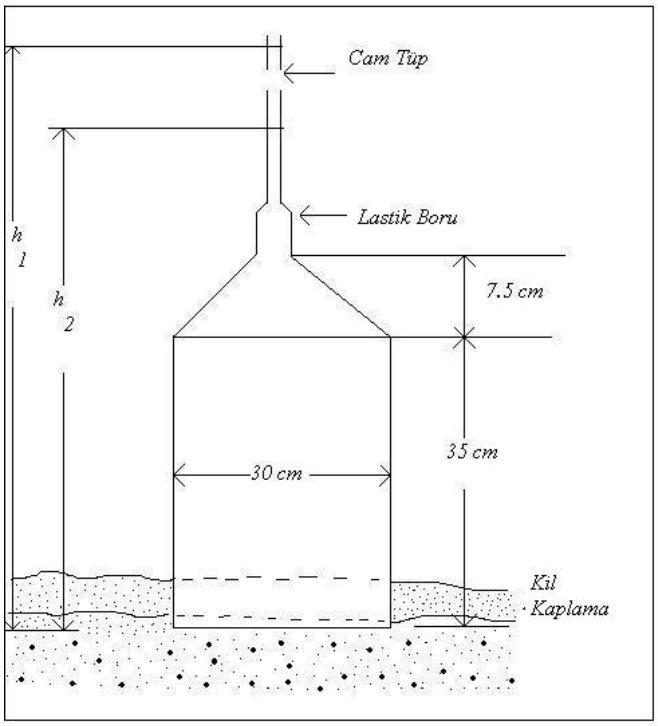
a =Cam borunun kesit alanı

A=Aletin yatay kesit alanı

l = Aletin toprağa giriş derinliği

t = İki okuma arasındaki zaman farkı

h_1 ve h_2 = Ölçüm başında ve sonunda cam borudaki su seviyeleri



Şekil 3.14 Değişken seviyeli arazi permeametresi

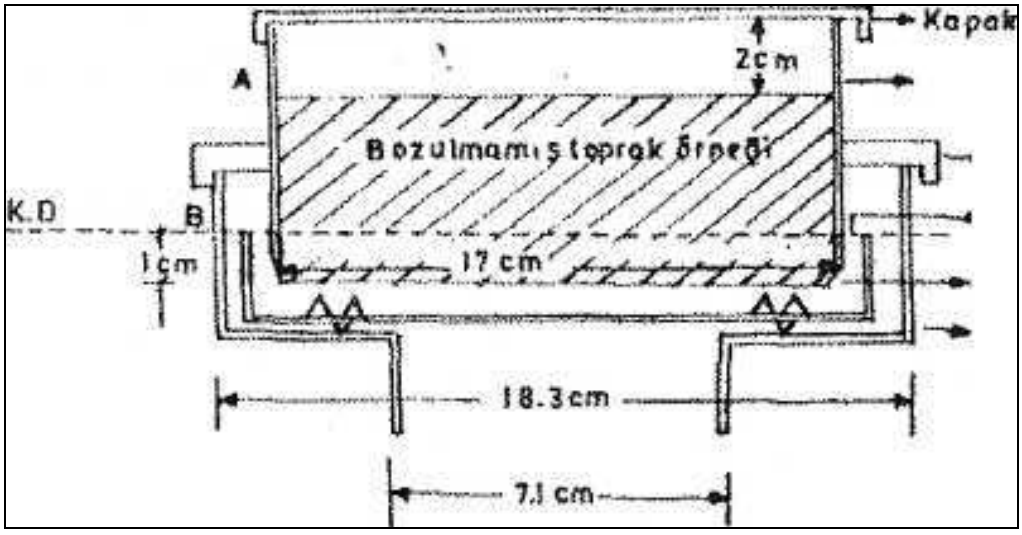
Bu aletle arazide çalışırken, alet içine su doldurulduğunda aletin yukarıya doğru kalkmasını önlemek için alet üzerine bir ağırlık konulmaktadır.

Permeametrede kullanılacak bozulmamış toprak örneklerinin küçük boyuttaki kaplarda alınması toprakta aşırı sıkışmaya neden olmaktadır. Ayrıca araziden alınarak laboratuara taşınan örneklerde ortaya çıkan hasarlar toprak örneklerinin gerçek permeabilite değerlerinin elde edilmesini oldukça güçleştirmektedir. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak amacıyla Kırkham tarafından bir arazi permeametresi geliştirilmiştir. Kırkham Ring permeametresi ile arazide yapılan geçirgenlik ölçümleri şu aşamalarda gerçekleştirilir,

Toprak örneklerinin alınması: Drenaj alanında taban suyunun üstünde bulunan toprak katmanlarından toprak örneklerinin alınması için 1 metre eninde 0.50 m boyunda ve 0.30 m derinliğinde basamaklı toprak profilleri açılmaktadır. Toprak örnekleri, açılan toprak basamaklarından yatay ve düşey yönlerde yüksekliği 7 cm,

çapı 15 cm olan çelikten yapılmış çakma silindirleri içerisine alınmaktadır. Silindirlerin içinde alttan itibaren 5 cm yükseklikte bulunan oyuk, toprak örneğinin alınma derinliğini göstermektedir. örnek alınırken, toprağın doymuş veya çok kuru olmamasına taş ve bitki kökü gibi yabancı maddelerin bulunmamasına özen gösterilmelidir. Arazide genellikle her toprak katmanından 5 cm yüksekliğinde üç örnek alınarak alt kısımları tırtıllı bir bıçakla düzeltilir, alttan ince delikli bez ve tel elekle kapatılarak içi su dolu olan doygunlaştırma kabı içerisine konur. Toprağın doygun duruma gelmesi için toprak bünyesine bağlı olarak yaklaşık 24 saat beklenir. Toprak gözenekleri içinde kalan havanın dışarı kolayca atılması için doygunlaştırma, toprağın altından yapılmaktadır.

Toprak geçirgenliğinin ölçülmesi: Çakma silindirleri içerisinde bulunan doygun toprak örnekleri 18.3 cm çapında altı düz olan hunilerin içerisine konur. Huniler 20 cm arayla açılmış raflar içerisine yerleştirilir. Rafların altına ise topraklardan sızan suyu toplayabilecek kaplar yerleştirilir.Eğer toprakların geçirgenliğinin 0.1 cm/h dan az olduğu tahmin ediliyorsa, çakma silindirleri ve huni ağzı arasına çember kapak ve silindirlerin üzerine de silindir kapağı yerleştirilerek buharlaşma önlenir.



Şekil 3.15 Kirkham Ring perrmeametresi

Silindirlerin toprak örneği üzerinde kalan 2 cm lik kısmı suyla doldurulur ve suyun toprak üzerinde kaybolması için geçen süre tespit edilir. Denemede kullanılan su taban suyu veya sulama suyu olmalıdır.

Çizelge 3.2 Toprak Geçirgenlik Değerlerini 15 °C Sıcaklıktaki Geçirgenliğe Çevirmek için Kullanılan Düzeltme Katsayıları

Su sıcaklığı (°C)	Düzeltme Katsayıları
0	1.582
5	1.340
10	1.147
15	1 .000
20	0.881
25	0.748
30	0.702
35	0.634
40	0.575
45	0.525
50	0.482

Toprakların geçirgenlik değerleri denemede kullanılan suyun viskozitesine ters orantılı olarak etki yapmaktadır. Suyun viskozitesi sıcaklıkla değişeceğinden deneme süresince, kullanılan suyun sıcaklığı periyodik olarak ölçülür. Elde edilen geçirgenlik değerleri Çizelge 1.1 de verilen sıcaklığa göre düzeltme katsayıları ile çarpılarak sonuçlar 15 °C için standart duruma getirilir.

Örnek :

Verilenler: Laboratuarda 20^0C suyla yapılan geçirgenlik katsayısı k=0.90 cm/h ve arazi koşullarında toprak suyu sıcaklığı 5^0C olarak ölçülmüştür.

İstenen: Arazi koşulundaki sıcaklık derecesine göre toprak geçirgenlik katsayısını hesaplayınız.

Çözüm: Laboratuarda elde edilen geçirgenlik katsayısının arazi koşullarına göre veya normal olarak kabul edilen 15 °C sıcaklık derecesine göre düzeltilmesi gerekir.

Çizelge 3.2'den yararlanarak,

$k_{15} = 0.881 x k_{20}$

$k_{15}=1.340 k_5$

$1.340 k_5=0.881 k_{20}$

$$k_5 = \frac{0.881}{1.340} \times k_{20} = 0.657 k_{20}$$

$k_5=0.657 \text{ x } 0.90=0.591$ cm h^{-1} elde edilir.

Toprakların geçirgenlik değerinin hesaplanması:

Darcy eşitliği;

$$Q = A \times K \times i$$

olduğuna göre, geçirgenlik değeri,

$$K = \frac{Q}{A} \times i$$

k = Geçirgenlik katsayısı (cm/h)

Q = Akan su miktarı (cm/h)

i = Hidrolik eğim

A = Kirkham silindirindeki toprağın alanı (cm^2)

Çakma silindirinin kesit alanı (A) ve silindirin üzerindeki su derinliği 2 cm olduğuna göre, permeametreden geçen su miktarı, Q = 2A/t olacaktır.

Sistemde ortalama hidrolik eğim aşağıdaki gibi hesaplanır. Su düzeyi silindirin üst uçundayken suyun A dan B ye hareketine neden olan hidrolik eğim;

$H_A = 2 \text{ cm} + 4 \text{ cm}$

$H_B= 0 + 0$

$$\dot{I}_1 = \frac{(H_A - H_B)}{L} = \frac{(6-0)}{5} = 1.2$$

Su sızıp toprağın üst yüzeyine indiğinde hidrolik eğim;

$H_A=0+4$

$H_B=0+0$

$\dot{I}_2 = \frac{(H_A - H_B)}{L} = 0.8$ olacaktır.

Bu durumda sistemin ortalama hidrolik eğimi;

$$i = \frac{i_1 + i_2}{2} = \frac{(1.2 + 0.8)}{2} = 1$$

Bu durumda Darcy eşitliği aşağıdaki şekle dönüşür.

$2A/t = A.K.i$

k=2/t (3.29)

Toprakların ortalama yatay ve düşey geçirgenliklerinin hesaplanması: Toprağın profil katmanlarından yatay ve düşey yönlerde alınan toprak örneklerinin k=2/t eşitliği yardımıyla bulunan geçirgenlik değerleri gözönüne alınarak profil katmanının yatay ve düşey yönlerdeki ortalama geçirgenlikleri hesaplanabilir.

Farklı yatay katmanlı bir toprakta ortalama düşey geçirgenlik değeri,

$$k_{ort} \frac{d_1 + d_2 + d_3}{d_1/k_1 + d_2/d_3} \quad (3.30)$$

(3.30) eşitliği ile ortalama yatay geçirgenlik değeri,

$$k_{ort} = \frac{k_1 d_1 + k_2 d_2 + k_3 d_3}{d_1 + d_2 + d_3} \quad (3.31)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitliklerde k_1, k_2, k_3 değerleri profil katmanının düşey ve yatay geçirgenliklerini, d_1, d_2, d_3 katman kalınlıklarını göstermektedir.

Dren aralıklarının hesaplanmasına ilişkin eşitliklerde, toprak içerisindeki suyun hareketinin genellikle yatay yönde olması nedeniyle toprakların yatay yöndeki ortalama geçirgenlik değerinin kullanılması daha uygun olmaktadır.

Örnek :

Verilenler; 30-60 cm toprak derinliğinden yatay yönde alınan toprak örneklerinde arazide Kirkham Ring permeametresiyle yapılan geçirgenlik tayininde 2 cm yüksekliğindeki su 1. silindirde 80 dakikada, 2. silindirde 90 dakikada, 3. silindirde 100 dakikada kaybolmuştur.

İstenen: Bu toprak katmanının geçirgenlik katsayısını hesaplayınız

Çözüm:

Toprağın geçirgenlik katsayısı

k = 2/ t

k = 2/80, = 0.024 cm/min

k_2= 2/90 = 0.022 cm/min

k_3=2/100 = 0.020 cm/min

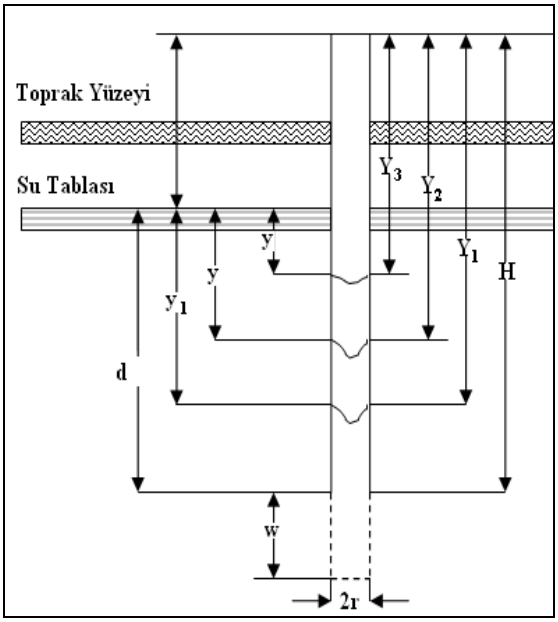
$$k_{ort} = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3} = \frac{0.024 + 0.022 + 0.02}{3} = 0.028$$

$$k_{ort} = 1.68 \text{ cm min}^{-1}$$

3.4.1.5 Piyezometre yöntemi

Eğer topraktaki belli bir katın hidrolik iletkenlik değeri ölçülmek istenirse bu durumda piyezometre yöntemi kullanılır. Piyezometreler iki ucu açık 3-8 cm çaplı boruların toprağa dik olarak gömülmesi ile tesis edilir. Piyezometrenin alt ucunda 5-10 cm boşluk bırakılır (w). Boşluk ya boru toprağa çakılırken ucuna yerleştirilen konik uçlu parça çakma işlemi sonunda başka bir boru ile aşağı itilerek veya bir burgu ile açılır. Bu boşluktan boru içine giren suyun, boru içinde yükselme hızına dayanarak piyezometrenin alt ucunun bulunduğu noktadaki toprağın su iletkenliği belirlenir. Bu boşluk çeperlerinin göçmemesi için gerekirse bu bölüme delikli bir boru yerleştirilir (Şekil, 3.11).

Boru içinde yükselen su bir pompa yardımıyla boşaltılarak suyun boruda yükselme hızı eşit zaman arlıklarında ölçülür. Sonuçların doğruluk düzeyinin artması için denge düzeyine yakın ölçümler yapılmamalıdır. En doğru sonuçlar borunun su altında kalan kısmının yarısı dolmadan yapılan ölçümlerden alınmaktadır. Bu koşulları sağlayan 4-5 ölçüm elde edilince hesaplamalar yapılır. Elde edilen sonuç piyezometrenin alt ucundaki boşluğun çevresindeki toprağın yatay yöndeki hidrolik iletkenliğidir.



Şekil 3.16 Piyezometre yönteminin geometrisi

$$K = \frac{\pi r^2}{St} \ln \frac{y_1}{y_2} \qquad (3.32)$$

K, hidrolik iletkenlik (cm h^{-1}) , r boru iç çapı (cm), şekil faktörü, boru iç çapı ve oyuk uzunluğunun bir işlevi olup aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$S = \frac{2\pi w}{\ln\left\{\frac{w}{2r} + \sqrt{1 + \left(\frac{w}{2r}\right)^2}\right\}} \qquad (3.33)$$

t, su düzeyinin y1'den y2'ye yükselmesi için geçen süre (saat), y1, y2 boru içindeki su düzeyinin su tablası düzeyine olan uzaklığı, (cm).

3.4.1.6 İnfiltrasyon

Suyun toprak yüzeyinden bitki kök bölgesine düşey boyutta giriş hızı olarak tanımlanan infiltrasyon, sulama sistemlerinin planlanmasında kullanılan çok önemli; ancak tarla koşullarında doğru olarak belirlenmesi ve özellikle yersel ve zamansal değişiminin kestirimi, çok zor olan bir hidrolik ölçüttür. İnfiltrasyon hızı, cm h^{-1} veya mm h^{-1} birimleri ile ifade edilir. İnfiltrasyon kapasitesi, hidrologlar tarafından ortaya atılmış bir terimdir. Sonradan toprak fizikçileri, bunun yerine infiltrasyon hızı terimini önermişlerdir. Anılan terim, sulama açısından çok daha uygun ve gerçekçi bir tanımlamadır.

3.5.1.7 İnfiltrasyon eşitlikleri

İnfiltrasyon olayını açıklamak için çok sayıda eşitlik geliştirilmiştir. Bu eşitliklerin çoğu, ampiriktir ve deneysel sonuçlara uydurmak için elde edilmişlerdir. Sistem planlanmasında kullanılan kimi önemli eşitlikler, aşağıda özetlenerek verilmiştir.

(a) Kostiakov eşitliği

İlk oluşturulan eşitliklerden birisidir. Kostiakov tarafından 1932 yılında geliştirilmiştir. Buna göre,

$$Z = a(t)^b \qquad (3.34)$$

$$I = K(t)^{-n} \qquad (3.35)$$

Burada; Z, infiltre olan su derinliği, cm; t, infiltrasyon süresi, dak; a ve b, ise toprağın hidrolik özelliklerini yansıtan ampirik katsayılar. Kostiakov eşitliği, özellikle, bir kaç saatlik çok kısa sürelere ilişkin tarla infiltrasyon ölçümlerini değerlendirmek için geliştirilmiştir. Gerçekten anılan yöntem, bir kaç saatten daha uzun dönemlerde elde edilen verilerle daha iyi uyum sağlar ve onları, sulama sistemleri planlaması için kabul edilebilir hale getirir.

(b) Kostiakov-Lewis eşitliği

Değinilen eşitlik uzun süreli infiltrasyon ölçümlerinin, yaklaşık 1000 dakika veya daha uzun, değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiştir.

$$Z = a(t)^b + f_o(t) \qquad (3.36)$$

$$f_o = (Q_i - Q_f)/L \qquad (3.37)$$

3.5.2 Büyük ölçekte yer kaplayan yöntemler

Büyük ölçekli testlerin biri dren boşalım yöntemidir. Geniş alanlar kapladığı için daha doğru ve güvenilir sonuçlar veren bu yöntemde, drenaj sorunu içeren alanlarda seçilen bir deneme alanında döşenen emici borularda dren boşalımı ve taban suyu düzeyi ölçümleri eş zamanlı olarak yapılır. Test alanları mevcut drenaj sisteminde seçilecek emici drenler olabileceği gibi, yeniden inşa edilen test alanları da olabilir. İki emici drenin orta noktasına kurulan gözlem kuyularında taban suyu düzeyleri ve emici drenden oluşan dren verdileri, dren çıkış noktasında belirli aralıklarla veya otomatik olarak ölçülür. Elde edilen veriler dren aralık eşitliklerinde yerine konarak deneme alanına ilişkin hidrolik iletkenlik hesaplanır.

Büyük ölçekli veya geniş alanlarda yapılan testlerden elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri, taban suyunun akış yollarının bozulmamış halini ve bunların doğal düzensizliğini otomatik olarak göz önüne alır. Ayrıca bu yöntemle elde edilen K değeri yatay ve düşey ölçekte bütün toprak katmanının hidrolik iletkenliğini verdiğinden elde edilen değer dren aralık eşitliklerinde doğrudan kullanılabilir.

3.5.2.1 Dren boşalım yöntemi

Bu yöntem bir veya birkaç emici drenin hizmet ettiği alanı kaplayabilir. Geniş alanlar kapladığı için elde edilen sonuçlar alanın özelliklerini yansıtacağından ortalama bir değer olarak daha güvenli bir şekilde kullanılır. Denemeler drenaj sorunun olduğu alanlarda proje alanını temsil eden bir alanda yapılır. Eğer bölgede önceden kurulmuş yüzey altı drenaj sistemi varsa öncelikle bu sistemden yararlanılması daha uygundur. Drenaj sisteminin olmadığı durumlarda kurulacak pilot deneme tarlalarında hidrolik iletkenlik yanında toprağın diğer özellikleri de belirlenebilir.

Yöntem, seçilen bir emici drenin başlangıcı yakınında, ortasında ve sonunda emicinin iki yanında, ona dik konumda ve iki drenin orta noktasında gözlem kuyuları

oluşturularak, taban suyu düzeylerinin ve dren boşalımlarının eş zamanlı olarak ölçülmesi ile elde edilen h-q değerlerinin kararlı veya kararsız dren aralığı belirleme eşitliklerinde yerine koyarak hidrolik iletkenliğin belirlenmesine dayanır.

Ölçümlerden elde edilen h ve q değerleri aşağıda verilen kararlı akış eşitliğinde;

$$q = \frac{8K_2\, d\, h}{L^2} + \frac{4K_1\, h^2}{L^2} \qquad (3.38)$$

eşitlikte $8K_2\, d/L^2=A$ ve $4K_1L^2=B$ alınırsa eşitlik $q=Ah+Bh^2$ şekline döner. Eğer eşitliğin her iki tarafı h'a bölünürse o zaman $q/h=A+Bh$ elde edilir. Bu ise bir doğru denklemi olup bir drenaj sisteminde q ve h değerleri ölçülerek, B ve A değerleri elde edilebilir. Buradan Kd veya eğer eşdeğer derinlik biliniyorsa hidrolik iletkenlik hesaplanabilir.

Kararsız akış eşitliğinde de diğer değerler yerine konarak K değeri hesaplanır.

$$L^2 = \frac{10Kdt}{\mu}\left[\ln 1.16\frac{h_0}{h_t}\right]^{-1} \qquad (3.39)$$

Deneme alanında giriş dirençlerinin önemli düzeyde olması halinde eşitliklerde bunların da göz önüne alınması gerekir. Bu durumda Hooghoudt eşitliği aşağıdaki gibi yazılır.

$$q = \frac{2\pi K_2\, d\, h'}{L^2} + \frac{\pi K_1\, h' h^*}{L^2} \qquad (3.40)$$

$h'=h-h_e$ olup, he giriş yük kaybı

$$h^*=h+h_e \qquad (3.41)$$

dir. Eşdeğer derinlik d ise, geçirimsiz kat D, dren aralığı L ve dren çapı r_0'a bağlı olarak hesaplanır. Kuramsal olarak hesaplanan boru çapı düzeltilerek r_0 yerine ıslak çevre $r'=r_0+h_e$ kullanılması önerilmektedir.

Bu yöntemin geniş yer kaplaması, zaman alıcı olması uygulanmasını sınırlamaktadır. Ayrıca eşitlikteki diğer parametrelerin de doğru belirlenmesi gerekir. Bu bakımdan drenaj sorununun ortaya çıkması beklenen alanlarda sorunun en yoğun olduğu yerlerde kurulacak tüm alanı örnekleyen deneme alanlarından elde edilecek verilerle, tasarımlamalarda düzeltmeler yapılarak daha işlevsel çalışmalar geliştirilir.

3.5.3 Korelasyon yöntemler

Bu yöntemler toprakların hidrolik iletkenliğini etkileyen fiziksel özelliklerinden yaralanılarak hidrolik iletkenliğin kestirilmesi şeklinde yapılmaktadır.

3.5.3.1 Gözenek büyüklüğü dağılımı

Gözenek büyüklüğü, dağılımı ve sürekliliği toprağın hidrolik iletkenliğini büyük bir oranda etkilemektedir. Ancak yine de gözeneklilik özelliklerinin incelenmesiyle elde edilen K değerlerinin uygulamada yeterli bir kullanım alanı bulduğunu söylemek güçtür.

Kesin değerler olmamasına karşın elde hiçbir verinin bulunmadığı durumlarda kullanılabilecek hidrolik iletkenlik (K) değerlerine ilişkin bazı veriler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

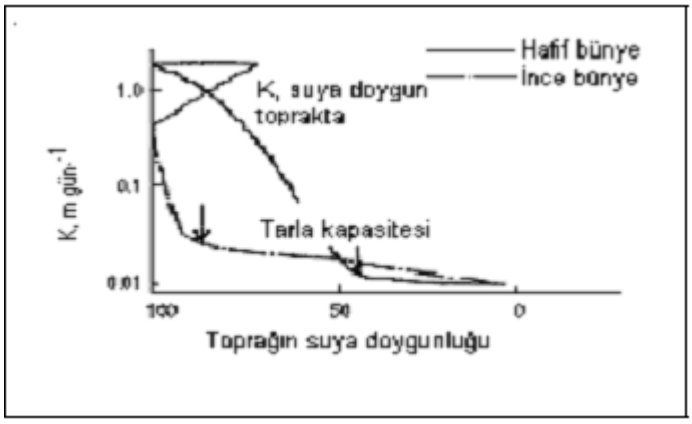
Çizelge 3.3 Değişik toprak bünyeleri için hidrolik iletkenlik değerleri (Smedema ve Rycroft 1983).

Toprak bünyesi	K_{sat} m gün^{-1}	Toprak bünyesi	K_{sat} m gün^{-1}
Kaba kum	10-50	Çok ince kumlu tın	0.2-0.5
Orta kum	1-5	Killi tın-kil, zayıf yapılanma	0.02-0.2
Kumlu tın-ince kum	1-3	Ağır kil, çatlak ve gözenek yok	<0.002
Kil-killi tın-kil iyi yapılanmış	0.5-2.0		

Toprağın tane büyüklüğü dağılımı; sistematik ve sürekli gözenekliliğe sahip olmayan kumlu topraklarda geçirgenlikle tane dağılımı arasında ilişki bulunmaktadır.

Tane büyüklük dağılımından K değerinin hesaplamasında da değişik tane büyüklük sınıflarının spesifik yüzey oranları (U) kullanılır. U-oranı toprağın birim

kütlesi başına düşen toprak parçacıklarının toplam yüzey alanı olarak tanımlanır. Bu şekilde elde edilen K değerleri arazi drenajında nadiren kullanılır. Çünkü bir örnek, tam-granüle ve isotropik topraklar çok nadir bulunur.



Şekil 3.17 Hidrolik iletkenliğin toprak bünyesi ve toprak nem içeriğine göre değişimi (Smedema ve Rycroft, 1983).

Hidrolik iletkenlik değerleri toprak bünyesi ve nem içeriğine bağlı olarak değişir. Doygun koşullarda hafif bünyeli topraklarda hidrolik iletkenlik daha yüksektir. Nem içeriğinin azalması ile ince bünyeli bir toprakta K değerleri, kaba bünyeli bir toprağa göre daha hızlı bir şekilde azalır. Toprak nem içeriği tarla kapasitesinin altına düştüğünde olay tersine döner ve K değerleri ince bünyeli topraklarda daha yüksek değerler alır (Şekil 3.12).

3.5.3.2 Toprak haritalarından yararlanma

Seri düzeyinde yapılan toprak haritalarında bir serinin belirlenen değişik özellikleri ile hidrolik iletkenliklerinin belirli aralıkları arasında ilişkiler kurulur. Ancak bu çalışmalardan elde edilen K değerleri büyük değişkenlik gösterdiği için toprak serileri ile K değerleri arasında ilişki kurmanın sağlıklı sonuçlar vermediği belirtilmektedir.

3.5.3.3 Elde edilen sonuçların uygulanması

Hidrolik iletkenlik ölçüm sonuçları toprakların değişkenlikleri yanında uygulanan yöntemin özelliklerinden ve sınama sırasındaki belirlenemeyen

kaçınılmaz hatalardan kaynaklanan değişimler nedeniyle aynı tarla da bile 10 kata varan farklı değerlere rastlanabilmektedir. Elde edilen bu değerlerin daha sonraki uygulamalar ve hesaplamalar için bunlardan ancak tek bir değerin seçilmesi gerekmektedir.

Bu seçim işleminde uygulanan yöntem genel olarak aritmetik ortalamanın alınmasıdır. Ancak bilindiği gibi aritmetik ortalama düzenli bir dağılım gösteren veriler için doğru sonuçlar vermektedir. Doğadaki birçok olayın gözlenmesinden elde edilen veriler ise düzenli bir dağılım göstermemektedir.

Bu durumda medyan değer ve logaritmik ortalamalar alınarak en uygun değerin belirlenmesi olanaklı olmaktadır.

Örnek:

Bir arazide ölçülen hidrolik iletkenlik değerleri 0.03, 0.25, 0.40, 0.50, 0.55, 0.95, 2.10 m/gün olarak belirlenmiştir.

Bu değerlerin ortalamaları;

-aritmetik : 0.72 Logaritmik :-0.307

-medyan değer ise 0.45”tir.

bu değerlendirmede medyan değerin,

-kolayca belirlenmesi,

-arazideki gerçek bir değeri simgelemesi,

-sonucun uç değerlerden etkilenmemesi,

-dağılımın düzgün olması halinde aritmetik ortalama ile aynı olması nedeni ile bazı üstünlüklere sahip olduğu bilinmektedir.

Yapılan değerlendirmeler sonunda hala kuşkular olması halinde sonuçlar grafik kağıdına çizilerek kuşkulu değerlerin tanınması sağlanmaktadır. Sonuçların sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi için yeterli verinin toplanmış olması gerekir. Elde edilen veriler normal olasılık kağıdına işlenir. Eğer düzgün bir doğru elde edilirse %50 değerine karşılık gelen değer ortalama olarak seçilir. Noktaların dağılımı bir doğru üzerinde toplanmazsa bu durumda değerler log-log grafik kağıdına çizilerek değerlendirilir. Aynı şekilde yeterince düz bir doğru elde edilebildiği durumda %50

değerine denk gelen değer seçilir. Bu şekilde de düz bir doğru elde edilemezse medyan değer seçilir.

3.6 Drene edilebilir gözenek hacmi

Bilindiği gibi yüzey altı (kapalı) drenaj sistemlerinin projelendirilmesinde kullanılan dren aralık eşitlikleri iki ayrı koşula dayalı olarak geliştirilmişlerdir. Bunlar "Kararlı Akış Koşulları", ile "Kararsız Akış Koşulları"dır. Her iki grup altında toplanan dren aralıklarını hesaplayan eşitliklerde "hidrolik iletkenlik", "bariyer derinliği" ve "hidrolik yükseklik" ortak parametrelerdir. Ancak kararlı akış eşitliklerinde "Drenaj katsayısı (tasarım boşalımı)" kararsız akış eşitliklerinde ise "Drene Edilebilir Porozite" her koşulun kendine özgü parametresidir.

Drene edilebilir gözenek hacmi, proje mühendisince doğru olarak belirlenmesi gereken önemli bir değişkendir. Su ile doymuş bir toprağın drene edilmesiyle boşalan su hacminin (V_{su}), boşaldığı toprak hacmine (V_{toprak}) oranı olarak tanımlanır. Oransal bir değer olup yüzde olarak verilir ve (μ) ile gösterilir. Değişik kaynaklarda etkili porozite, drenaj porozitesi, veya özgül verim ve depolama katsayısı olarak da adlandırılır. Kararsız akış eşitliklerinin kullanıldığı durumlarda sonuçların tutarlılığı büyük oranda drene edilebilir gözenek hacminin doğru saptanmasına bağlıdır.

Drene edilebilir gözenek hacmi tarla çalışmaları veya laboratuar çalışmaları ile belirlenebilmektedir.

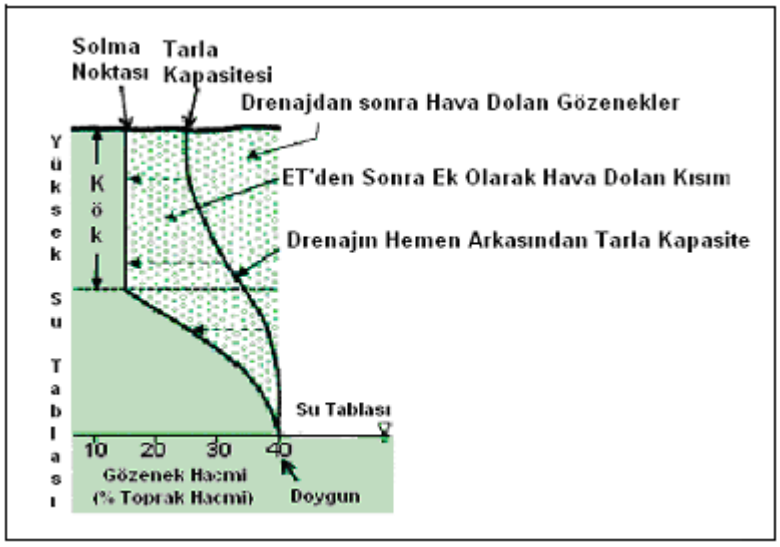
Drenaj süresince boşaltılan suyun hacmi ile drene edilen toprak hacmi arasındaki oran olarak ifade edilen drene edilebilir porozitenin, arazi veya laboratuar koşullarında saptanmasına yönelik güvenilir, kesin, kolayca uygulanabilir pratik bir yöntem bugüne kadar geliştirilememiştir. Bu yüzden drenaj tasarımlaması yapan mühendisler söz konusu parametreye kolay ve güvenilir olarak ulaşamamakta ve kararsız akış koşullarına ilişkin eşitliklerini kullanmaktan kaçınmaktadırlar.

3.6.1 Arazi koşullarında drene edilebilir gözenek hacminin belirlenmesi

Bir topraktan drene edilen su miktarı su tablasının üstündeki nem azalmasına eşittir. Toprağın nem azalma eğrisi, su tablasındaki düşüşe bağlı olarak drene olan su miktarları Şekil 3.13'te belirtildiği şekilde değişecektir.

Drene edilebilir gözenek hacmi Şekil 3.14'te görüldüğü gibi, taban suyu düzeyi I konumunda nem içeriği dengede iken, II konumuna düştüğünde bir miktar su drene olur ve yeni bir denge oluşur. Drene olan suyun (mm), taban suyu düzeylerinin iki konumu arasındaki farka bölünmesiyle (mm) drene edilebilir gözenek hacmi belirlenir.

Drene edilebilir gözenek hacminin tarla koşullarında belirlenmesine ilişkin ayrıntılı bilgiler drenajda sınama başlığa altında verilmiştir.



Şekil 3.13. Toprak su sisteminde su tablasının konumuna göre profilde nem dağılımı

Taban suyu düzeyi h_1 konumunda toprak profilindeki nem dağılımı düz çizgi ile, h_2 konumuna düştüğünde ise kesikli çizgi ve drene olan su miktarı da taralı olarak gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi toprakta tutulan nem oranı taban suyu düzeyine yaklaştıkça artmaktadır. Kuşkusuz taban suyunun düşme hızına göre nem dağılımı farklı olacaktır.

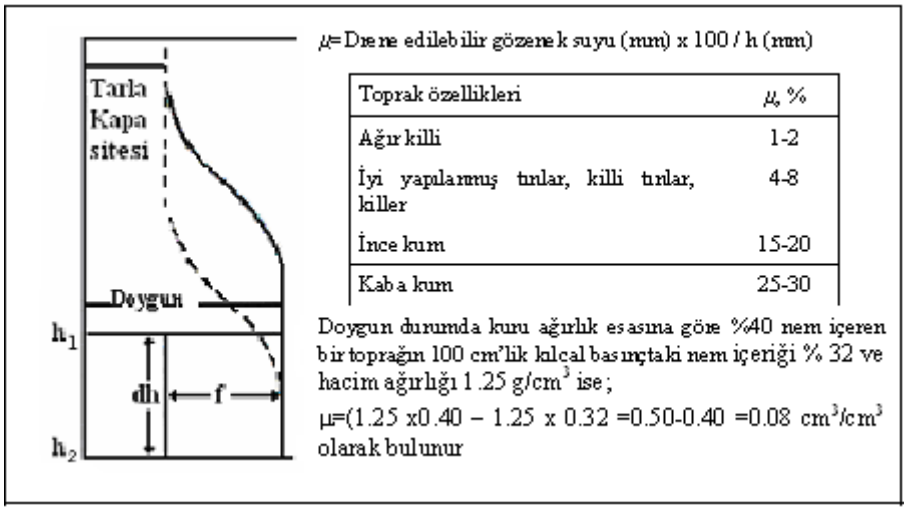
Hidrolik iletkenlik ile drene edilebilir gözenek hacmi arasında bir ilişkinin olması beklenir. Zira hidrolik iletkenlik değerleri, toprak bünyesine göre, killi topraktan, kumlu toprağa doğru artmaktadır. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar incelenirse, drene edilebilir gözenek hacmi de toprak bünyesi killiden kumluya doğru giderken kendine özgü bir artış olduğunu göstermektedir.

Tipik μ değerleri %2-10 arasında değişir. Dieleman ve Trafford (1976) μ değerini ortalama değerler olarak ince bünyeli killi topraklarda %3-5, orta bünyeli

topraklarda %6-9 ve kaba bünyeli topraklarda %10-15 arasında alınabileceğini belirtmektedirler.

Ayrıca kaba bir değer olarak literatürde μ %, k, cm/gün alınarak,

$$\mu=\sqrt{K} \qquad (3.42)$$



Şekil 3.9. Drene edilebilir gözenek hacminin şematik olarak gösterilmesi (Smedema ve Rycroft, 1983).

şeklinde bir ilişkiden söz edilmektedir. Ancak yapılan çalışmalarda anılan ilişki her toprak için doğrulanmamıştır.

Dieleman ve Trafford (1976) bir drenaj sisteminde, dren etki alanına yerleştirilen gözlem kuyularında yapılan taban suyu düzeyi ölçümleri ile bu ölçümlerle eş zamanlı olarak yapılan dren verdisi ölçümlerinden ve taban suyunun h_0 düzeyinden h_t düzeyine düşene kadar boşalan su hacminden (V) yararlanarak

$$V=0.7\mu(h_o-h_t) \qquad (3.43)$$

eşitliği ile drene edilebilir gözenek hacminin belirlenebileceğine değinmektedirler.

Drenaj sistemlerinin tasarımlamasında kullanılan hidrolik iletkenlik ve drene edilebilir gözenek hacminin belirlenmesinin en güvenilir olanları kurulacak drenaj deneme tarlalarıdır. Anılan denemelerle hem toprağın hidrolik özellikleri ve hem de bitkisel ölçütlerin belirlenmesi olanaklıdır.

Yöntem hidrolik iletkenliğin belirlenmesi için kurulan deneme alanında seçilen bir emici dren boyunca üç noktada, sağında ve solunda emici drene dik olarak oluşturulan gözlem ağı ile taban suyunun beslenmeden hemen sonra ki konumu (h_0) ve belli bir süre sonraki konumunun (h_t) ve dren verdilerinin eş zamanlı olarak ölçülmesine dayanmaktadır.

Elde edilen q ve h değerleri;

(i) Ayrı ayrı zamana karşı yarı-log ölçekli bir grafik kağıdında çizildiğinde alçalma eğrisi bir doğru parçası şeklini almaktadır. Elde edilen bu doğrulardan drenaj şiddet faktörü belirlenerek dren aralığı (Glover-Dumm) eşitliğinden drene edilebilir gözenek hacmi belirlenebilmektedir (Dieleman ve Trafford, 1976).

(ii) Su tablasının başlangıçtaki (h_0) ve belli bir süre sonraki (h_t) konumu zamana karşı grafik olarak çizilerek drene edilen toprak hacmi (V_T) ile bu dönemde drene olan su hacmi (V_s) belirlenmesiyle;

$$\mu=(V_s)/ (V_T) \text{ x } 100 \qquad (3.44)$$

eşitliği ile drene edilebilir gözenek hacmi belirlenebilmektedir (Mavi, 1983).

Bir drenaj sisteminde dren verdisi ve hidrolik yükseklik değerlerinden yararlanılarak saptanan drene edilebilir gözenek hacmi değerlerinin, diğer yöntemlerle saptananlara göre daha doğru ve güvenilir olduğu varsayılmaktadır. Belirtilen yöntemle drene edilebilir gözenek hacmini, Mavi (1982) Çarşamba Ovasında 0.06-0.07, Bahçeci (1984) Konya Ovasında iyi yapılanmış killi topraklarda 0.06 olarak belirlemiştir.

Ancak bu yöntem çok zaman alıcı olması yanında, geniş arazilere gereksinim gösterir. Ayrıca, bir ovaya ait drene edilebilir gözenek hacmi değerlerini bulabilmek için yeterli sayıda tekrarlama yapılması, gereksinim duyulan arazi miktarını çok artırır. Ancak elde edilen veri geniş alanları kapladığı için temsil etme yeteneği diğer yöntemlere göre çok yüksektir. Derine ve yatay sızmalarla, buharlaşmanın etkilerinin tam olarak belirlenememesi yöntemin diğer zayıf yanlarıdır.

Chossat (1987) hidrolik iletkenlikle drene edilebilir gözenek hacmi arasında oldukça yüksek ilişkilerin olduğunu, kil içeriğinin artmasının iki veri arasında ilişkiyi zayıflattığına değinmiştir.

Killi topraklarda drene edilebilir gözenek hacminin (i) % 2-5 ve (ii) % 1-3 arasında değişebileceği yukarıda verilen kaynaklarda belirtilmektedir. Buna göre, toprak bünyesindeki ortalama kil yüzdesi alt sınır olan (i) 0.02 veya (ii) 0.01 ile, silt yüzdesi bu bünyedeki topraklar için verilen sınırların ortalaması olan 0.06 veya 0.07 ile, kum yüzdesi ise üst sınır olan 0.16 ile çarpılarak toplanması ile elde edilen değerler, drene edilebilir gözenek hacmi olarak kabul edilebilir.

Sorular

1. Çapı 5 cm, yüksekliği 10 cm olan örnek kabında toprağın geçirgenlik katsayısı 5 cm sa^{-1} dır. Örnek üzerindeki 10 cm lik sabit su yükünde örnek kabı altındaki ölçü silindirinde 45 dakikada toplan su hacmi kaç cm^{3}' tür.

2. Bir drenaj alanında toprakların hacim ağırlığı 1.5 g cm^{-3}, tarla kapasitesi %25, saturasyon yüzdesi %45 olarak belirlenmiştir. Drenaj alanında taban suyunun 80 cm den 120 cm ye düşmesi durumunda etkin gözenek hacmini ve drene olan su miktarı hesaplayınız.

3. Geçirgenliği 2 cm sa^{-1} olan bir topraktaki taban suyu düzeyinin 50 cm alçalması sonucunda drene olabilecek su miktarını hesaplayınız.

4. Çapı 1.0 cm olan değişken seviyeli bir permeametrede toprak örneğinin çapı 5 cm, yüksekliği 15 cm permeametre borusunda su düzeyi 120 dakikada 100 cm'den 20 cm ye düştüğüne göre toprak örneğinin geçirgenlik katsayısını hesaplayınız.

5.Yarıçapı 5 cm olan örnek kabında yüksekliği 10 cm toprak örneği yerleştiriliyor. Örnek üzerindeki 50 cm' lik sabit su yükünde örnek kabı altındaki ölçü silindirinde 45 dakikada toplanan su hacmi 0.5 litre olduğuna göre toprağın hidrolik iletkenliğini belirleyiniz.

6. Bir drenaj alanında taban suyunun 40 cm'den 120 cm'ye düşmesi durumunda 5.0 cm su drene olduğuna göre; drene edilebilir gözenek hacmini % olarak hesaplayınız**.**

7. Düşey toprak kesitinin uzunluğu 50 cm, kesit alanı 200 cm^2 dir. K= 2.0 cm h^{-1}, ve su yükü h =20 cm. olduğuna göre toprak kolondan bir günde akan suyun miktarını bulunuz.

8. Arazide birer metre ara ile A noktasına 3 m ve B noktasına 6 m derinliğe çakılan 2 piyezometrede su seviyeleri toprak yüzeyinden itibaren A=1.20 m ve B=2.00 m derinlikte ölçülmüştür. Bu duruma uygun bir şekil çizerek yer altı su hareketinin yönünü göstererek açıklayınız

4. DRENAJ SİSTEMİNİN TASARIMLANMASI

Drenaj sorunu fazla sulardan ileri gelir. Fazla suların kaynağı yağış, sulama suyu ve sızma olabilir. Bir yerde drenaj sorununu çözmek için önce fazla suyun kaynağının belirlenmesi gereklidir. Çünkü, fazla suyun kaynağı drenaj sisteminin tipini belirlemede en önemli etkendir. Örneğin drenajın nedeni yağışlar ise buna yüzey drenajı, açık drenaj kanalları ve yüzey altı borulu sistem etkili olurken, yatay

sızmalara kuşaklama dreni, artezyenik basınç kaynaklı sızmalara ise pompaj kuyuları gerekir.

Eğer bir alanda fazla su varsa, bu sular yüzeyde göllenir veya zamanla toprağa sızar. Sızan sular düşük geçirimli veya geçirimsiz bir katta birikerek zamanla toprak altında taban suyunu oluşturur. Taban suyu düzeyi fazla suyun kaynağına bağlı olarak mevsimlere göre değişir. Eğer fazla suyun kaynağı yağışlar ise taban suyu düzeyi doğal olarak yağışlı dönemlerde yükselir. Fazla suyun kaynağı sulama suyu ise bu durumda taban suyu tablası sulama mevsiminde, başka bir deyişle bitki yetişme döneminde yükselir.

Sızmaların kaynağı ve nedeni değişik olabilir. Bunlar başka havzalardan, artezyenik basınçtan veya kanal sızmalarından ileri gelebilir.

Taban suyunun varlığı, derinliği toprak içinde alçalıp yükselmesi veya dalgalanması gözlem kuyuları ile sızmaların varlığı ve yönü ise piyezometrelerle izlenir ve belirlenir.

4.1 Drenaj Sistem veya Yöntem Seçimi

Bitkileri ve toprağı aşırı suyun zararlarından korumak ve uygun bir gelişme ortamı sağlamak için bitki kök bölgesinden fazla suyu drene etmede başlıca üç drenaj yöntemi vardır. Bunlar yüzey drenaj, kuyu drenaj ve horizontal yüzey altı drenajdır. Bir bölgede veya alanda bu yöntemlerden hangisinin uygulanması gerektiğine ilişkin uygun bir yöntem seçimi, ölçülebilir çevresel özellikler ve kurumsal koşullara bağlı olarak değişir. Uygun bir sistem veya yöntemin seçimi için yapılması gerekli ölçümler ve detayları ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

Bu amaçla, drenaj sistem veya yönteminin seçimi için yağış, sulama suyu, ana bitkiler, potansiyel ET, infiltrasyon hızı, yer altı suyu derinliği, yer altı suyu kalitesi ve aküferin geçirgenliğinin ölçülmesi gerekir.

Yağış, yağışlı bölgelerde taban suyu fazla yağışlardan beslenir. Yağışlar kar veya yağmur şeklinde olabilir. Ancak yağışların çok büyük bir bölümü yağmur şeklindedir. Yağışların toplam miktarları kadar şiddeti de önem taşır. Yağışların

miktar ve şiddetleri ve yersel dağılımları drenaj gereksinmesinin belirlenmesinde önemli etkiye sahiptir.

Standart yöntemlerle ölçülen günlük yağışlar potansiyel evapotranspirasyonla (ETp) karşılaştırılır.

Günlük yağışlar yılın yağışlı döneminin%80"i için hesaplanarak toprağın infiltrasyon hızı ile karşılatırılar.

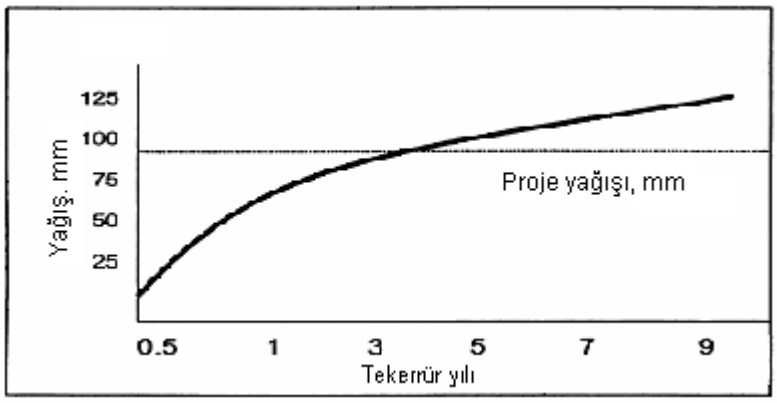
Yağışlara ilişkin veriler ülkemizde Meteoroloji Müdürlüklerinden sağlanabilir. Ancak bu veriler genellikle yerleşim yerlerine yakın yerlerde elde edildiğinden çalışma alanını tam olarak örneklemesi açısından sorun yaratabilir. Bu bakımdan verilerin alındığı iklim istasyonu ile çalışma alanı arasında uzaklığa ve yüksekliğe dayalı düzeltmelerin yapılması gerekebilir.

Onun için 30-40 yıllık yağış kayıtlarından yararlanılarak yöredeki yüksek şiddetli yağış olayları incelenerek olma olasılıklarına göre proje yağışının belirlenmesi gerekir.

Açık ve kapalı drenaj sistemlerinin tasarımlanmasında bu verilerden yararlanılır. Şekil 4.1'de 48 saatlik yağışların olma olasılıkları ve derinlikleri örnek olarak verilmiştir.

Anılan şekilden görüldüğü gibi söz konusu bölgede 48 saatte 85 mm'den fazla yağış düşme olasılığı 5 yılda birdir. Belirlenen bu yağışa dayalı olarak kanal kapasiteleri belirlenir. Yineleme süresi arttıkça kapasiteler daha yüksek ve maliyetler de ona göre yüksek olur.

Bir bölgeye veya havzaya düşen yağışların miktarının doğru olarak ve uzun süreli, yeterli sıklıkta ölçülmesi gerekir. Bütün su yapılarının doğru ve ekonomik olarak tasarımlanmasında bu veriler önemli yer tutar. Ülke düzeyindeki genel meteorolojik ölçümler bu verilerin elde edilmesinde kullanılabilir. Ancak bir çok meteoroloji istasyonu yerleşim alanları içinde kaldığından ve bunların rakımlarının daha çok alçak kotlarda olmasından ötürü bölgeyi tam anlamıyla temsil etme özelliği taşımayabilirler. Onun için değerlendirmelerde bunların göz önünde bulundurulması gerekir.



Şekil 4.1 Bir bölge için örnek için yağış frekans eğrisi (2 günlük yağış)

Yağış dağılımları ile su tablası düzeyleri arasında önemli ilişkiler olmasına karşın ölçümlerin uzun süreli olması gerekir. Yağışların yıllık dağılımları ile taban suyu düzeyleri arasındaki ilişkiler fazla suyun kaynağı konusunda karar vermemizi sağlar.

Sulama suyu; Kurak ve yarı kurak bölgelerde fazla suyun kaynağı sulamalardır. Günümüzde sulama yapılan bir çok ovada su altında kalmış toprakların olması ve bu topraklarda tuzluluğun bitki verimlerini etkileyecek düzeylere ulaşması bunun başlıca göstergesidir. Bu yüzden alana giren sulama suyunun doğru olarak ölçülmesi gerekir. Açık kanallarda veya borulu sistemlerde suyun ölçümüne yönelik değişik bir çok yöntem vardır. Elde edilen verilerden sağlanan suyun miktarı m^3/hektar-ay olarak belirlenir.

Eğer fazla su sulama sisteminden ileri geliyorsa, sulama sistemi izlenip meydana gelen sızmalar belirlenerek su tablası düzeyinin denetlenmesi için uygun sistemler belirlenmelidir.

Eğer fazla suyun kaynağı sulamalar ise taban suyu düzeyi bitki yetişme döneminde yükselir. Kurak bölgelerde anılan durum görülür. Örneğin Konya Ovasında taban suyu düzeylerinin en yüksek olduğu dönemler mayıs ve temmuz aylarıdır. Bunun nedeni mayıs ayındaki buğday, temmuzda ise şekerpancarı sulamalarıdır.

Fazla suyun kaynağının sulama olduğu alanlarda, sulamaların denetimli bir şekilde yapılması, sulama etkinliklerinin artırılması sorunun şiddetini azaltır. Kanalların beton kaplanması ve arazi düzeltimi, uygun sulama planlanması ve çiftçi

eğitimi veya su ücretlerinin hacim esasına dayalı olarak belirlenmesi de aşırı sulamaları önlenmesinde etkili olabilir.

Yüzey sulama yöntemi uygulanan alanlarda tarla düzeltiminin yeterince yapılmadığı durumlarda ve gece sulamalarında sulama etkinliği çok azalmaktadır. Böylece su kayıpları artmakta ve sulama etkinliği azalarak sulama başlangıcında derinlerde olan su tablası beklenenden daha kısa bir sürede kök bölgesine yükselerek drenaj sorunu doğurmaktadır.

Diğer taraftan sulanan alanlarda drenaj sorunu; suyu tam olarak denetleyememenin yanında, tuzları kök bölgesinden uzaklaştırmak amacıyla verilen yıkama gereksiniminden de ileri gelebilir. Bir bölgede sulama sularının tuzlu olması durumunda sürdürülebilir bir tarım için yüksek oranlarda yıkama suyu verilmesi gerekebilir. Böylece derine süzülen sular taban suyunu yükselterek drenaj sorununa neden olabilir.

Potansiyel evapotranspirasyon (ETp), bölgede yetiştirilen ana bitkilerin potansiyel su tüketimleri değişik ampirik yöntemlerle belirleneceği gibi bilgisayar modelleri ile de hesaplanabilir. Bunun için bazı meteorolojik verilerin ölçülmesi gerekir. Bunlar maksimum ve minimum sıcaklık, radyasyon, nem ve rüzgar hızı gibi değerlerdir.

Yetiştirilen ana bitkilerin suya dayanımları, su altında kalmaya karşı toleransları, etkili kök derinlikleri ve tuza dayanımları sistem seçiminde göz önüne alınmalıdır. Seçilen parametreler yeterince koruyucu olmalı ve kısa süre içindeki bitki ekim deseni değişimlerinden etkilenmemelidir.

İnfiltrasyon hızı ve yüzey akış, eğer yağış infiltrasyon hızını aşarsa toprağa giremeyen fazla su arazi üzerinde birikir. Göllenen su bitkilerin su altında kalmasına neden olur. Eğer arazi yapısı uygunsa infiltre olamayan su yüzey akışa geçer. İnfiltrasyon hızı değişik yöntemlerle ölçülebilir. Ancak, toprakların infiltrasyon değerleri arazide çok değişkenlik gösterir. Bu yüzden göz önüne alınan alan için ortalama bir değer belirlenmesi gerekir.

Yüzey akış, yağışların akarsu göl ve denizlere akan kısmıdır. Yüzey akışın belirlemesinde kullanılan çok sayıda yöntem vardır. Yağışlarla yüzey akış arasındaki ilişkileri belirlemek için uzun yıllık kayıtlar gerek vardır. Bu amaçla 10 yıllık süre az, 25 yıl uygun, 50 yıl ise optimum olarak kabul edilir. Bu kayıtlardan yararlanarak

şiddetli sağanakların süre ve frekans analizleri yapılarak her 1, 2, 3, 4, 5 , ve 10 yıl için beklenen olma olasılıkları belirlenir. Taşkınlara ilişkin verilerin gerçek bilgilere dayanması tasarımlama için önemlidir.

Buharlaşma, Buharlaşma doğrudan ölçümlerle belirlenir veya su bütçesi ve enerji dengesi yöntemleri ile kestirilebilir. Bu amaçla iklim istasyonlarında açık su yüzeyinden buharlaşmayı ölçen Class A Pan değerlerinden yararlanılır. Drenaj çalışmalarında aylık değerler kullanılır. İklim gözlemlerinden yapılan hesaplamalar buharlaşma havuzlarından elde edilen verilerin doğruluğunu güçlendirir.

Ayrıca çalışma alanına yakın bölgelerde yer alan değişik amaçlı araştırma kuruluşlarının iklim verileri yararlı bilgiler sağlayabilir. Bunun en iyi örneği olarak geçmişteki TOPRAKSU, şimdi Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitülerinin iklim istasyonları sayılabilir. Bu istasyonlar 40 yıllık süreleri varan oldukça uzun dönemleri kapsayan iklim verilerine sahiptirler. Ayrıca yine bu Araştırma Enstitüleri tarafından değişik havzalarda yürütülen yağış akış ilişkilerine yönelik veriler de çalışma alanına yakınsa oldukça güvenilir olarak kullanılabilirler.

Sızmalar, drenaj sorunu görülen bir çok alanda fazla suyun kaynağı sızmalardır. Sızmalar sulama kanallarından, su depolama yapılarından veya komşu alanlardan olabilir. Bir kısım tepelik arazilerin eteğindeki düzlüklerde sızıntı sorunuyla karşılaşılır.

Sızmalar artezyenik basınçlardan ileri geliyorsa bu durumun belirlemesi gerekir. Sızan suyun kaynakları, etkilediği alanın büyüklüğü ve sızma miktarı belirlenir. Artezyenik sızmaların olduğu yerler ile bunların etkilediği alanlar ve sızmanın şiddeti bilinmezse tasarımlanan sistem beklenen işlevleri yerine getirmeyecektir. Sızmanın kaynağı ve özelliği seçilecek drenaj yöntemin de etkileyecektir.

Yer altı suyu derinliği, yer altı suyu derinliği gözlem kuyular ile ölçülür. Drenaj siteminin seçiminde yer altı suyunun dalgalanma sıklığının ölçülmesi gerekir. Aylık veriler genellikle yeterlidir. Taban suyu düzeyleri haritalara işlenerek bir referans düzlemine göre ölçüm noktalarında su düzeyleri ve eş yükseklik eğrileri çizilir. Elde edilen eşyükselti eğrilerinden taban suyunun en yüksek olduğu alanlar ve acil drenaj önlemlerinin alınması gereken alanlalar belirlenir. Ayrıca bu eğrilerden yararlanarak taban suyunun akış yönü belirlenir.

Çizelge 4.1 Topografya ile ilgili olarak düşünülecek drenaj önlemleri

Topoğrafık etkenler	Sorunlar ve düşünülecek drenaj önlemleri
l Dik, tepelik araziler	a)Tahliye sorunu yoktur; yüzey drenajı yeterlidir. b) Suların biriktiği çöküntü kısımlarda bir tek kuşaklama dreni c) Yamaçların aşağı kısımlarında, suyolları boyunca sızıntılar olabilir
2.Dalgalı araziler	a) Yüzey drenajı yeterlidir; genellikle tahliye sorunu görülmez b) Tek hat veya kaburgalı-balık kılçığı drenaj sistemi c) Suyolları boyundaki ıslak alanlarda tek bir dren hattı
3.Yamaç, etek araziler	a) Genellikle tahliye sorunu yoktur b) Yamaç üzerinde ızgara sistemi, yamacın aşağı kısmında ise kuşaklama dreni
4. Hafif eğimli araziler	a) Tahliye sorunu olabilir; yüzey drenajı genellikle yeterlidir. b) Kanal sistemine paralel ızgara veya açık hendek drenaj sistemi c) Suyolları boyundaki ıslak alanlarda tek bir dren hattı
5. Düz göl yatakları taşkın ovaları	a) Genellikle tahliye dreni gerekir b) En büyük eğim doğrultusunda, kanallara paralel ızgara veya açık hendek sistemi c) Bazen pompaj gerekli olabilir
6. Kapalı havza tipi araziler	a) Tahliye olanakları sağlanmalıdır b) Genellikle drenaj kuyusu veya çukuru (pompaj sistemiyle birlikte) hem drenaj, hem de tahliye sorununu çözebilir

Yer altı su kalitesi, yer altı suyunun kalitesi onun tuz içeriğinin belirlenmesi şeklinde yapılır. Gözlem kuyularında doğrudan ölçümler yapılabileceği gibi örnekler laboratuara getirilerek elektriksel iletkenlikleri belirlenir. EC değerleri 1.5 dS m^{-1}' nin altında olan sular genellikle sulamada yeniden kullanılabilir. EC değeri 4.0 dS m^{-1}'den büyük olan sular çoğu bitkilerde %20-40 ürün kaybına neden olabilmektedir. Onun için bu tür yer altı sularının sulamada kullanılması zararlıdır.

Çizelge 4.2 Toprak özellikleri ile ilgili olarak düşünülecek drenaj önlemleri

Toprak etkenleri	Düşünülecek drenaj önlemleri
1.Derin (2 m veya daha .fazla) geçirgen kum, kumlu tın	Açık hendekler veya dren boruları uygun aralıklarla yerleştirilir
2. Derin (2 m veya daha uygun fazla) geçirgenliği düşük siltli kil, kil	Sulama suyunun dikkatlice kullanılmasına ek olarak uygun aralıklarla köstebek drenlerin çekilmesi; yüzey drenleri veya boru drenler
3. Geçirimsiz tabaka üzerinde bulunan geçirgen kumlu, kumlu tınlı ve killi tınlı sığ topraklar (l m veya daha az kalınlıkta)	Toprağın 120 cm derinliğe kadar derin işlenmesi ve sonra i 20 cm derinliğe (irenlerin döşenmesi; dikkatli bir sulama yönetimi nemli bölgelerde drenler 1 m derinliğe döşenirler.

4. Geçirgen toprak tabakası üzerinde bulunan sığ (l m veya daha az) geçirgenliği düşük killi veya siltli killi topraklar	Drenler uygun aralıklarla yerleştirilir; zaman zaman üstteki geçirgenliği düşük tabaka derince işlenir. Nemli bölgelerde yüzey drenajı önlemleri alınır.
5. Derinleştikçe tabakaların geçirgenliği artan topraklar	Dren hendeklerinin veya borularının derince yerleştirilmeleri etkinliği artırır.
6. Derinleştikçe tabakaların geçirgenliği azalan topraklar	Drenler, kök bölgesi drenlerin yukarısında kalacak biçimde mümkün olduğu kadar sığ yerleştirilmelidir.
7. Su taşıyan kaba kumlu veya çakıllı bir tabaka üzerinde bulunan derin (3-4 m kalınlıkta) geçirgenliği düşük killi ve siltli killi topraklar	Pompajla drenaj; nemli bölgelerde yüzey drenaj önlemleri alınır.

Aküferin geçirgenliği, suya doymuş toprak katı (D) ile toprağın hidrolik iletkenliği (K), aküferin su iletme özelliğini (KD) belirler. KD-değeri pompa testleri ile belirlenir. Pompa testlerini değerlendirme yöntemleri Kruseman ve Ridder (1971) tarafından tanımlanmıştır. Verileri değerlendirilmek için geliştirilen bilgisayar modelleri Boonstara, (1994) tarafından verilmiştir.

Topoğrafik etkenler; Drenaj sistemi tasarımlanırken başlıca iki sorunun yanıtı aranır.

-Tasarlanan sistemin işlevi,

-Bu işlevi yerine getirecek sistemin mühendislik özellikleri,

Bu iki sorunun yanıtı ise arazinin topoğrafik özelliklerine, toprak yapısına ve fazla suya bağlıdır. Drenaj sorununa neden olan en önemli faktör arazinin topoğrafik yapısıdır. Drenaj sistemleri arazideki fazla suyu uzaklaştıracak arazi üzerindeki değişik yapılardan oluşur.

Bu yapılar, kanallar, alt ve üstgeçitler, sığ veya derin hendekler, kapalı boru sitemleri gibi inşa edilecek yapılar olduğu gibi, sadece arazi düzeltimi veya biçimlendirilmesi gibi toprak çalışmaları da olabilir. Bu amaçla değişik arazi şekillerinde oluşabilecek drenaj sorunları ve bunların çözümüne ilişkin öneriler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Toprak yapısı; toprakların derinlikleri, profil özellikleri, tabakalaşma özellikleri ve bu tabakaların dizilişleri ile bünye ve yapıları gibi fiziksel özellikleri ile bazı kimyasal özellikleri drenaj üzerine etkili olduğundan bu özelliklere ilişkin değişimler ve alınacak drenaj önlemlerine ilişkin bilgiler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

5. YÜZEY DRENAJ SİSTEMLERİ

Yüzey drenajı, en eski drenaj uygulamasıdır. Yüzey altı drenaj sistemlerinin çok pahalı olması durumunda yüzey drenaj ön plana çıkar. Özellikle şiddetli yağışların olduğu bölgelerde, düşük geçirgenliğe ve toprağa suyun girişini önleyen geçirimsiz bir kata sahip topraklarda uygulanır.

Yüzey drenajın amacı, arazi yüzeyindeki fazla suyun uygun bir sürede uzaklaştırılmasıdır. Onun için arazi yüzeyi yeniden biçimlendirilir veya

şekillendirilir. Fazla su, yağışlardan ileri geleceği gibi, kar erimesinden, sulama suyu kayıplarından veya her ikisinden de olabilir.

İnfiltrasyon kapasitesi ve geçirgenliği düşük olan veya toprak profilinde su iletkenliğini sınırlayıcı bir tabakanın olduğu, düz ve düze yakın arazilerde yüzey drenajına gerek duyulur. Yüzey drenajı, bir anlamda arazi yüzeyinin şekillendirilmesidir. Bu işlemde, arazi yüzeyindeki pürüzlülük giderilir ve araziye düzgün bir eğim verilir. Böylece, fazla su, bitkilere zarar vermeden yüzey akışla uzaklaştırılır. Sınırlayıcı etken, düz arazilerde eğim yetersizliği iken, eğimli arazilerde erozyon tehlikesidir. Tepelerin yamacında veya dağ eteklerindeki arazilerde ise yüzey akışların araziye girmesinin önlenmesi temel sorundur.

İyi tasarımlanmış yüzey drenaj sistemleri arazi üzerindeki su birikmelerini önlerken, toprak kaybına ve silt birikimine neden olmadan fazla suları boşaltım noktasına kadar iletir. Bazen yüzey ve yüzey altı drenaj önlemlerinin beraber alınması daha iyi sonuçların alınmasını sağlayabilir.

Yüzey drenaj sistemleri bazı hendek ve kanallardan oluşmakla birlikte, arazi yüzeyindeki fazla suları etkili bir şekilde boşaltmak için arazi yüzeyinin de düzgün olması gerekir. Aksi durumda arazideki çukurluklar ve çöküntülerde biriken sular boşaltılamaz. Bu bakımdan çöküntü alanlarının boşaltım noktasına kadar bağlanması veya sürekli bir eğim verilmesi gerekir.

Yüzey drenaj sistemlerinde şu özelliklerin bulunması beklenir.

Bölgedeki tarım tekniğine uyması,

Silt birikimine ve erozyona neden olmadan fazla suyu uygun sürede boşaltması,

Yeterli kapasite,

İnşa ve bakım kolaylığı,

Düz ve düze yakın arazilerde yastıklama sistemi, paralel tarla drenleri sistemi, paralel açık hendek sistemi, tesadüfi hendekler sistemi gibi sistemleri;

Eğimli alanlarda ise, eğime çapraz hendek sistemi, standart erozyon kontrol terasları;

Komşu yüksek alanlardan gelen suların girişinin önlenmesi için çevirme hendekleri ve taşkınlara karşı seddeler inşa edilirler.

Yukarıda sayılan özellikleri taşıyan bir yüzey drenaj sisteminden aşağıdaki işlevleri yerine getirmesi beklenir. Bunlar; yüzeyde göllenme nedeniyle yetersiz gelişmenin önlemesi, kök bölgesindeki oksijen yetersizliğini, çimlenme zayıflığını ve besin elementlerinin alınmasının engellenmesi, çiftlik işleri için araziye makinelerin girememesi, ilkbaharda düşük toprak sıcaklığını önlemesidir.

5.1 Düz Araziler İçin Yüzey Drenaj Sistemleri

5.1.1 Yastıklama sistemi

Geçirgenliği düşük, eğimsiz alanlarda birkaç yıl arka arkaya yapılan sürümlerle arazi yüzeyine aralarında ölü karıkların yer aldığı eğim doğrultusunda uzanan yastık biçimi verilmesi şeklinde yapılırlar. Sürüm dışındaki işlemlerin karıklara paralel veya dik yapılması olanaklıdır. Yastıkların genişliği 8-30 m , uzunlukları 100-300 m, yüksekleri 20-40 cm arasında değişir. Su önce ölü karıklara, daha sonra tarla drenlerine ve buradan laterallere akar.

5.1.2 Paralel tarla drenleri sistemi

Bu yöntemde arazi yüzeyi tarla drenlerine doğru uygun bir eğim verilerek (%0.2) şekillendirilir. Bitki sıraları yüzey tarla drenlerine dik konumlu ekilir. Fazla sular bitki sıraları arasından yüzey drenlerine, buradan laterallere akar. Arazi yüzeyine %0.1-0.2 eğim verilmesi uygun olmakla beraber, erozyon tehlikesi yoksa eğim %0.5’ e kadar çıkarılabilir. Drenlerin şevleri 1:8-1:10 ve derinlikleri en az 0.25 m olan üçgen ve yamuk kesitli olarak toprağın geçirgenliği, bitki çeşidi, topoğrafya ve şekillendirmeden sonraki eğime bağlı olarak 100-200 m aralıklarla inşa edilirler.

5.1.3 Rastgele drenler sistemi

Dağınık küçük çöküntü alanlarının yer aldığı arazilerde bu çöküntü alanları birbirine ve sonunda bir tarla lateraline bağlanması şeklinde yapılır. Drenlerin boyutları taşıyacakları su miktarına bağlı olup derinlikleri en az 0.25 m, şev eğimleri 1/4 olması gerekir. Ancak çiftlik araçlarının geçmesi söz konusu ise şevler 1/8-1/10 olmalıdır. Sistemin etkinliğini artırmak için yastıklama sistemi ve olanaklı ise yüzey altı drenaj sistemleri ile bağlantılı olarak yapılmalıdırlar.

5.1.4 Paralel açık hendek sistemi

Hem yüzey ve hem de yüzey altı drenajına gerek duyulan topraklar için uygundur. Bu sistemde 0.6-1.0 m derinlikte daha dik şevli (en az 1/4) açık hendeklerden oluşur. Hendek aralıkları 60-200 m arasında olabilir. Bu hendeklerden alet ve makine geçirilmesi söz konusu olmayıp tarımsal işlemler hendeklere paralel olarak yapılırlar. Bu sistem organik toprakların drenajında yaygın olarak uygulanmaktadır. Mineral topraklarda yüzey altı sistemleriyle beraber uygulanması daha uygundur.

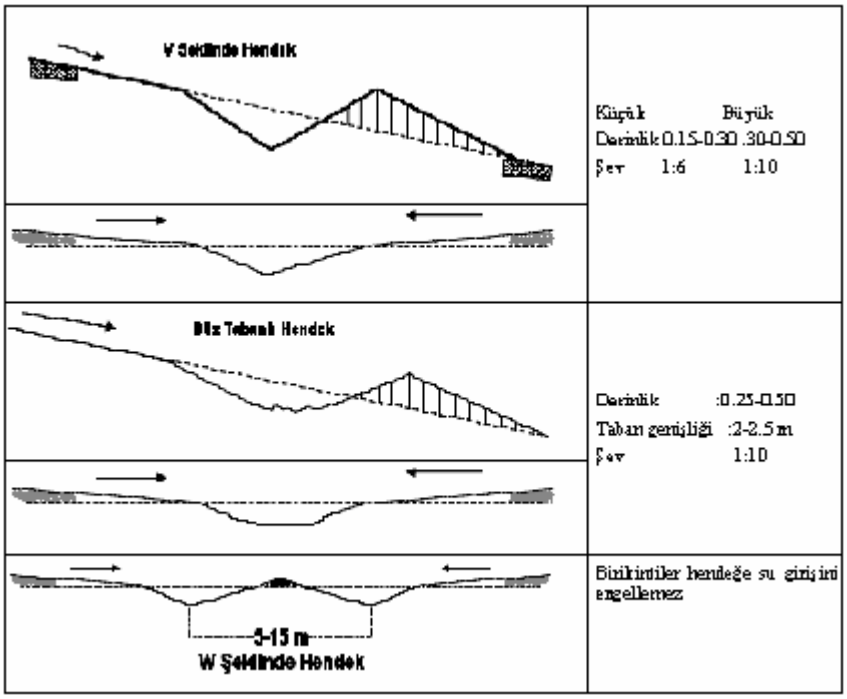
5.2 Eğimli Alanlar İçin Yüzey Drenaj Sistemleri

Eğimi %2 den fazla olan alanlarda alınan drenaj önlemleri daha çok erozyonu önlemeye yöneliktir.

Bu amaçla yüzey akışın hızını keserek güvenli bir şekilde uzaklaştıracak teras benzeri hendek sistemleri yapılır. Bunlar;

5.2.1 Eğime çapraz hendek sistemi

Eğimin %4'e kadar çıktığı alanlarda eşyükselti eğrilerine paralel %0.1-1.0 eğimli hendeklerden oluşur. Hendek açılırken çıkan toprak arazi yüzeyindeki çukurluklara doldurulur. Hendek şevleri 1/4-1/10 arasında, şekilleri üçgen veya yamuk şeklinde üst genişlikleri 5-7 m arasında değişebilir. Hendek uzunlukları 350-450 m, hendekler arası mesafe ise; eğimi, yağış şiddeti, toprağın stabilitesi ve yetiştirilecek bitki çeşidine bağlı olmakla beraber, eğimi %4 olan arazide 30 m'yi, %0.5 eğimde ise 45 m'yi geçmemesi gerekir.



Şekil 5.1. Geçilebilir tarla hendek ve toplayıcı kesitleri

5.2.2 Standart erozyon kontrol terası

Eğimi %10'a kadar olan arazilerde eşyükselti eğrilerine paralel olarak ortalama %0.3 eğimde, %10 eğimli alanlarda 1/4, %2 eğimli alanlarda 1:10 şevli ve derinlikleri arazi eğimine bağlı olarak 20-35 cm derinlikte, 350-450 m uzunlukta, yamuk veya üçgen şeklinde inşa edilen hendeklerden oluşurlar.

6. AÇIK DRENAJ KANALLARI

Drenaj sistemlerinin önemli bir bölümü açık drenaj kanallarından oluşur. Yüzey veya yüzey altı drenaj sistemlerinde ana drenaj kanalı ve toplayıcı drenaj kanalı ve bazen emici drenler açık kanal şeklinde tasarımlanır ve inşa edilirler. Yüzey altı drenaj sistemlerinde toplayıcılar ise üstü kapalı boru hatları şeklinde de inşa edilirler. Ancak bunlarda sonunda yine bir açık drenaj kanalına bağlanırlar. Onun için drenaj sistemlerinin tasarımlanıp inşa edilmesinde açık kanalların önemi büyük yer tutar.

Açık kanal sistemleri iki şekilde ele alınırlar:

Eğimli alanlardan gelen akışları toplayan ve taşıyan sistemler ki, bunlara kuşaklama kanalı denir. Bu durumda suyun çoğu yüzey akışlardan oluşur. Kısa dönemlerde boşalırlar ve yüksek debi ve sediment yüküne sahiptirler.

Düz alanlardan suyu toplayan ve taşıyan kanallarda ise yüzeyde tutulma ve depolama nedeniyle su boşalımı daha uzun süre devam eder. Kanallar düz olup sediment taşıma kapasiteleri az veya hiç yoktur. Eğimli ve düz araziler için iki ayrı kanal sistemi veya bileşik bir sistem tasarımlanabilir.

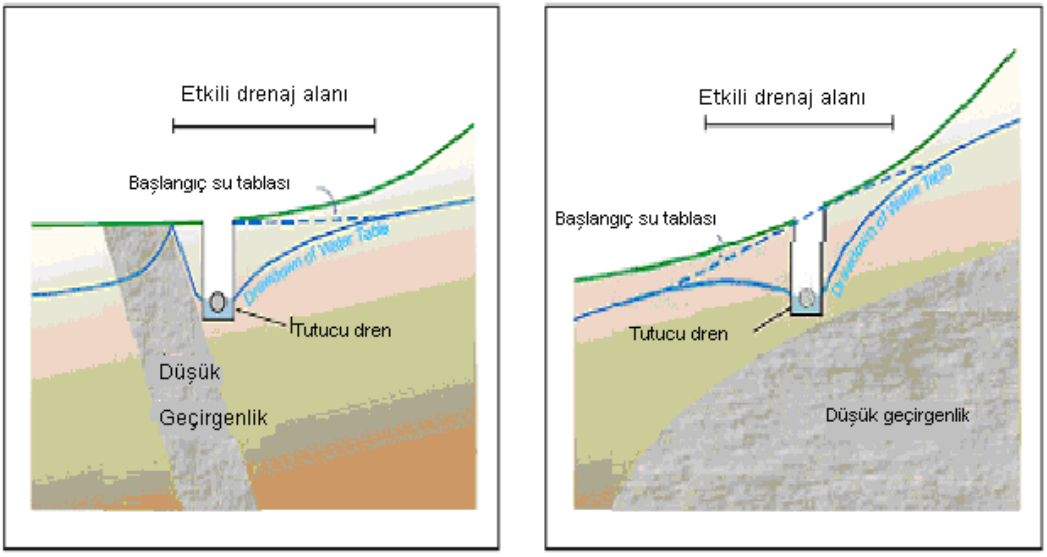
6.1 Eğimli Araziler

Düz tarım arazileri çevresinde eğimli araziler olduğunda, eğimli alanlardan gelen yüzey akışların, düz arazileri su altında bırakmaması için, tutulması ve başka bir alana boşaltılması gerekir. Bu tür yüzey akıştan ileri gelen drenaj sorunları su dengesi hesapları ile belirlenebilir.

Eğimli alanlardan oluşan akışlar iki ana sorun yaratır. Birincisi kısa süreli yüksek boşalımlar taşkınlara, tarımsal arazileri veya yerleşim alanlarını su basmalarına, ikincisi erozyon ve buna bağlı olarak düz arazilerde ve kanalarda sediment birikimine neden olmasıdır.

Bu sorunlar, eğimli alanların ağaçlandırılması ve doğal bitki örtüsünün geliştirilmesi ile, orta eğimli (%10'a) arazilerde kadar eğime dik sürüm (kontur) ve teraslama, eğime dik teraslama ve bitki yetiştirilmesi ile, pik akış dönemlerinde gelen

sedimenti tutmak için depolama yapıları yapılarak önlenebilirler. Belirtilen bu teknikler yüzey akışlardan ileri gelen drenaj sorunlarını ve erozyonu önlemek için uygulanırlar.



Şekil 6.1 Eğimli arazilerde kuşaklama drenaj sistemi

Eğimli arazilerden oluşan akışlar bir akarsuya, göle veya denize bağlanabilir. Bunu için değişik seçenekler olabilir. Örneğin tarımsal arazilerin çevresindeki bir kuşaklama kanalı, tarım alanlarından geçerek uygun bir çıkış noktasına ulaşabilir. Kuşaklama kanallarının temel yararı, taşkınları ve eğimli arazilerden gelen sedimenti düz arazilere girmeden ve herhangi bir zarara neden olmadan güvenli bir şekilde uzaklaştırmasıdır.

Eğimli arazilerden gelen akışları uygun bir çıkış noktasına ulaştırırken gerekli olan kapasite bazı uygulamalarla azaltılabilir. Bunlar;

-Pik akış döneminde sular bir depolama yapısında tutularak, daha sonra uzun bir akış döneminde bırakılır.

-Sınırlı bir depolama kapasitesine sahip savaklı bir yapı ile gelen akışlar düzenlenebilir. Bu durumda eğer akış tahmin edileni aşarsa, savak üzerinden aşan fazla sular düz alanlarda küçük zararlara neden olabilir. Yöntemlerin hangisinin kullanılacağına yapılacak ayrıntılı incelemeler ve maliyet hesapları sonunda karar verilir.

6.2 Tarımsal Alanlar

Drenaja gereksinim duyan tarımsal alanlar genellikle kıyı ovaları, vadiler, düşük sulama etkinliğine sahip düz arazilerdir. Kıyı ovalarında drenaj sorunu bazı hidrolojik nedenlerle ortaya çıkar. Bunlar;

-Düşük eğim veya eğim yetersizliği nedeniyle sular daha yavaş akar, dolayısıyla sediment birikir.

-Denizlerdeki gelgitlerle yükselen su düzeyleri ırmaklara tuz girişine neden olur.

-Akarsu kollarının karışıklığı ve uygun olmayan boşaltım noktası doğal drenajı önler ve bataklıklar oluşur.

-Taşkınlardan sonra kanallarda değişiklikler olur.

-Kıyı ovalarının düşük kotlu olması ırmakların ve denizlerin bu kısımlara taşmasıyla sonuçlanır. Bunu önlemek için akarsu ve deniz kenarları boyunca seddeler yapılarak su basmalarının önlenmesi.

Belirtilen drenaj sorunlarını önlemek için drenaj kanal sistemlerinin yapılması gerekir. Ova paralel kanal, dere ve ırmaklara bölünür. Eğimli arazilerden oluşan akışlar, kanalların inşaat ve bakım maliyetleri ve drenaj sularını kaliteleri göz önüne alınarak değişik tasarımlar yapılabilir.

6.3 Birleşik Drenaj Sistemi

Eğimli ve düz arazilerde bileşik bir sistem yapılabilir. Bu durumda eğimli arazilerden oluşan akışları tamamı bir kuşaklama dreni tarafından toplanır ve drenaj kanal sistemine verilir. Drenaj kanaları tarafından boşaltılır. Deniz kıyısı ve drenaj kanalları boyunca setler uzanır. İyi düzenlenmiş bir savak sistemi ile sular denize boşaltılır.

Eğimli ve düz araziler için ayrı kanal sistemleri yapılabilir. Eğer eğimli arazilerden yüksek düzeyde akışlar oluşuyorsa veya ova çok geniş ise, bu durumda, bu suları tutarak en yakın akarsuya güvenli bir şekilde akıtacak bir sistemin tasarımlanması gerekir. Eğimli arazilerden gelen bütün akışlar bir barajda veya kuşaklama dreninde tutulur.

6.4 Kıyı Ovasına İki Ayrı Sistem

Kum ve çamur taşıyan küçük akarsuların kıyı boyunca çıkış ağızları zamanla tıkanır. Böyle durumlarda dere ağızları drenaj çıkış ağzı olarak uygun olmaz. Bu durumda kıyı boyunca yapılan setlerin arkasındaki ana drenaj kanalı tarafından toplanan sular en yakın akarsu yatağına boşaltılırlar.

6.5 Drenaj Boşaltım Noktası

Drenaj suyunun boşaltıldığı akarsu, göl veya deniz drenaj sisteminin işlevini etkiler. Drenaj dönemi boyunca dren akışların kesilmemesin garanti etmek için çıkış ağzının kum, sediment, bitki tarafından kapatılmaması gerekir.

Çıkış noktasında ana drenaj kanalı doğal bir kanal banketi veya bir setle kesilir. Tarım arazilerinin su altında kalmaması için, çıkış noktası su düzeyleri yükseldiğinde kapanabilen bir çıkış yapısına bağlanır. Bu yapı drene edilecek arazinin en düşük noktasında olmalıdır.

6.6 Drenaj Kanallarının Tasarımı

Drenaj kanalını tasarımlayan mühendis iki su düzeyi göz önüne alır (Şekil 6.2). Bunlar;

-Yüksek su tablası ölçütü (YSD); aşırı yağışların olduğu dönemlerde oluşacak taşkınları araziye zarar vermeyecek bir şekilde ve sürede güvenli bir şekilde taşıyacak kapasitedir. Buna göre açık toplayıcı kanallar, su düzeyinin yılda sadece bir kez toprak yüzeyine yaklaşmasına izin verilecek şekilde tasarımlanırlar.

-Normal su düzeyi ölçütü (NSD); sulama ve yağışlardan sonra drenaj döneminde tarlalardaki taban suyu düzeyini yeterli derinlikte tutacak su düzeyidir. Bu su düzeyi optimum bitki gelişmesi için gerekli olan derinliktir. Bu derinliğin sınırlarını belirleyen diğer etmenler çiftlik makinelerinin çalışmasının engellenme durumu, tuzlanmanın önlenmesi ve arazi çökme limitleri sayılabilir.

Normal su düzeyi ölçütüne göre toplayıcı kanaldaki su düzeyinin, emici çıkışlarındaki su düzeylerini yılda 15 günden daha fazla aşmaması gerekir. Toplayıcıların hizmet ettiği alanların küçük olması durumunda ikinci ölçütün, büyük olması durumunda ise birinci ölçütün uygulanması daha uygundur.

Ancak bu ölçüt son yıllarda, özellikle sulanan alanlarda uygulanan kontrollü drenaj sistemlerinde, bitkilerin aşırı drenaj nedeniyle kuraklıktan zarar görmemesi ve drenaj suyunu azaltılması için bitki yetişme döneminde sisteme bazı kontrol yapılarının eklenmesiyle yükseltilmektedir.

Toplayıcı kanalındaki su düzeyinin derinliği tarla drenaj derinliğini doğrudan etkiler ve ortalama bir değer olarak verilir. Kanaldaki bu su düzeyi bir dönem boyunca birkaç günden (örneğin 10 gün) fazla aşılmaması gereken derinliktir. Açık kanaldaki diğer su düzeyi, drenaj mevsimindeki normal boşalım süresince, emicilerin veya toplayıcı drenlerin suların serbestçe boşaltacak derinlikte olmalıdır. Bu derinlik aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenir. Eşitlikteki simgelerin değerlerinin anlamları Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

$$Fn=fn+Ls/2+0.10 \qquad (6.1)$$

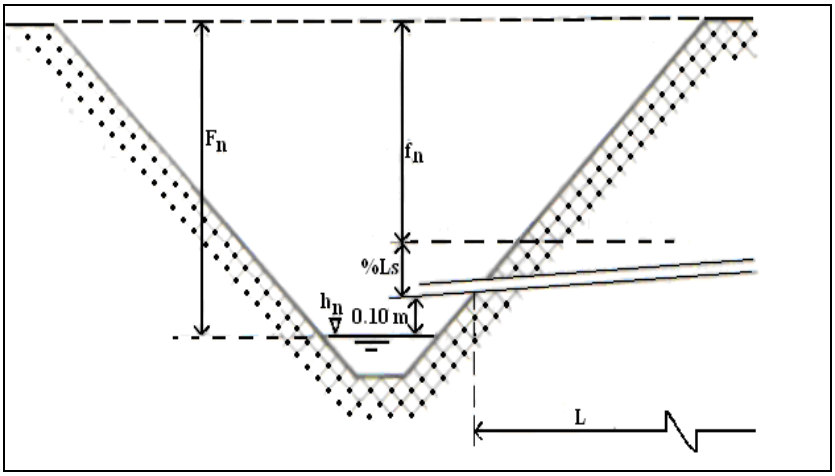
Fn; normal boşalım döneminde gerekli su düzeyi derinliği, bu düzey yılda 10 gün aşılabilir.(m) fn; değişik drenaj ölçütlerine göre temel drenaj derinliği, (m), Ls/2; eğim nedeniyle yük kaybı, s tarla dren uzunluğunun yarısındaki yükseklik, (m), 0.10; güvenlik sınırı, (m)

Drenaj kanallarındaki su düzeyini belirlemek için arazinin eşyükselti eğrili bir haritasına gerek vardır. Bu haritanın ölçeği 1/10 000 veya daha büyük ve eş yükselti eğrileri en az 0.5 m'de bir geçirilmiş olmalıdır.

Drenaj sistemi tasarımlanan alanda aynı eğimlere sahip toplam arazinin %10'undan daha küçük olmayan arazi-eğim birimleri oluşturulmalıdır. Genel bir kural olarak bu arazi birimleri;

-Düz alanlarda 200 ha'dan büyük ve eş yükselti eğrileri 0.25 m aralıklarla geçirilmiş olmalıdır.

-Eğimli alanlarda 50 ha'dan daha büyük ve eş yükselti eğrilerinin aralıkları 0.5 m olmalıdır.



Şekil 6.2 Toplayıcı kanalda normal boşalım döneminde su düzeyi (ILRI, 1994)

Belli bir Q_n boşalımı için yerel toplayıcı drendeki su düzeyini bulmak için arazi eğim birimlerinin her biri gerekli h_n serbest su düzeyine kadar azaltılmalıdır. Bu, h_n, düzeyleri kanallardaki yararlı hidrolik eğimlerin belirlenmesinde kullanılır.

6.7 Boşalım Kapasitelerinin Belirlenmesi

Yağışlardan akışa geçen su, sulama suyuna göre çok fazla olduğundan drenaj kanallarının kapasiteleri, yağış sularının akışa geçerek sulama alanı dışından ve içinden gelen su miktarına göre belirlenir. Yüzey akışa göre tasarımlanan drenaj kanalları, diğer fazla suları da taşıması için yeterli olurlar.

Drenajı olmayan yerlerde süreklilik gösteren akımların bitkilere zarar vermeyecek bir derinlikte akıtılması gerekir. Drenaj kanallarının derinlikleri bu konu gözününe alınarak belirlenir.

Drenaj kanalların kapasiteleri yağışların belli olma olasılıklarına dayanılarak tasarlanırlar. Genellikle tersiyer drenaj kanalları 2.33, yedek drenaj kanalları 5, ana drenaj kanalları ve bir yan drenin ayağı olan yedek drenaj kanalları 10 yıl frekanslı yineleme, 24-48 saat süreli yağışlar göz önüne alınarak kapasitelendirilirler.

Topoğrafik bakımdan olanak olan yerlerde drenaj kanalları pompaların kapasitelerini düşürebilmek için taşkınların tarım arazisinde bir müddet göllenmesine müsaade edilebilir. Bu müddet sebzeler için 6-8 saat, genel bitkiler için 28 saat ve çayırlar için 48 saatten fazla olamaz. Buna göre sağanak akışların hem pik hem de hacim değerlerinin bilinmesine gerek duyulur.

Tarımsa arazilerde yağışlarla sızmalarla ve sulamayla meydana gelen fazla suların drenaj siatemininde oluşturduğu debinin hesaplanmasında Mc. Math yöntemi, Rasyonel yöntem, Sentetik birim, Hidrograf ve Mockus yöntemi gibi yöntemler kullanılır.

6.7.1 Mc. Math Yöntemi

Bu yöntem genellikle her büyüklükteki düz arazide, bilhassa yüzeysel drenaj kanallarının kapasitelerinin belirlenmesinde iyi sonuç vermektedir. Dik eğimli yamaçlardan beslenen yan derelere uygulanması önerilmemektedir.Mc. Math eşitliği;

$$Q=0.0023.C.I.S^{1/5} . A^{4/5} \qquad (6.2)$$

şeklindedir. Eşitlikte Q= Debi ($m^3 s^{-1}$), C=Toprak cinsi, topoğrafya ve bitki örtüsüne bağlı bir katsayı olup Çizelge 1 den alınır. I=Yağışların seçilen yineleme süresi (frekansı) için toplanma zamanına tekabül eden yağış şiddeti (mm h -1), S=Yatak eğimi x 1000, A=Havza drenaj alanı (ha)

6.7.1.1. C Katsayısının Bulunması

Eşitlikte, C toprağın cinsi topoğrafya ve bitki örtüsüne bağlı bir katsayıdır. Çizelge 1 yardımıyla bulunur. C=C1+C2+C3 olmak üzere,

Ağır bünyeli, iyice örtülü ve düz bir arazi için C değeri,

Ağır bünyeli C2=0.22

İyice örtülü C1=0.12

C3=0.04

Düz arazi C = 0.38 bulunur.

6.7.1 Yağış şiddetinin belirlenmesi

Formüldeki I değeri seçilen yinelemenin süresi için toplanma zamanına denk düşen yağış şiddetidir. Toplanma zamanı hesaplandıktan sonra, bu zaman yağış süresi olarak kabul edilerek istenilen yineleme süresine bağlı olarak, havzaya ait yağışların şiddet-süre-yineleme değerlerini gösteren grafiklerden, yağış şiddeti belirlenir. Türkiye'deki çeşitli havzalara ait yağış şiddeti eğrileri Devlet Su İşleri

tarafından hazırlanan yağış atlasları veya Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünün hazırlamış olduğu "Türkiye yağış-şiddet-yineleme eğrileri" adlı yayınlarda bulunmaktadır. Yayınlarda Türkiye'nin tüm havzalarına ait yağış şiddet-süre-yineleme eğrileri verilmiş olup bu eğriler yardımıyla I yağış şiddeti bulunur.

Çizelge1 Mc Math Formülündeki C Katsayıları

Akım Koşulu	**Bitki örtüsü**		**Toprak cinsi**		**Topoğrafya**	
	C1		**C2**		**C3**	
Alçak	Çok iyi örtülü	0.08	Kumlu	0.08	Düz	0.04
Alçak-Orta	İyi örtülü	0.12	Hafif	0.12	Hafif eğimli	0.06
Orta	Oldukça örtülü	0.16	Orta	0.16	Tepelik	0.08
Yüksek	Seyrek örtülü	0.22	Ağır	0.22	Tepelik-dik	0.11
Çok Yüksek	Çıplak	0.30	Kaya	0.30	Dik	0.15

Yağış şiddeti-süre-yineleme eğrilerinin kullanılabilmesi için yineleme süresi, drenaj kanallarının fonksiyonuna göre tayin edilir. Yağışların toplanma zamanına bulmak için ise aşağıdaki formül kullanılır.

$$Tc=0{,}0195\ (L^3/H)^{0.385} \qquad (6.3)$$

Eşitlikte; Tc= Toplanma zamanı (dak.), L=Mecra uzunluğu (m), , H=Mecra yüksekliği (m), (Göz önüne alınan drenaj kanallının başı ile sonu arasındaki kot farkı)

Toplanma zamanı belirlendikten sonra, bu zaman yağış süresi olarak kabul edilen yağış şiddet-süre-yineleme eğrilerinden, yineleme süresine bağlı olarak yağış şiddeti bulunur. Yağış şiddet süre yineleme eğrileri uzun yıllık verilerden bölgeler için hesaplanmış olarak Devlet meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü yayınlarından bulunur. Eğer yoksa hesaplanması gerekir.

Havza çok büyük olduğu taktirde bulunan yağış şiddetinin bir alan katsayısı ile düzeltilmesi gerekir. Çünkü alan büyüdükçe alan üzerine düşen yağışın ortalama şiddeti

azalır. Bu nedenle kullanılmak üzere Amerika'daki ortalama koşullar için hazırlanmış bir eğri demeti verilmiştir. Bu grafik kullanılarak kabul edilebilir doğrulukta sonuçlar elde edilebilir. Çünkü alansal büyümenin ortalama yağış şiddetindeki azalmaya etkisi bölgeden bölgeye çok fazla değişmemektedir.

6.7.1 3. Yatak eğiminin belirlenmesi

Ana yatağın eğimi, drenaj alanının büyüklüğünden sonra gelen en önemli fiziksel özelliğidir. Uygulamada yatak eğimi iki şekilde belirlenmektedir. Birincisi yatağın memba noktası ile mansap noktasının kotları arasındaki farkı, yatak uzunluğuna, ikincisi mansap noktasından başlayarak yatak uzunluğunun 0.10 L ve 0.85 L değerindeki kotların farkını bu noktalar arasındaki yatak uzunluğuna (0.75L) bölmektir. Bu yöntemin gerekçesi, havzanın mansabındaki düşük eğimle membadaki yüksek eğimlerin, akım tahminlerini gerçekte olduğundan daha fazla etkilemesini önlemektir.

Yatak eğiminin diğer bir belirleme yöntemi ise, bir yatak profili çıkarılarak, orijinden geçen yatak eğimini karakterize eden doğru, yatak profili ile altında ve üstünde eşit alan kalacak şekilde geçirilir. Bulunan uzunluğunun eğimi yatak eğimi olarak kabul edilir.

6.7.1 .4. Drenaj alanının belirlenmesi

Eşitlikte A hektar olarak su toplama alanıdır. Buna hidrolojik havza da denir. Tasarım için uygun ölçekli bir harita üzerinde havza su ayırım çizgisi çizilerek alanı uygun bir yöntemle hesaplanır.

Örnek:

Toprakları ağır bünyeli, bitki örtüsü iyi örtülü ve düz bir alan için Urfa bölgesine ait bir yedek drenaj kanalının boyu L= 3000 m, kanalın membası ile mansabı arasındaki kot farkı H= 19.5 m ve kanalın drenaj alanı A=6000 dekar olduğuna göre drenaj kanalının kapasitesini hesaplayınız.

Çözüm:

C katsayısı Çizelge 1'den hesaplanır.

Ağır bünyeli	0.12
İyi örtülü	0.12
Düz arazi	+ 0.04

C=0.28 bulunur.

Toplanma zamanı, $Tc= 0{,}0195\ (L^3/H)^{0{,}385}$

$Tc= 0{,}0195\ (3000^3/23.5)^{0{,}385}$ =60 dakika bulunur.

Yedek drenaj kanalı 5 yıllık yineleme süresine göre hesap edildiğine göre toplanma zamanı yağış süresi olarak kabul edilerek I=18.5 mm h^{-1} bulunur. Drenaj alanı küçük olduğunda alan düzeltmesi yapmaya gerek yoktur.

Yatak eğimi Sy en basit şekilde memba noktası ile mansap noktası arasındaki kot farkı yatak uzunluğuna bölerek bulunur.

Sy= 23.5/3000 = 0.00783

S = 1000x Sy = 7.83

Drenaj kanalının kapasitesi Mc. Math eşitliği ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$Q= 0.0023.C.I.S^{1/5}.A^{4/5}$

$Q= 0.0023x0.28x18.5x7.83^{1/5}x600^{4/5}$=3.0 m^3/s olarak bulunur.

6.7.2 Rasyonel Yöntem

Bu yöntem, yeteri kadar ölçümü bulunmayan yan derelerin ve yüzeysel drenaj kanallarının kapasite hesaplarında kullanılmaktadır. Yöntem genellikle 25 km^2 den küçük alanlar için iyi netice vermektedir. Yöntem havzanın toplanma zamanına tekabül eden süre içerisinde, yağışın tüm havza üzerine üniform olarak düştüğünü varsayar.

$$Q=0.0028\ C.I.A \qquad (6.4)$$

şeklindedir.

Eşitlikte, Q=Debi ($m^3\ s^{-1}$) C= Drenaj alanı özelliklerine ve yağış şekline bağlı bir akış katsayısı, I=Toplanma zamanına tekabül eden yağış şiddeti (mm h^{-1}), A= Havza alanı (km^2).

$$Tc=0.0195K^{0.77} \qquad (6.5)$$

Eşitlikte Tc= toplanma zamanı (dakika), $K= L/\sqrt{S}$, $K=L^{3/2}/H^{1/2}$

L= Yatak uzunluğu (m).

S= H/L yatak eğimi

H= Yatağın memba ve mansabı arasındaki kot farkı (m).

3.1. C Katsayısının belirlenmesi

Yöntemin uygulamasında C katsayısının belirlenmesine özel bir önem göstermek gerekir. Bu katsayı drenaj alanının eğimi, bitki örtüsü, sesin cinsi, şekli, yağışın şiddet ve süresi gibi çeşitli etkenlere bağlı olarak değişir.

100 yıl yinelemeli süreli taşkınlar için C100 değerleri Çizelge.4'te verilmiştir. Çeşitli özellikteki arazi ve bitki örtüsü ihtiva eden drenaj alanları homojen kısımlara ayrılarak her bir kısım için birer C100 değeri seçilir. Sonra tüm sahaya ilişkin ortalama C100 değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C_{100} = C = \frac{A1C1 + A2C2 + ... + AnCn}{A1 + A2 + ...An + Cn} \qquad (6.6)$$

Burada Ai'ler aynı özellikteki drenaj alanlarıdır, Ci'ler de aynı özellikteki alanlara ait C100 değerleridir.

Yağış şiddeti arttıkça C_{100} değeri büyür. Çizelge.4'de verilen 100 yıllık taşkın hesaplarında kullanılan C_{100} değerlerinden yararlanılarak herhangi bir yineleme süresine ait CT değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$CT= C100 \left(T /100\right)^{0.19} \qquad (6.7)$$

Burada; T= yıl olarak yineleme süresidir.

3.2. I Yağış Şiddetinin Belirlenmesi

Eşitlikteki I değeri seçilen yineleme süresi için toplanma zamanına tekabül I eden mm/saat birimindeki yağış şiddetidir. Toplanma zamanı hesaplandıktan sonra toplanma

zamanı yağış süresi olarak kabul edilerek, istenilen yineleme süresine bağlı olarak, havzaya ait yağışların şiddeti-süre-yineleme değerlerini gösteren grafiklerden Mc. Math yönteminde olduğu gibi tespit edilir.

Çizelge.4 Rasyonel yöntem için C100 değerleri

Drenaj Alanı Özellikleri	C100 Değerleri
Su geçirmez yüzeyler	0.90-0.95
Dik çıplak yüzeyler	0.80-0.90
Dalgalı çıplak yüzeyler	0.60-0.80
Düz çıplak yüzeyler	0.50-0.70
Dalgalı çıplak yüzeyler	0.40-0.65
Yaprak döken ormanlar	0.35-0.60
Çam ormanları	0.25-0.50
Meyve bahçeleri	0.15-0.40
Yamaç ve taras tarım arazileri	0.15-0.40
Taban tarım arazileri	0.10-0.30

Rasyonel yöntemde yağışların toplanma zamanı yukarda da verilen formülle bulunur. Ancak bir çok hallerde havzanın en uzak noktasına düşen yağış bir süre yüzeysel akış olarak aktıktan sonra ana yatağa kavuşur. Bu ise gerçek toplanma zamanının yukarda bulunmuş olan Tc zamanından daha uzun olmasını gerektirir. Bu tip yüzeysel akımların hızları arazinin eğimine bağlı olarak aşağıda verilmiştir.

Arazinin eğimi	Hız ($m\ s^{-1}$)
%4	0.15-0.30
%2-4	0.11-0.21
%2	0.09-0.18
%2 den az	0.08-0.15

Yüzeysel akımların hızları arazi eğimine göre bulunduktan sonra, kat ettikleri uzunluklar hızlarına bölünür. Böylece bulunan toplam zaman, yukarda bulunmuş olan, belirli ana yatağa ilişkin Tc toplanma zamanına eklenir. Ayrıca arazide yağışın bir kısmını tutacak çukurlar varsa Tc toplanma zamanı 5 dakika kadar arttırılır.

Örnek:

Urfa çevresinde alanı 200 km^2 olan bir drenaj alanın %50'si düz yokuşlu ekili alanlarla, %8'i dalgalı eğimli ağaçlık alanlarla % 42'si dalgalı yokuşlu mera alanları ile kaplıdır. Alandaki toprak bünyesi killi tınlı siltlidir. Drenaj alanında yapılması tasarlanan açık ana drenaj kanalının uzunluğu 5 km kanal başı ile sonu arasındaki kot farkı 80 m'dir

İstenen:

Rasyonel yönteme göre açık ana drenaj kanalının kapasitesini hesaplayınız.

Çözüm:

Sorunun çözümü aşağıda aşamalar şeklinde yapılmıştır.

1- C katsayısının belirlenmesi

Bitki Örtüsü	Eğim	Alan	C	Ort. C.
Ekili	Düz	0.50	0.50	0.25
Ağaçlık	Dalgalı	0.80	0.35	0.28
Mera	Yokuşlu	0.42	0.42	0.18
				C= 0.71

2-Konsantrasyon Zamanı

$K= 2^{3/2} / H^{1/2}$ eşitliğinde

$K= (5000)^{3/2} \ (80)^{1/2}$

K= 353553.39/8.944

K= 39529.67

L=5000 m

H=80 m'dir.

$Tc= 0.02\ K^{0.77} = 0.02(39529.67)^{0.77} = 69.28$ dak. yaklaşık 1saat 10 dakika olarak bulunur.

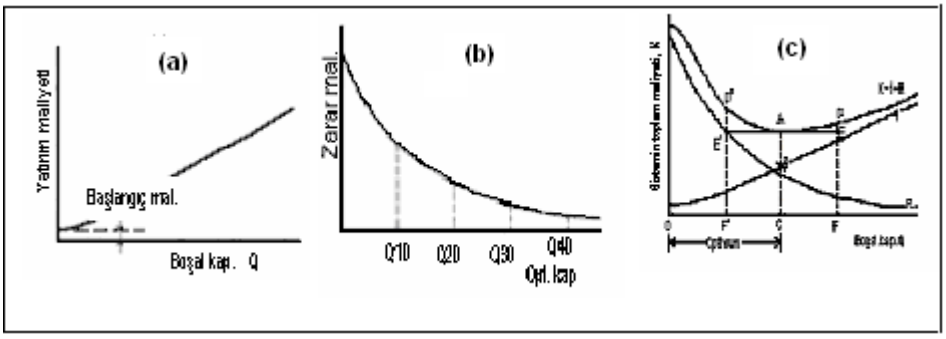
Şanlıurfa ili için hazırlanan yağış şiddeti süre yineleme eğrilerinden 10 yıllık yineleme aralığı ay ve 1.10 h bir yağış süresi için yağış şiddeti I= 26 mm h^{-1} olarak bulunur.

Q= 0.0028 C.I.A eşitliğinden

Q= 0.0028 x 0.71 x 26 x 200

Q= 10.3 $m^3 s^{-1}$ bulunur.

Kanal sisteminin tasarımlanmasında temel sorun değişik kanal kesimlerinde suların çevreye taşmadan uzaklaştırılmasını sağlayan uygun bir boşalım kapasitesinin belirlenmesidir. Bu kapasite kanal dolu aktığında yapılacak bir tasarımlamadır. Eğer bir boşalım, tasarımlamada varsayılan boşalımı aşarsa, kanal ve kesimleri ile ilgili yapıların zarar görmesine neden olabilecektir. Onun için aşağıda sıralanan varsayımlar yerine getirilmelidir.



Şekil 6.3 Farklı boşalım kapasitelerinde drenaj kanal sisteminin maliyeti ve optimum kapasitenin belirlenmesi (ILRI, 1994).

1-Belli bir boşalımın aşılma olasılığı çift üstel yöntemle belirlenir,

2- Zararlanma sadece çalışılan boşalım aşıldığında olur,

3-Eğer belirlenen boşalım aşılırsa drene edilen bir alandaki yapılarda, alt yapıda ve bitkilerde göllenmeden ötürü hasar olur,

4-Bu hasar bir yıl içinde onarılacak düzeyde olmalıdır

Drenaj kanal kapasitesinin artırılması taşkınların veya su basmalarının sıklığını azaltır. Ancak yine de tasarlanan kapasitenin aşılma olasılığı her zaman vardır. Bu durumda iki seçenek söz konusudur. Bunlar mevcut sistemin kullanılması ve kapasitelerin artırılmasıdır. Eğer kanal kapasitelerini artırmak gerekirse, ekonomik olarak nasıl artırılabilir? Burada sorun sistemin kapasitesinin ekonomik olarak ne kadar artırılabileceğidir. Bu durumda aşağıdaki işlem basamaklarının izlenmesi gerekir.

6.7.1 Yatırım maliyetinin belirlenmesi

Artan boşalım kapasitesi yatırım maliyetini artırır. Yatırım maliyeti ile boşalım kapasitesi arasındaki ilişki tüm sistemde aynı yatırım maliyeti olduğunda doğrusaldır. Şekil 6.3a'da görüldüğü gibi boşalım kapasitesi arttıkça yatırım masrafları da çok keskin olmayan bir şekilde artmaktadır. Diğer taraftan sistem kapasitesi 10 yılda, 20 yılda vb olabilecek taşkınlara göre tasarımlanırsa kanal kapasiteleri artacağından, taşkınların araziye vereceği zarar azalacak ve kapasite ile zarar maliyeti arasında ilişki şekil 6.3b'deki gibi olacaktır. Anılan ilişkilerin beraberce çizilmesi ile optimum tasarım kapasitesi Q_d elde edilir (Şekil 6.3c). Şekilde, optimum tasarım kapasitesi BC inşaat maliyetini (I), ve AB zarar maliyetini (R) göstermektedir.

Su basmalarından ve taşkınlardan oluşan zararın maliyeti alandaki bitkilere ve diğer yapıların varlığına göre değişmektedir. Örneğin çayır ve meralarla kaplı alanlarla, köylerin yerleşim alanlarının, yolların bulunduğu drenaj alanlarında zararın maliyeti farklı olacaktır. Drenaj sisteminin hizmet ettiği alanın kırsal veya endüstriyel olmasına göre hasarın maliyetinin belirlenmesi gerekir.

Optimum boşalım tasarım kapasitesi K=I+R'nin en küçük olduğu boşalım Qd'nin belirlenmesi gereklidir. Genel olarak I-Q eğrisindeki artma eğilimi daha yavaşken, R-Q eğrisinin azalışı daha keskindir. Onun için K-Q eğrisinin eğimi A'nın solunda daha fazladır. Kanal sisteminin gerçek tasarım boşalımının çok küçük (OF') veya çok büyük (OF) tasarımlanmış olması sistemin toplam maliyetinin (AC) aşılmasına neden olacaktır. Sistem kapasitesinin büyük veya küçük tasarımlanmasındaki maliyetler incelendiğinde sistem büyük tasarımlandığında doğan farkın DE, küçük tasarımlandığındaki maliyet farkından D'E', daha küçük olduğu görülecektir. Bu bakımdan genel bir kural olarak gelecekteki gelişmeler göz önüne alındığında sistemin optimum boşalımdan büyük tasarımlanmasının maliyeti, küçük olandan daha ekonomiktir (ILRI, 1994).

6.7.2 Depolamanın boşalım kapasitesine etkisinin belirlenmesi

Kanalların dolu akması durumunda bunların su depolama kapasiteleri nedeniyle, kanala ulaşan suların bir bölümü kanalda su düzeyindeki yükselme nedeniyle depolanacağından akış debilerin de azalmalar olacaktır. Depolama aynı zamanda göllerde bataklıklarda arazi yüzeyindeki çukurluklarda da olacaktır. Kanal boşalım kapasiteleri depolanan bu suların uygun bir sürede boşalımını sağlayacak şekilde belirlenmelidir. Bu uygun süre en azından ikinci pik boşalımın olmasına kadar olan süredir.

Depolama kapasitesi nedeniyle kanal boşalımlarında oluşan azalma kanal kapasitelerinin daha küçük olarak tasarımlanması olanağı verir. Eğer sistemin önemli bir depolama kapasitesi yoksa, sistem belirlenen yineleme yılında oluşması hesaplanan boşalıma göre tasarımlanır. Bu ise daha büyük kapasite anlamına gelir. Bu bakımdan sistemin depolama kapasitelerinin belirlenerek, tasarımlamanın buna göre yapılmasının maliyetleri azaltacağı gözden uzak tutulmamalıdır.

Kanal sistemine ne kadar suyun ulaşacağı hidrolojik yöntemlerle belirlenebilmektedir. Bu yöntemler ilgili hidroloji kitaplarında bulunabilir. Drenaj kanallarının tasarımında önce sistemin tipi ve bir planı hazırlanır. Daha sonra sistem bileşenlerinin hidrolik tasarımı yapılır.

6.8 Drenaj kanallarının tasarımı

6.8.1 Açık kanallarda akım rejimleri

Açık kanal akımları Reynolds sayısına bağlı olarak laminar, türbülans ve geçiş akımı adını almaktadır. Açık kanallarda Reynolds sayısı belirlenirken hidrolik yarıçap kullanılır. Reynolds sayısı 500 den küçük ise laminar, 500 ile 12500 arası geçiş bölgesi olup akım laminar veya türbülanslı, 12500 den büyük olması halinde türbülanslı akım olmaktadır.

Tasarımlama boşalımlarının belirlenmesi

Yöntem	Tarla drenaj akışının niteliği	Gerekli bilgiler

İstatistiksel analizler	Her tip akış	Akış veya eşel kayıtları
Kalibre edilmiş yağış akış analizleri		
Birim hidrograf yöntemi Reaksiyon faktörü yöntemi	Esas olarak yüzeysel akış Yer altı akışı	Birim hidrograf α-değeri
Kalibre edilmemş yağış akış ilişkileri		
-Düz havzalar -Eğimli havzalar	Yer altı suyu drenajı Sığ drenaj	Mevcut tarla ve havza karakteristikleri
Rasyonel formül Eğri Numarası yöntemi	Arazi yüzeyi akışı, hızlı tepki vere içe akış	

Açık kanal akımlarında viskozite etkisi Reynolds sayısı ile, buna karşın yerçekiminin etkisi Froude sayısı ile değerlendirilmektedir. Açık kanal akımlarında Froude sayısı, atalet kuvvetlerinin yerçekimi kuvvetlerine yani ağırlık kuvvetlerine oranı olarak tanımlanmakta ve,

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g.h}} \qquad (6.8)$$

eşitliği ile gösterilmektedir. Bu eşitlikte; F_r = froude sayısı (boyutsuz), V = ortalama hız(m/s), g=yerçekimi ivmesi(9.81 m/s^2), h=sıvı derinliğini (m) göstermektedir.

Eğer F_r = 1 ise akım "kritik akım" şeklindedir. Bu durumda V = $\sqrt{g.h}$ olmaktadır. Eğer, Fr < 1 ise akım "kritik altı akım", Fr > 1 ise kritik üstü akım adını almaktadır. Kritik altı akımlara nehir akımı veya hızlı akım da denilmektedir.

6.8.2. Açık Kanal Akımlarının Sınıflandırılması

6.8.2.1 Düzenli ve Düzensiz Akım

Açık kanalda su derinliğinin zamanla değişmediği ve belirli zaman aralıklarında sabit kaldığı akımlara düzenli akım denir. Su derinliğinin zamanla

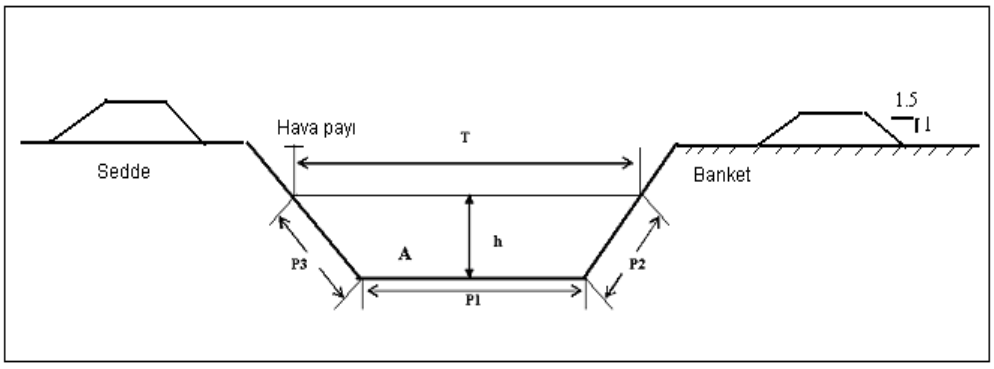
değiştiği akımlara ise düzensiz akım denilmektedir. Açık kanal problemlerinin çoğunda akım özelliklerini düzenli şartlarda incelemek gerekmektedir. Düzenli akım problemlerinin çoğunda debi, kanal boyunca sabit kalmakta diğer bir deyişle akımda süreklilik prensibi çerçevesinde geliştirilen süreklilik denklemi geçerli olmaktadır.

6.8.2.2. Üniform ve Üniform Olmayan Akım

Açık kanalda su derinliğinin kanal boyunca değişmediği akıma üniform, değiştiği akıma ise üniform olmayan akım denir. Kanal kapasiteleri belirlenirken akışların üniform olup olmaması göz önüne alınır.

6.9 Açık Kanal Geometrisi ve Eğim

Geometrik elemanlar kanal kesitinin özellikleri olup tamamen kesitin geometrik ve akım derinliği ile ilgili ilişkileri tanımlanmaktadır. Bu elemanlar açık kanal hidroliğinde, oldukça önemli olup akım hesaplama ve projelendirilmelerinde kullanılmaktadır. Açık kanal hidroliğinde en çok kullanılan kanal kesiti trapez (yamuk) olduğu için bu kesit geometrisi üzerinden kanal geometrik elemanları ifade edilecektir (Şekil 5.4).



Şekil 6.4 Kanal kesitinin geometrik elemanları

Su derinliği (h), kanal kesitinin serbest yüzeyden en alçak noktası arasındaki düşey mesafe, buna kısaca derinlik de denilmektedir. *Serbest yüzey genişliği* (T), kanal kesitinin serbest su yüzeyindeki genişliğidir. *Kesit alanı* (A), akım yönüne dik yönde ıslak kanal kesitinin alanıdır. *Islak çevre* (P), akımın ıslattığı yüzey

uzunluklarının toplamını göstermektedir (P = P1+P2+P3). *Hidrolik yarıçap* (R), kesit alanının ıslak çevreye oranı olup,

$$R = \frac{A}{P} \qquad (6.9)$$

eşitliği ile hesaplanır. Uzunluk birimi ile ifade edilir. *Hidrolik derinlik* (D), kesit alanının serbest yüzey genişliğine oranı olup,

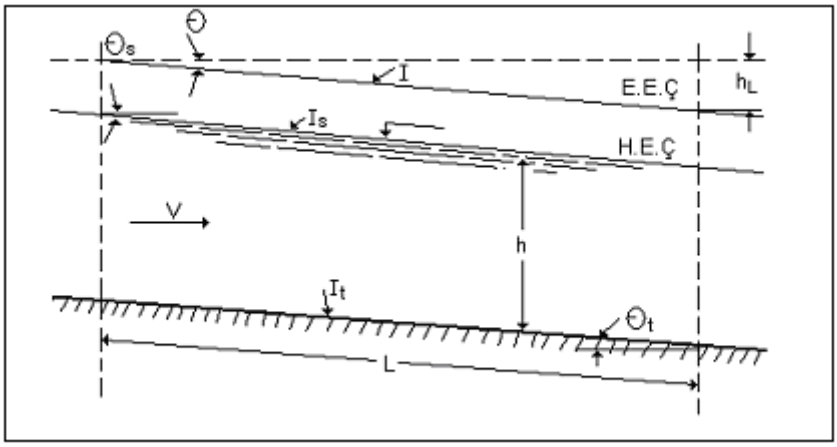
$$D = \frac{A}{T} \qquad (6.10)$$

eşitliği ile hesaplanır. *Kesit faktörü* (Z), kesit alanının hidrolik derinliğin karekökü ile çarpılmasına eşit olup,

$$Z = A\sqrt{D} \qquad (6.11)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Açık kanal akımında başlıca üç eğimden söz edilir (Şekil 5.5). Bunlar sırasıyla; kanal taban eğimi I_t, su yüzeyinin eğimi I_s ile enerji eğimi olup I sembolü ile ifade edilir. Açık kanallarda üniform akım şartlarında hidrolik eğim çizgisi, kanaldaki su derinliğine eşittir. Ayrıca üniform akım şartlarında kanal uzunluğu boyunca kesit alanı sabit olduğundan suyun hızı da sabit olacaktır. Bu nedenlerle kanal tabanı, su yüzeyi (hidrolik eğim çizgisi) ve enerji eğim çizgisi birbirlerine paraleldir.



Şekil 5.5. Açık kanallarda eğim

Kanal taban eğimi (I_t) ve su yüzeyi eğimi (I_s) terimleri; $I_t = \tan \theta_t$ ve $I_s = \tan \theta_s$

eşitlikleri ile bulunabilir. Bu eşitliklerdeki θ_t ve θ_s sembolleri sırasıyla kanal tabanının ve su yüzeyinin yatayla yapmış olduğu açıları göstermektedir. Enerji eğim çizgisi (EEÇ) veya hidrolik eğim çizgisi (H.E.Ç.) terimi ise;

$$I = \frac{hL}{L} \qquad (6.12)$$

eşitliği olarak tanımlanmakta olup bu eşitlikte; hL = Yük kaybı (m), L = Kanal boyunca ölçülen yatay uzunluk (m) değerlerini göstermektedir. Enerji eğimi Şekil 5.5 den de görüldüğü gibi θ açısının sinüs değerine eşittir.

Matematiksel olarak $I = \sin \theta$ eşitliği ile ifade edilmekte olup θ açısı enerji çizgisinin yatayla yapmış olduğu açıyı göstermektedir. Açık kanallarda genellikle taban eğimi 5 dereceden daha küçük olduğundan $\sin \theta \approx \tan \theta$ olarak alınabilir ve böylece üniform akım şartlarında $I_t = I_s \approx I$ eşitliği yazılabilir. Özetle üniform akım şartlarında kanal taban eğimi, su yüzeyi eğimi ve enerji çizgisi eğimi birbirine paralel ve eşit olmaktadır.

6.10 Açık Kanallarda Üniform Akım İçin Amprik Hız eşitlikeleri

6.10.1 Manning eşitliği

Açık kanallar için geniş çapta kullanılan en iyi formül olarak bilinen bu formül 1889 yılında Robert Manning tarafından geliştirilmiştir. Formüldeki n sembolü kanal çeper pürüzlülüğüne bağlı bir kat sayıyı göstermekte olup kanal özelliklerine göre n değeri 0.011 ile 0.047 arasında değişmektedir (Çizelge 6.4). Manning formülünün genel hız;

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \qquad (6.13)$$

eşitliği ile gösterilir.. Açık kanallarda hızın Manning formülününe göre hesaplanması diğer formüllere göre daha basit olduğu için günümüzde en yaygın olarak kullanılan formül olmuştur.

6.11 Açık Kanallarda Hız Dağılımı

Açık kanal akımlarında hız dağılımı kesit şekline, yüzey pürüzlülüğüne ve debiye bağlıdır. Açık kanalarda maksimum hız, su yüzeyinden 0.05-0.25 h derinlikte meydana gelir. Açık kanallarda maksimum hız, kanal çeperlerinden ve serbest su yüzeyinden en az etkilenen noktada meydana gelmektedir.

Çizelge 5.4 Manning eşitliğindeki n katsayıları

Kanal Özellikleri	n
Kaya	0.025-0.045
Toprak	0.020-0.040
Çakıl	0.040-0.070

Açık kanallarda ortalama hız ise genellikle serbest yüzeyden 0.6 h derinlikte meydana gelmektedir. Pek çok kanalda yapılan dikkatli ölçmeler 0.6 h derinliğinde ölçülen hız değerinin o düşey kesitteki ortalama hıza çok yakın olduğunu

göstermiştir. Bu düşey kesitte bir ölçmenin yapılması halinde uygulanması gereken derinlik değeridir. Ancak, gerçeğe daha yakın ortalama hız değerinin elde edilmesi istendiği hallerde serbest yüzeyden 0.2 h ve 0.8 h derinliklerinde ölçülen hızların ortalamasının alınması daha uygun olmaktadır.

6.12 Hidrolikçe En Uygun Kesit

Manning eşitliği ve süreklilik denklemi incelendiğinde; belirli bir kesit alanında debinin maksimum olabilmesi için hidrolik yarı çapın maksimum dolayısı ile ıslak çevreninde minimum olması gerektiği ortaya çıkmaktadır. İşte böyle bir kesite hidrolikçe en uygun kesit adı verilmektedir. Buna göre değişik şekildeki kesitlerden alanları ve pürüzlülükleri aynı fakat ıslak çevresi minimum olan kesite en uygun kesit denir.

$$Q = A \;.\; V = \frac{1}{n}.\; A \;.\; R^{2/3}.\; I^{1/2} \quad \text{ve} \quad R = \frac{A}{P}$$

eşitliğine bakılırsa verilen bir A değerinde Q nun maksimum olabilmesi için P nin minumum olması gerekir. Tüm kesit şekilleri arasında bu özelliği taşıyan şekil yarım dairedir. Yarım daire hidrolik açından en uygun kesit olmasına rağmen kazı maliyeti açısından ekonomik olmayabilir. Yapım kolaylıkları nedeniyle uygulamada kesit şekli olarak daha çok trapez kesit kullanılmaktadır.

6.12.1. Trapez Kanallarda En Uygun Kesit

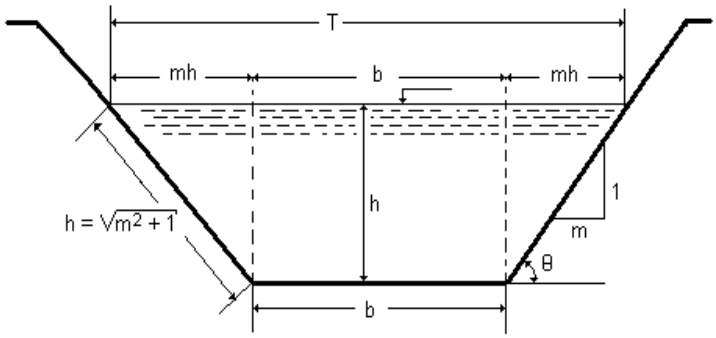
Şekil 6.6'da gösterilen yamuk kesit için A kesit alanı ve P ıslak cevre formüllerini yazarsak;

$$A = (b + mh)h \tag{6.14}$$

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2} \tag{6.15}$$

eşitlikleri elde edilir.

Kanal taban genişliği değeri, yukarıdaki kesit alanı A formülünden çekilirse; $b = \frac{A}{h} - mh$ olarak bulunur ve yukarıdaki P ıslak çevre eşitliğinde yerine



Şekil 6.6. Trapez kesitli kanallarda hidrolikçe en uygun boyutların elde dilmesi

yazılırsa,

$$P = \frac{A}{h} - mh + 2h\sqrt{1+m^2} \qquad (6.16)$$

şeklini alır.

Daha önce açıklandığı gibi en uygun kesit olabilmesi için ıslak çevrenin minimum olması gerekmektedir. Minimum olması için bu eşitliği A kesit alanı sabit tutularak su derinliği h'a göre türevinin alınıp sıfıra eşitlenmesi gerekir, Bu eşitlikte h'a göre türev alınması durumunda en uygun A kesit alanı;

$$A = h^2\left(2\sqrt{1+m^2} - m\right) \qquad (6.17)$$

olarak bulunur. Bu eşitlikten h teriminin çekilmesi ile;

$$h = \sqrt{\frac{A}{2\sqrt{1+m^2} - m}} \qquad (6.18)$$

olarak en uygun su derinliği eşitliği elde edilir.

En uygun hidrolik kesit alanı A, yukarıdaki ıslak çevre eşitliğindeki eşdeğeri yerine yazılıp gerekli kısaltmalar yapıldığı takdirde en uygun ıslak çevre değeri

$$P = 2h(2\sqrt{1+m^2} - m) \qquad (6.19)$$

olarak bulunur.

En uygun taban genişliği eşitliğinin elde edilmesi için daha önce bulunan iki A değeri birbirine eşitlenirse;

$(b+mh)h = 2h^2\sqrt{1+m^2} - mh^2$ elde edilir. (6.20)

ve gerekli kısaltmaların yapılmasından sonra en uygun taban genişliği;

$b = 2h(\sqrt{1+m^2} - m)$ olarak elde edilir. (6.21)

En uygun hidrolik yarıçap eşitliği bulunurken daha önce bulunan en uygun kesit alan ve ıslak çevre R = A/P eşitliğinde yerine yazılır ve gerekli kısaltmalar yapılırsa;

$$R = \frac{A}{P} = \frac{h^2(2\sqrt{1+m^2} - m)}{2h(2\sqrt{1+m^2} - m)} \qquad (6.22)$$

$$R = \frac{h}{2} \qquad (6.23)$$

olarak en uygun hidrolik yarıçap eşitliği elde edilir. Eşitlikten de görüldüğü gibi en uygun kesitte hidrolik yarıçap, su derinliğinin yarısına eşit olmaktadır.

En uygun serbest yüzey genişliği (T), formülünün elde edilmesi için;

$$T = b + 2mh \tag{6.24}$$

eşitliğindeki b değeri yerine daha önce bulunan en uygun taban genişliğinin yazılması ve gerekli kısaltmaların yapılması sonucunda;

$$T = 2h(\sqrt{1+m^2} - m) + 2mh \tag{6.25}$$

$$T = 2h\sqrt{1+m^2} \tag{6.26}$$

olarak en uygun serbest yüzey genişliği formülü elde edilir.

6.13. Özgül Enerji ve Kritik Derinlik

Açık kanallarda kanal tabanına göre hesaplanan akım enerjisine özgül enerji denir. Her hangi bir kesitte tabandan itibaren sahip olunan özgül enerjinin E harfi ile gösterilmesi halinde bunun değeri;

$$E = h + \frac{V^2}{2g} \text{ veya } \quad E = h + \frac{Q^2}{2gA^2} \tag{6.27}$$

olarak ifade edilebilir.

Debiyi maksimum yapan derinliğe “kritik derinlik” adı verilmekte ve h_c sembolü ile gösterilmektedir. Dikdörtgen kesit için kritik derinlik;

$$h_c = \frac{2}{3}E \text{ ile bulunur.} \tag{6.28}$$

$$q_{\max} = \sqrt{g.h_c^3} \tag{6.29}$$

olarak maksimum debi değeri elde edilir.

Kritik derinlikteki akımın hızına *"kritik hız"* ve debi değerine de *"kritik debi"* adı verilmekte ve sırasıyla V_c ve $q_c = q_{max}$ sembolleri ile gösterilmektedir. Kritik hız,

$$V_c = \sqrt{g.h_c} \qquad (6.30)$$

eşitliği bulunur.

6.14. Sabit Debi İçin Özgül Enerjinin Değişimi

Debinin sabit olması halinde her hangi bir kesitte kanaldaki enerji değişim Şekil 5.8 ile gösterilebilir. Şekilden de anlaşılacağı üzere sabit bir debinin kanaldan akabilmesi için özgül enerjisinin, E_{min} değerine eşit veya büyük olmalıdır ($E \geq E_{min}$).

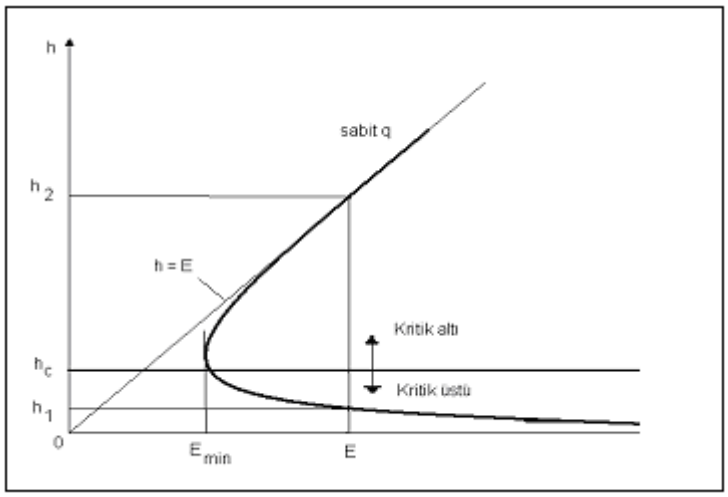
Akım boyunca kanalın her hangi bir kesitindeki E özgül enerji için h_1 ve h_2 olmak üzere iki farklı derinlik mevcuttur. Başka bir ifade ile sabit debili bir akımı bilinen bir E özgül değeri için iki farklı derinlikte akıtmak mümkündür. Bu derinliklerden biri kritik derinlikten küçük ($h_1<h_c$) olan sel rejimi akımıdır. Diğeri ise kritik derinlikten büyük ($h_2>h_c$) olan nehir rejimi akımıdır.

Dikdörtgen kanalın birim genişliği başına debisi q ile gösterilirse bu durumda q = Q/b formülü ile bulunabilir. Bu durumda minimum enerji ise $E_{min} = \frac{3}{2} h_c$ olur.

Gerçek derinliği ve hızı, kritik değerler ile karşılaştırarak, yersel akış koşulları belirlenebilir:

h> h_c, v < v_c: kritik altı akış (Fr<1) h< h_c, v > v_c: kritik altı akış (Fr>1)

Eğer kritik kanal akışı üniform olarak sabit derinlikte hareket ediyor ise bu durumda I = I_c olur ve I_c 'ye kritik eğim denir. Açık kanal taban eğimininin kritik eğim değerinden küçük veya büyük olma durumuna göre akım rejimleri farklı olmaktadır. Örneğin üniform akım şartlarında, aynı kesit ve debi değeri için kanal



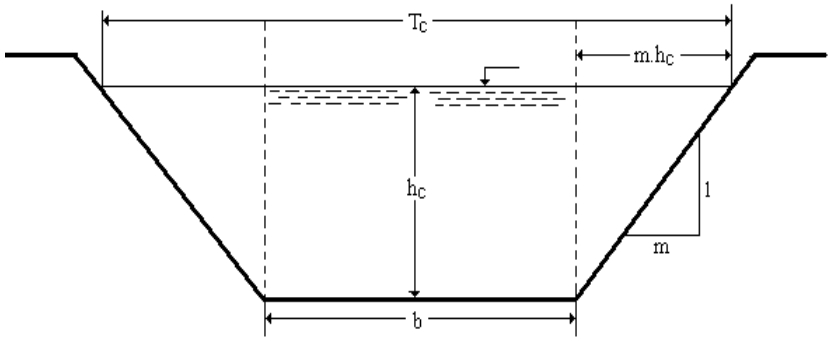
Şekil 5.8.Sabit debi için özgül enerji değişimi

eğiminin, kritik eğimden küçük olması yani $I<I_c$ olması halinde bu kanalda akım nehir rejiminde yani yüksek akım (kritik altı akım) halindedir. Kanal eğiminin kritik eğimden büyük olması yani $I > I_c$ olması halinde bu kanalda akım, sel rejimi yani alçak akım (kritik üstü akım) halindedir.

Sel rejiminde akımın hızı büyük ve kinetik enerji de fazla olacağından kanalda erozyon sorunu ortaya çıkabilir. Buna karşılık nehir rejiminde de akım hızı küçük olacağından kanalda sedimentlerin çökelmesi demek olan sedimentasyon sorunu ortaya çıkabilir. Kritik altı rejimden kritik üstü rejime geçiş, kontrol kesiti adı verilen olaya neden olur. Kritik üstü rejimden kritik altı rejime geçiş halinde ise hidrolik sıçrama adı verilen olay meydana gelir. Hidrolik sıçrama olayı genellikle; (1) Suyun dik eğimli kanaldan tatlı eğimli kanala geçişinde, (2) Dik kapakların gerisinde, (3) Dolu savakların topuğunda, (4) Şut ve düşülerin topuğunda meydana gelmektedir. Hidrolik sıçrama olayında akım sel rejiminden atlama yaparak nehir rejimine geçmekte dolayısıyla su derinliği artmaktadır. Bu sırada su derinliği kritik derinlikten geçmekte diğer bir deyişle kritik derinlik oluşmaktadır.

Kanal eğiminin veya kesitinin ani değişikliği nedeniyle su yüzeyinde meydana gelen aşırı bir alçalma sonucunda akımın hızla nehir rejiminden sel rejimine geçişi şeklindeki yersel olaya hidrolik düşü denilmektedir.

Yamuk kesitli bir kanalda kritik derinlik ve kritik hız değerlerinin bulunması için kullanılacak formüller aşağıda verilmiştir. Formullerde kullanılacak semboller Şekil 5.10' da gösterilmiştir.



Şekil 5. 10. Yamuk kesitli kanallarda kritik hız ve derinlik

Yamuk kesit için serbest yüzey genişliği (T_C) ve kesit alanı (A_C) eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

$$T_C = b + 2m \ . \ h_C \tag{6.31}$$

$$A_C = \left(b + m \ . \ h_C\right) h_C \tag{6.32}$$

Kritik hız eşitliği;

$$V_C = \sqrt{g \ . \ \frac{A_C}{T_C}} \tag{6.33}$$

olarak elde edilir. Yukarıda yazılan Ac ve Tc değerleri yerine konursa;

$$V_C = \sqrt{g \ . \ \frac{\left(b + m \ . \ h_C\right) h_C}{b + 2m \ . \ h_C}} \tag{6.34}$$

elde edilir.

Yamuk kesitli kanallarda kritik derinliği veren ilişkinin fazlaca karışık olması nedeniyle;

$$E = h_C + \frac{A_C}{2.T_C} \qquad (6.35)$$

kısaltmasının kullanılmasıyla yamuk kesitli kanal için kritik derinlik formülü;

$$h_C = \frac{4m\ .\ E\ -3b+\sqrt{16m^2.\ E^2+16m\ .\ E\ .\ b+9b}}{10\ \ m} \qquad (6.36)$$

olarak elde edilir. Eger b = 0 ise yani kanal kesiti üçgen ise; $h_c = \frac{4}{5}E$ elde edilir. Yani üçgen kesitli kanallarda kritik derinlik özgül enerjinin 0.8 ine eşittir.

Çözümlü Problemler

1. Yamuk kesitli toprak bir kanalın şev eğimi 1:2, debisi 45 $m^3 s^{-1}$ ve hız değeri 1.2 m s^{-1} dir. Toprak kanal için n pürüzlülük katsayısı n = 0.025 olarak verilmiştir. Bu verilen değerlere göre maksimum debiyi geçirecek şekilde bu kanalı boyutlandırınız ve kanal taban eğimini bulunuz.

Çözüm:

Bu kanalın maksimum debiyi geçirecek şekilde boyutlandırılması için ıslak çevresinin minimum olacak biçimde yani en uygun kesit halinde bulunması gerekmektedir:

Kesit alanı; $A = \frac{Q}{V} = \frac{45}{1.2} = 37.5m^2$

En uygun su derinliğinin bulunması;

$A = \mathrm{h}^2(2\sqrt{1+m^2} - m)$ eşitliğinde bilinen değerlerin yerine konulup h için çözümlenmesiyle;

$$37.5 = h^2(2\sqrt{1+2^2} - 2)$$

$$h^2 = \frac{37.5}{2\sqrt{5}-2} = \frac{37.5}{2.47} = 15.18$$

$$h = \sqrt{15.18} = 3.89m$$

En uygun taban genişliğinin bulunması;

$$b = 2h\ (\sqrt{1+m^2} - m)$$

eşitliğinde bilinen değerlerin yerine konulması sonucunda;

$$b = 2(3.89)\left(\sqrt{1+4} - 2\right) = (7.78)(0.24)$$

$$b = 1.87m$$

En uygun ıslak çevre değerinin bulunması;

$$P = 2h\left(2\sqrt{1+m^2} - m\right)$$

eşitliğinde bilinen değerlerin yerine konulması ile;

$$P = 2(3.89)\left(2\sqrt{1+4} - 2\right) = (7.78)(2.47)$$

$$P = 19.22\ \ m$$

En uygun hidrolik yarıçap değerinin bulunması;

$$R = \frac{h}{2} \quad \rightarrow \quad R = \frac{3.89}{2} = 1.95\ \ m$$

En uygun serbest yüzey genişliğinin bulunması,

$$T = 2h\sqrt{1+m^2}$$

eşitliğinde bilinen değerlerin yerine konulması sonucunda,

$$T = 2(3.89)\left(\sqrt{5}\right) = (7.78)\ \ (2.24)$$

$$T = 17.43\ \ m$$

En uygun kanal taban eğimi (I) nin bulunması Manning formülünün uygulanması suretiyle olacaktır. Bu eşitlikte bilinenlerin yerine konulması ve taban eğimi (I) için çözümlenmesiyle,

$$V = \frac{1}{n}.R^{2/3}.I^{1/2}$$

$$I = \left(\frac{V}{\frac{1}{n}.R^{2/3}} \right)^2$$

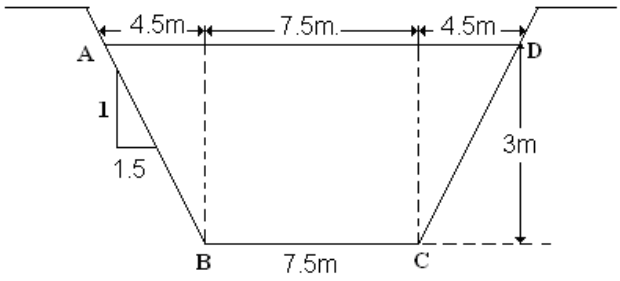
$$I = \left(\frac{1.20}{\left(\frac{1}{0.025}\right)(1.95)^{2/3}} \right)^2 = \left(\frac{1.20}{(40)\ (1.561)} \right)^2 = (0.0192)^2$$

$$I = 0.0004$$

olarak kanal taban eğimi elde edilir.

2. Taban genişliği 7.5 m, şev eğimi 1:1.5 akım derinliği 3 m ve eğimi 0.0001 olan yamuk kesitli bir kanalda, n = 0.035 için debiyi hesaplayınız?

Çözüm



:

$$3 \times 1.5 = 4.5 \ \ m$$

$$A = \frac{a+b}{2}.h \Rightarrow \frac{7.5+16.5}{2}5 = 36 \ \ m^2$$

$$P = ıslak \ \ çevre \qquad (4.5)^2 + (3)^2 = |AB|^2$$

$$\sqrt{29.25} = |AB|$$

$$AB = 5.41 \ \ m$$

$$P = AB + BC + CD \Rightarrow 5.41 + 7.5 + 5.41 = 18.32 \ \ m$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{36 \ \ m^2}{18.32 \ \ m} = 1.97 \ \ m$$

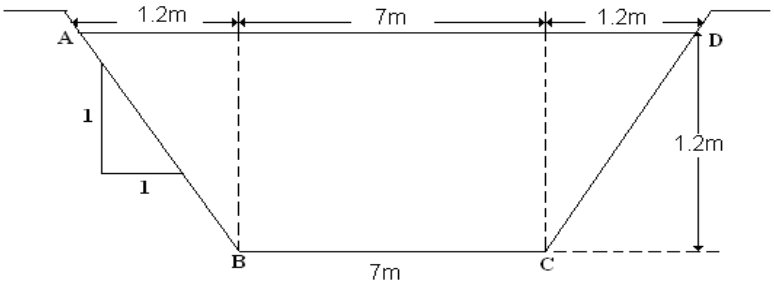
$$Q = A \ . \ V$$

$$Q = 36\frac{1}{0.035}(1.97)^{2/3}(0.0001)^{1/2}$$

$$Q = 36 \times 28.57 \times 1.572 \times 0.01$$

$$Q = 16.16 \ \ m^3/s$$

3. Taban genişliği 7000 mm, şev eğimi 1:1, akım derinliği 1200 mm ve eğimi 0.00085 olan yamuk kesitli bir kanalda, n = 0.03 için debiyi hesaplayınız.



Çözüm:

$$A = \frac{7 + (1.2 + 7 + 1.2)}{2}1.2$$

$$A = \frac{9.4+7}{2}1.2 = \frac{16.4}{2}1.2 \Rightarrow \qquad A = 9.84 \ \ m^2$$

$$P = ıslak\ \ çevre \Rightarrow (1.2)^2 + (1.2)^2 = |AB|^2$$

$$AB = 1.697\ \ m$$

$$P = AB + BC + CD \Rightarrow 1.697 + 7 + 1.697 = 10.394\ \ m$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{9.84\ \ m^2}{10.394\ \ m} = 0.947\ \ m \Rightarrow Q = A\ .\ V$$

$$Q = 0.947 \frac{1}{0.03} (0.947)^{2/3} (0.00085)^{1/2}$$

$$Q = 0.947 \times 33.33 \times 0.964 \times 0.029 \Rightarrow Q = 0.88\ \ m^3/s$$

4. Yamuk kesitli toprak kanalın şev eğimi1/1.5 (m = 1.5), verdisi 28 m^3/s ve hızı 1.1 m/s olarak verilmektedir. Bu verilenlere göre maksimum verdiyi geçirecek şekilde bu kanalı boyutlandırınız ve kanal taban eğimini bulunuz. n = 0.016 alınacaktır.

Çözüm:

Kanalın maksimum verdiyi geçirecek şekilde boyutlandırılması için ıslak çevresinin minimum olması ve boyutlandırılmanın buna göre yapılması gerekir.

Kesit alanı (A);

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{28\ \ m^3/s}{1.1\ \ m/s} = 25.45\ \ m^2$$

Su derinliği (h);

$$h = \left(\frac{A}{2 \times \left(1 + m^2\right)^{1/2} - m} \right)^{1/2} = \left(\frac{25.45\ \ m^2}{2 \times \left(1 + 1.5^2\right)^{1/2} - 1.5} \right)^{1/2} = 2.26\ \ m$$

Kanal tabanı genişliği (b);

$$b = 2.y.\left(\left(1 + m^2\right)^{1/2} - m\right) = 2.\left(2.26\ \ m\right).\left(\left(1 + 1.5^2\right)^{1/2} - 1.5\right) = 1.37\ \ m$$

Islak çevre (P);

$$P = 2.h.\left(2.\left(1+m^2\right)^{1/2} - m\right) = 2.(2.26\ \ m).\left(2\times\left(1+1.5^2\right)^{1/2} - 1.5\right) = 9.52\ \ m$$

Hidrolik yarıçap (R);

$$R = \frac{A}{P} = \frac{25.45\ \ m^2}{9.52\ \ m} = 2.67\ \ m = \frac{y}{2} = \frac{2.26\ \ m}{2} = 1.13\ \ m$$

Serbest yüzey genişliği (B);

$$b = 2.h.\left(1+m^2\right)^{1/2} = 2.(2.26\ \ m).\left(1+1.5^2\right)^{1/2} = 8.15\ \ m$$

Eğim (S_0);

$$S_0 = \left(\frac{V.n}{R^{2/3}}\right)^2 = \left(\frac{1.1\ \ m/s\times 0.016}{\left(2.67\ \ m\right)^{2/3}}\right)^2 = 0.000084$$ olarak bulunur.

7. YÜZEY ALTI DRENAJI

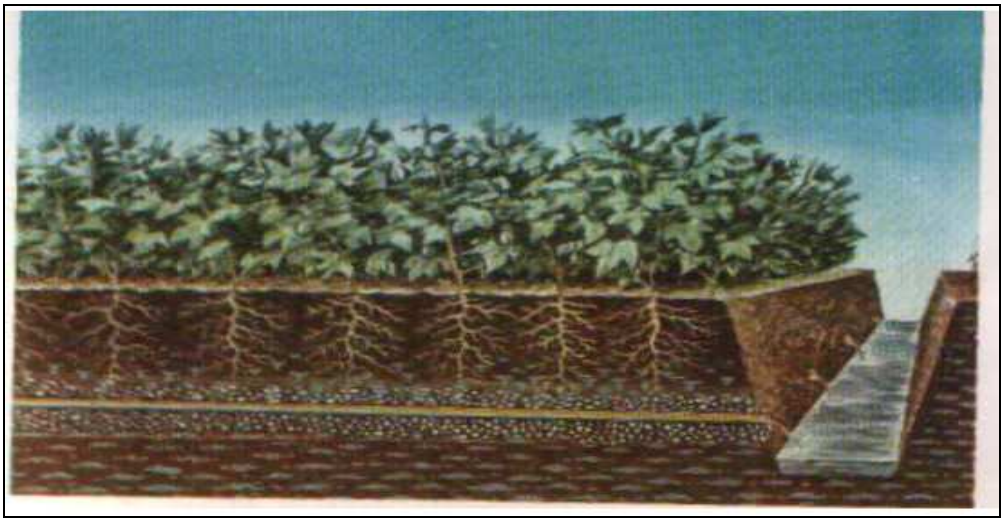
Taban suyu veya yeraltı suyu drenajı olarak ta tanımlanır. Yüzey altı drenajı; bitki kök bölgesindeki fazla suyun bitkiye zarar vermeyecek bir sürede uzaklaştırılmasıdır. Yağışlı bölgelerde veya bir yağış olayından sonra, taban suyunun belli bir düzeyden yukarı çıkmaması veya sabit beslenme koşullarında belli bir düzeyde tutulması için yüzey altı drenaj sistemleri kurulurlar. Bu bölgelerde yer altı suyunun kaynağı yağışlar, sulama suları ve sızmalardan biri veya birkaçı olabilir. Taban suyu düzeyinin denetimini sağlamak için yapılacak sistemlerin tasarımlanması beslenme koşullarına göre formüle edilir. Taban suyu düzeyinin ne olması gerektiği, yetiştirilen bitkilere, taban suyunun niteliğine ve toprak yapısına göre değişir.

Yüzey altı drenaj sistemleri açık hendeklerden veya toprak altına yerleştirilen borular borucuklardan veya kuyulardan oluşabilir. Boru ve hendeklerden oluşan drenaj sistemleri yatay veya horizontal drenaj sistemleri olarak ta adlandırılır. Fazla suyun beslenme koşullarına veya toprakların katmanlaşmasına veya bölgedeki aküferin özelliğine göre yüzey altı drenaj sistemleri düşey-kuyulu sistemler şeklinde de yapılabilir. Yüzey altı drenajın diğer bir şekli ise su iletkenliği düşük üst toprağa sahip alanlarda toprak işleme derinliğinin altında açılan köstebek (mol) drenlerdir. Yüzey altı drenajı değişik çevrelerde ve yayınlarda kapalı drenaj, derin drenaj, çiftlik drenajı, tarla drenaj sistemleri şeklinde de adlandırılmaktadır.

Yüzey altı drenajın temel amacı kök bölgesindeki fazla suyun kurulacak bazı sistemlerle uzaklaştırılmasıdır. Bunlar açık kanallar veya üstü kapalı borulu drenaj sitemlerdir. Başka bir deyimle toprak altı drenajı açık drenaj kanalları ile veya üstü kapalı borulu sistemlerle yapılabilir.

Bir tarla içi yüzey altı drenaj sistemi Şekil 7.1’de ve 7.2’de gösterilmiştir. Anılan şekillerin ilkinde emici dren borusu toprak altında kum çakıl zarf malzemesi

içine döşenmiş ve üstü kapatılarak açık bir drenaj kanalına bağlanmıştır. İkincisinde ise emici drenler aynı şekilde üstü kapalı bir toplayıcı boruya bağlanmıştır. Toplayıcı boru ise taşıdığı suyu açık drenaj kanalına boşaltmaktadır. Görüldüğü gibi emiciler ve toplayıcılar boru veya açık hendek olabilirken, ana drenler açık hendek şeklinde inşa edilirler.



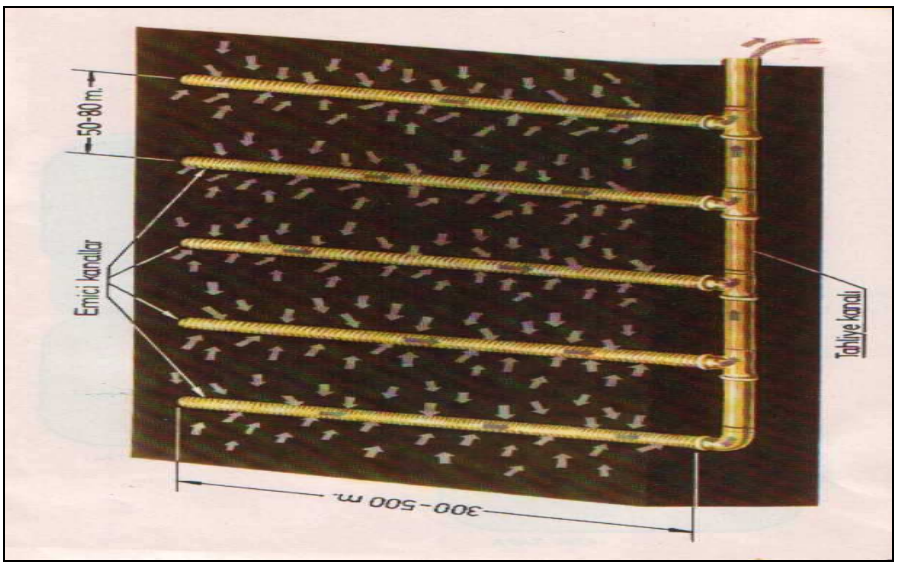
Şekil 7.1 Toprak altı drenaj sisteminin şematik gösterimi

Yüzey altı drenaj sistemleri işlevleri bakımından tarla içi drenler (emiciler), toplayıcılar ve ana drenlerden oluşur. Emicilerin görevi tarla içindeki su tablası düzeyini denetlemektir. Yüzey altı drenaj sitemlerinde su tablasının düzeyi ve konumu, emicilerin derinlikleri ile aralıklarına bağlı olarak değişir. Sık ve derin drenler fazla suyu hem daha hızlı ve hem de daha derinlere düşürürler. Ancak bu durumda sistem maliyeti artacağı gibi aynı, zamanda drenaj sorunu sulamalardan ileri gelen bölgelerde, özellikle kurak dönemlerde, sulama sistem kapasitelerinin yetersiz kalmasına neden olabilirler. Onun için anılan bölgelerde sistemler tasarımlanırken kuraklık riski gözden uzak tutulmamalıdır.

Emiciler sularını toplayıcılara, toplayıcılar ana drenlere iletirler. Ana drenler ise drenaj sularını uygun bir boşaltım noktasına taşırlar. Uygun boşaltım noktası genellikle ovanın en düşük kotlu noktası bir dere veya akarsu yatağıdır.

Bir drenaj sisteminin ana bileşenleri Şekil 7.3'te gösterilmiştir. Anılan şekilde görüldüğü gibi sistem tarla içinde açık, derin veya sığ hendekler veya mol drenlerle

veya kapalı dren boruları ile başlayabilir. Toplayıcılar açık kanal veya kapalı borulardan oluşabilir. İkincil, üçüncül ve ana drenaj kanalları açık toprak kanallardan oluşur. Bu şekilde taşınan fazla sular belli bir çıkış noktasına ulaşır.

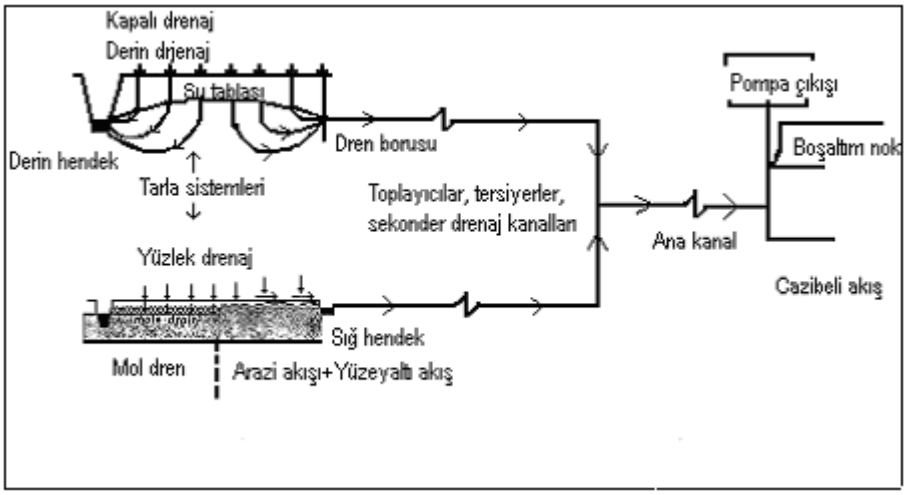


Şekil 7.2 Emici ve toplayıcıların kapalı olduğu tarla içi drenaj sistemi

Yağışlı bölgelerde veya drenaj sorununun yağışlardan ileri geldiği bölgelerde genellikle fazla suları boşaltan su yolları vardır. Drenaj sorununun sulamadan ileri geldiği kurak bölgelerde veya kapalı havzalarda fazla suların boşaltılmasında ise sık sık çıkış ağzı sorunu ile karşılaşılır. Aynı şekilde deniz ve göl kenarlarındaki alüvial ovalarda da uygun bir boşaltım noktası bulmak bazen sorun olabilir. Bu sorunu çözmek için oldukça pahalı yatırımlar gerekebilir.

Konya Ovasında kurulan drenaj sistemi buna iyi bir örnek olabilir. Konya Ovası kapalı bir havza olup kendi içinde alt havzalar içerir. Konya–Çumra Ovası 1900 ”ün başlarında Beyşehir Gölü suları ile sulanmaya başladıktan sonra, 20.yüzyılın ortalarında drenaj ve çoraklık sorunu giderek yaygınlaşmıştır. Ovada başlangıçta sulama sistemi kaplamasız toprak kanallardan oluşmaktadır ve drenaj sistemi yoktur. Drenaj toprakların kendi doğal yapıları içinde oluşmaktadır. Yağışlı bir kış dönemi sonunda 1969’da ovanın çok büyük bir bölümü su altında kalınca, fazla suyun boşaltılması için değişik seçenekler tartışılmış ve sonuçta bugünkü sistemin yapılmasına karar verilmiştir. Seçenekler arasında fazla suların bir tünelle (i)Akdeniz Havzasına boşaltılması, (ii) ovanın en düşük kotlu bölgesine bir depolama

tesisi yapılarak pompajla buraya aktarılması ve (ii) kapalı havza içinde başka bir alt havzaya boşaltılması bulunmaktadır.



Şekil 7.3 Bir drenaj sisteminin ana bileşenleri

Şu andaki sistemde fazla sular, iklim durumuna göre ortalama her yıl 100-150 milyon m^3, açık derin drenaj kanalları ve cazibe ile düşük kotlu bir alana taşındıktan sonra üç noktada inşa edilen pompa istasyonları ile 18 m yükseltilmekte ve yaklaşık 3 200 m uzunlukta 3 m yarı çaplı atnalı şeklinde bir tünelle kapalı havza içindeki başka bir alt havzaya, Cihanbeyli Ovasına ve oradan açık kanal ile Tuz Gölüne sıcak yaz döneminde buharlaşmak üzere boşaltılmaktadır.

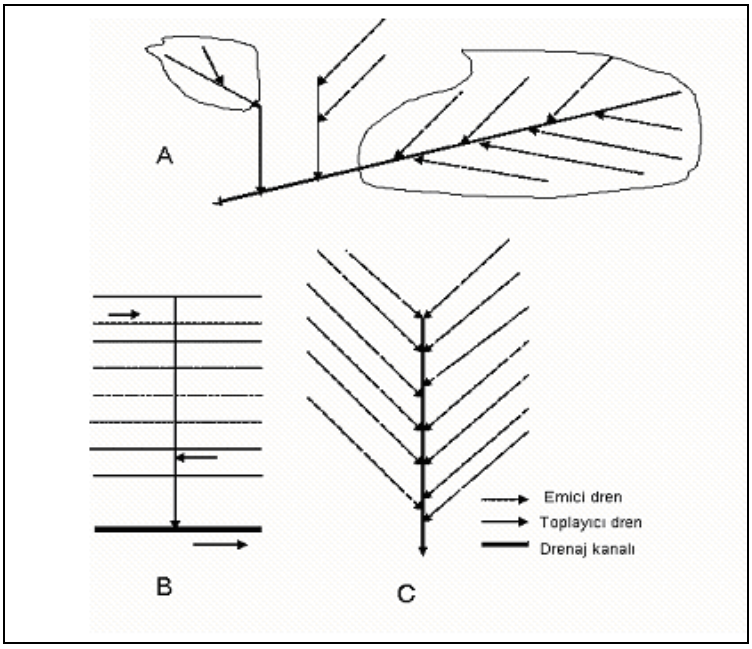
Açık drenaj sistemi olarak tasarımlanan bu sistem Çumra Ovasındaki tuzlanmayı ve aşırı sudan ileri gelen ürün kaybını önlemeye yetmemiş ve 1990'lı yıllarda 35 bin hektarlık alanda yüzey altı borulu drenaj sistemi inşa edilmiştir. Drenaj sisteminde tarla içi drenler 80-100 mm çaplı kıvrım plastik boru olup, toplayıcı ve sekonder kanalların elverdiği ölçüde 140-180 cm derinlikte ve 300–800 m uzunlukta döşenmiştir.

Sistemin hizmete girmesiyle Bahçeci ve ark. (2000), yapılan izleme ve değerlendirme çalışmasında yüzey sulama yapıldığı yıllarda topraklardan hızlı bir şekilde tuz yıkanmasının olduğu, yağmurlama sulamalarda ise yaz dönemi hafif te olsa tuz birikimi olduğu belirlenmiştir.

7.1 Boru Drenaj Sistemi Döşeme Desenleri

Emici drenlerin geçtiği yerler ve drenlerin toplayıcıya bağlanma şekilleri drenaj alanının yapısına ve toplayıcıya olan uzaklığına göre değişir. Drenler tek tek açık bir drenaj kanalına bağlanırsa bunlara tekil drenaj sistemi denir. Emici drenler açık bir drenaj kanalına bağlanmış kapalı bir toplayıcıya bağlanıyorsa, bunlara bileşik sistemler denir. Bu tür sistemlerde alt toplayıcı borular da olabilir.

Drenlerin döşenme deseni ve arazide düzenleniş şekilleri yaygın olarak üç şekilde yapılmaktadır. Bunlar;



Şekil 7.4 Bileşik bir borulu drenaj sisteminde farklı döşeme desenleri A- Rastgele sistem, B- Paralel sistem, C- Balık kılçığı sistemi

7.1.1 Doğal-rastgele sistem

Sadece ıslak alanlara emici drenlerin döşenmesi ve bunların bir toplayıcıya bağlanması şeklinde olan bileşik bir sistemdir (Şekil 7.4a). Bu sistem arazi topoğrafyasının dalgalı ve ıslak alanların ayrı ayrı yerlerde bulunduğu arazilerde uygulanır. Eğer ıslak alanlar büyükse bu durumda emiciler paralel veya balık kılçığı şeklinde döşenirler.

7.1.2 Paralel sistemler

Drenaj alanının tamamına emici drenlerin düzgün aralıklarla döşenmesi ve toplayıcıya dik açıyla bağlanmasıyla (Şekil 7.4b) kurulan sistemlerdir. Emiciler toplayıcıya bir veya iki taraftan bağlanabilir. Böylece boşaltım noktalarının sayısı azalır.

7.1.3 Balık kılçığı veya kaburgalı sistem

Toplayıcı boru hattının dar bir doğal çöküntüyü izlediği alanlarda eşit aralıklı, paralel emici drenler toplayıcı bir veya iki taraftan dar açılarla bağlanarak oluşturulan sisteme balık kılçığı veya kaburgalı sistem denmektedir (Şekil 7.4c). Bu sistemde toplayıcı dren hakim eğim yönünde döşendiğinden emici drenler istenilen eğimde döşenebilirler. Bunlar tekil veya bileşik sistem şeklinde olabilirler.

Bileşik veya tekil sistemlerden birinin seçilmesine açık drenaj kanallarına, yük kayıplarına ve fiyatlara bakılarak karar verilmelidir. Ayrıca bu sistemler aynı alanda birlikte grup sistemleri halinde kullanılabilirler.

Tekil bir sistemde daha yoğun bir açık kanal sistemine gerek vardır. Oysa açık drenaj kanalları araziyi parçalaması, fazla toprak kaybına neden olması, bakım zorluğu gibi taşıdığı bazı olumsuzluklar nedeniyle genellikle istenmez. Ancak yağışı yüksek bölgelerde yüksek depolama kapasitesi ve yüzey drenaj işlevi nedeniyle uygulanması arzu edilebilir.

Boru toplayıcılarda yük kaybı (hidrolik eğim 0.0005) açık kanallardan (hid. eğim 0.00015) daha fazladır. Onun için açık toplayıcı kanal eğim bakımından kazanım sağlar. Böylece 1000 m'lik bir toplayıcının ana drenaj kanalına bağlanması için açık toplayıcı kanalda 0.25 m, kapalı bir boruda ise 0.95 m'lik kot farkına gerek olacağı kolayca hesaplanabilir. Böylece su düzeyini tüm alanda denetlemek için A ve B gibi iki noktada boru toplayıcı için gerekli olan derinliğin açık kanaldan çok daha fazla olduğu kolayca görülebilir.

Özellikle pompa gereksinimi duyulan düz arazilerde bileşik sistemler önemli düzeyde ek maliyetlere neden olur. Onun için doğal eğimi yeterli alanlarda (0.001-0.002) ek yük kaybı yaratan bileşik sistemler uygulanmaktan kaçınılır.

Yüzey altı drenaj sistemi inşa edilmeden önceki mevcut açık kanalların yüzey drenaj sistemi gibi çalıştığı düz alanlarda bunların açık toplayıcılara dönüştürülmesi uygun olur. Tekil sistemler kolayca zarar gören çok sayıda borulu çıkış ağzına sahip olması nedeniyle arzu edilmez. Ancak, bunların bakımı kolaydır. Ayrıca önemli genel bir kural olarak boru toplayıcıların inşa maliyetleri yüksek olmasına karşın, uzun dönemde bakımları açık kanallardan çok daha düşüktür. Açık kanal veya hendeklerin her yıl temizlenmesi ve otlandığında oluşacak kapasite azalmasının önlenmesi gerekir.

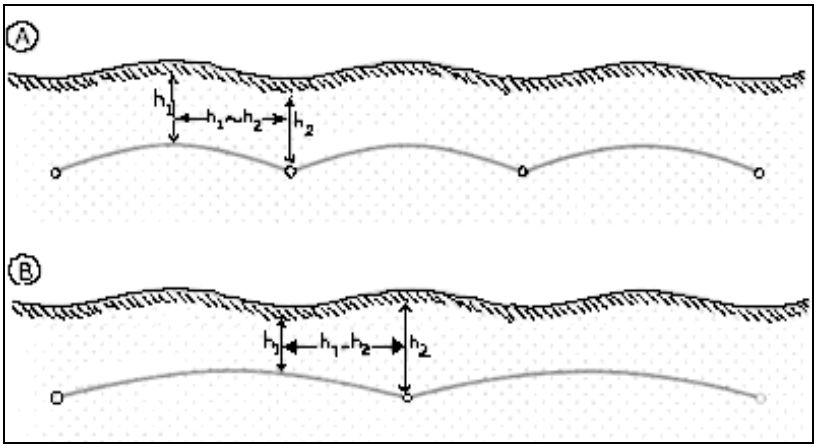
Sulanan alanlarda çiftlikler, tarla içi yolları, sulama kanalları gibi çok sayıda karmaşık yapılar olduğundan daha çok bileşik sistemler tercih edilir. Bu yönüyle açık toplayıcı kanallar çok fazla engelleyici olabilir. Arazi toplulaştırması yapılan ve alt yapısı tamamıyla yeniden düzenlenen veya yeni ıslah edilen alanlarda açık drenaj kanallar içeren tekil sistemler uygulama alanı bulabilir. Sonuçta bileşik sistemler eğimli arazilerde yaygın olarak sulanan kurak bölgelerde yeğlenirken, tekil sistemler sıcak iklime sahip düz arazilerde ve ara sıra sulanan kurak bölgelerde uygulandığı söylenebilir.

7.2 Dren Döşeme Yerleri ve Düzenleme

Drenlerin hangi aralıklarla ve arazideki hangi noktalardan geçirileceği harita üzerinde gösterilir. Bunun çok çeşitli sayıda çözümü bulunabilir. Ancak belirleyici olan iki ana faktör söz konusudur. Bunlar arazi topoğrafyası ve mevcut alt yapı sistemidir. Arazide düzgün bir eğim veya topoğrafik yapı yoksa tarla içi drenler olabildiğince arazideki çöküntü alanlarına döşenerek su tablasının arazinin her tarafında toprak yüzeyinden optimum derinlikte olması sağlanır (Şekil 7.5a). Oysa hesapla belirlendiği şekilde veya eşit aralıklı emicilerin döşendiği bir alanda Şekil 7.5b'deki gibi su tablası derinlikleri farklılıklar gösterebilir.

Düzgün, birörnek eğimin olduğu alanlarda toplayıcılar Şekil 7.6'da görüldüğü gibi, ana eğim yönünde ve eş yükselti eğrilerine dik, emiciler eşyükselti eğrilerine paralel döşenirler. Bu durumda emici drenlerin balık kılçığı şeklinde bağlanması eğim yönünden kazanım sağlar. Toplayıcıların eş yükselti eğrilerine paralel veya belli bir açı ile döşenmesi durumunda emiciler de buna bağlı olarak eğim yönünde ya

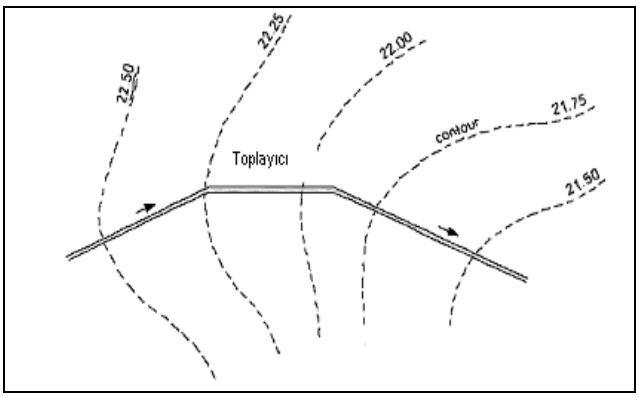
da belli bir açı ile döşenirler. Ancak bu durumda emicilerin toplayıcıya tek yandan bağlanma zorunluluğu ortaya çıkar (Şekil 7.6b - Şekil 7.6c).



Şekil 7.5 Arazi topografyası ve dren döşeme yerleri (ILRI, 1994)

Uzun doğal toplayıcıların varlığı ve yüksek maliyetler bu çözümleri ancak özel koşullarda uygulanabilir kılar.

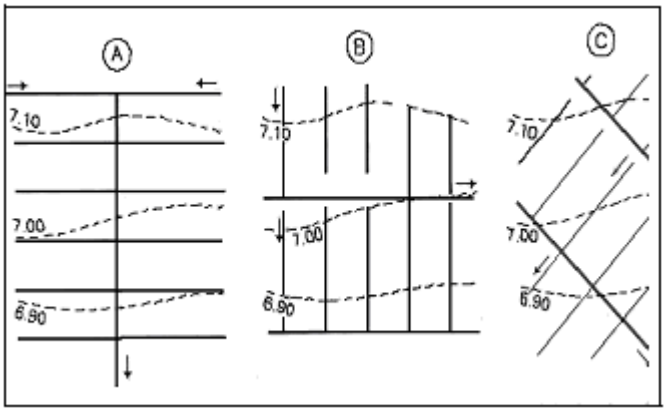
Altyapı varlığında döşenecek bir sistemde kesinlikle buna uyulması gerekir. Sadece yeni geliştirilen büyük ölçekli projelerde belirtilen akılcı çözümlerin uygulama olanağı vardır. Alt yapı çok eski ise bunlar kesinlikle düzgün olmaktan uzaktır ve bunlar için özel ödeneklerin konması gerekir. Bu gibi alanlarda borulu drenaj sisteminin desenlenmesi oldukça karmaşıktır.



Şekil 7.6 Toplayıcının eş yükselti eğrisine göre döşenmesi

Öncelikle boru drenlerin çiftlik sınırları arasına döşenmesi için gerekli boşlukların olup olmadığı belirlenmelidir. Bu durum yerden yere veya ülkeden ülkeye değişir.

İkincisi genel bir kural olarak boru drenler yollarla ve sulama kanalları ile kesişmemeli veya bu kesişmeler en az düzeyde olmalıdır. Ancak özellikle bileşik sistemlerde bazı kesişmeler kaçınılmazdır. Yine de genel bir kural olarak emici drenler üçüncül (tersiyer) sulama ve drenaj kanallarına paralel, toplayıcıların ise dik olarak döşenmesi önerilmektedir.



Şekil 7.7 Düzgün eğimli bir arazide borulu drenaj sisteminin döşenmesi

A-Toplayıcı eğime dik, emici paralel, B- Toplayıcı eğime paralel, C- Toplayıcı ve emici eğime açılı olacak şekilde düzenleme

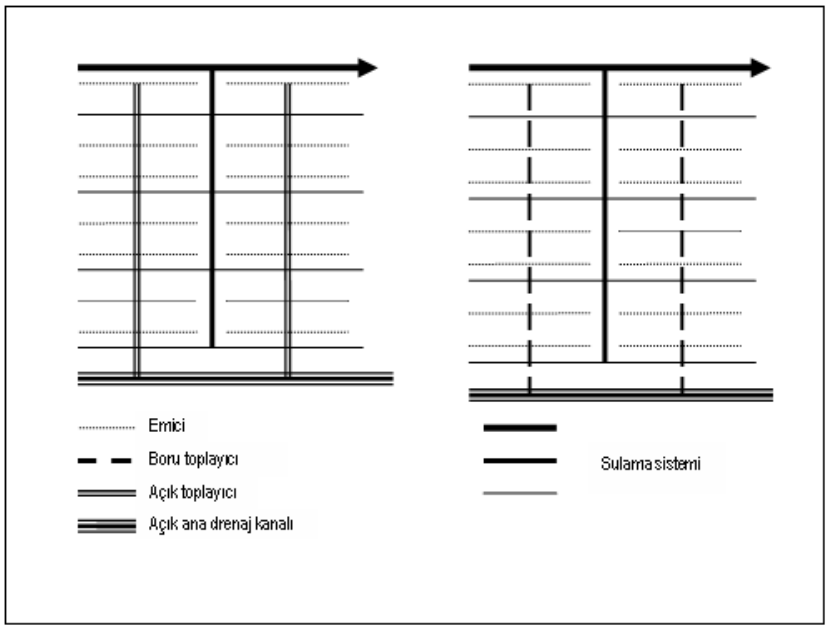
Yeni iyileştirilen veya arazi toplulaştırılması yapılan alanlarda bütün alt yapı ve sistem baştan başa yeniden tasarımlandığı için bu gibi alanlarda en uygun çözümlerin uygulanma olanağı bulunabilmektedir (Şekil 7.8). Bu durumda sulama ve drenaj sistemi işlevini en iyi şekilde yerine getirecek biçimde tasarımlanabilir. Bu gibi alanlarda arazi büyüklüleri, sulama ve drenaj kanallarının tasarımlanmasında herhangi bir kısıtlayıcı engel yoktur. Toprak ve topoğrafya özellikleri göz önüne alınarak en uygun tasarımlama yapılabilir.

Böylece hem etkili bir sulama ve hem de etkili bir drenaj sistemi tasarlama ve inşa edilme olanağı doğar.

Buğday ve mısır gibi daha az su tüketen bitkilerin de ekim desenine girdiği çeltik yetiştirilen alanlarda drenaj sistemleri az su tüketenlere göre planlanırlar. Oysa

çeltik yetişme döneminde tarlaların ve yaklaşık 0.1 m su altında kalması gerekir. Eğer önlem alınmazsa drenaj sistemi ile çok fazla miktarda su kaybolur. Mısırda çeltik ekili alanlarda 10 mm gün^{-1} dren verdileri ölçülmüştür.

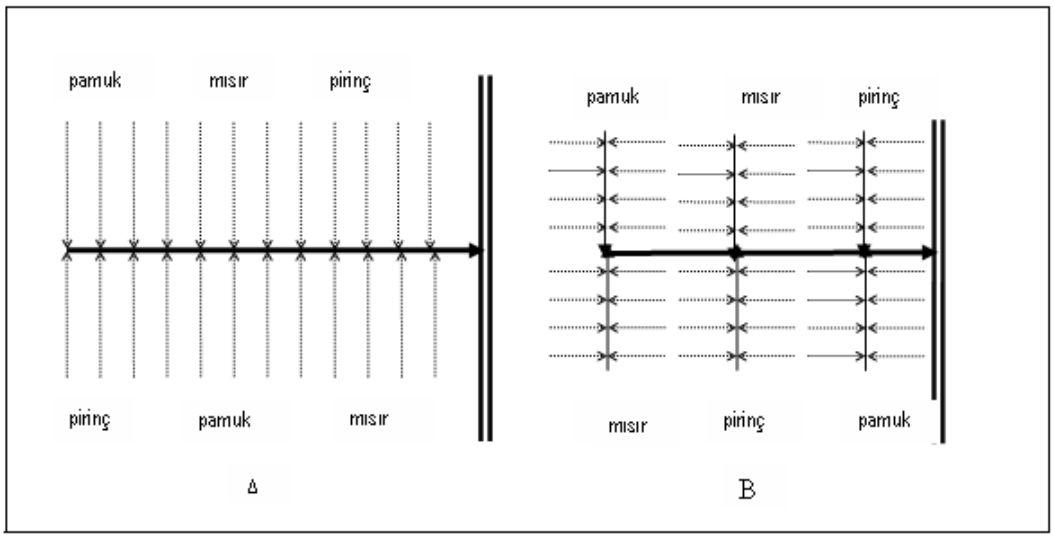
Eğer sulama sistem kapasitesi yeterince büyük değilse bu durumda sulama suyu yetersizliği ortaya çıkar. Su kaybını önlemek için dren akışlarının bazı yapılarla önlenmesi veya azaltılması gerekir.



Şekil 7.8 Arazi toplulaştırılması yapılan bir alanda sulama ve drenaj sistemi düzeni

Eğer buğday, mısır ve çeltik ekilen alanlara aynı toplayıcı hizmet ediyorsa sorun artarak devam edecektir. Özellikle yaz döneminde toplayıcılardan su akışı önlenirse buğday ve mısır yüksek taban suyundan zarar görecektir. Aksi durumda çeltik alanlarından aşırı su kaybı olacaktır. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak için su gereksinimleri farklı olan bitki gruplarının ekildiği alanlarda, birbirinden bağımsız drenaj birimlerinin oluşturulması gerekir. Ancak bir drenaj biriminin etki alanında bir bitki grubu ekili olmalıdır. Böylece gerektiğinde çeltik ekili bir alanda su düzeyi yüksek olsa bile diğer alanları etkilemeyeceğinden, herhangi bir sorun ortaya çıkmayacaktır. Aynı şekilde herhangi bir drenaj biriminde su düzeyinin az olması çeltik ekili alanı etkilemeyecektir.

Drenaj birimleri bir ana toplayıcıya bağlanan alt toplayıcılardan oluşur. Bu alt toplayıcının ana toplayıcıya bağlandığı yerlere inşa edilecek bağlantı yapılarında özel bir sistemle su düzeyi denetlenebilecektir (Şekil 7.9).



Şekil 7.9 Drenaj sisteminin görünüşü, A-Klasik sistem, B- Bitkilere göre ayrı ayrı bloklanmış sistem (ILRI, 1994)

7.3 Kontrollü ve Sığ Drenaj Sistemleri

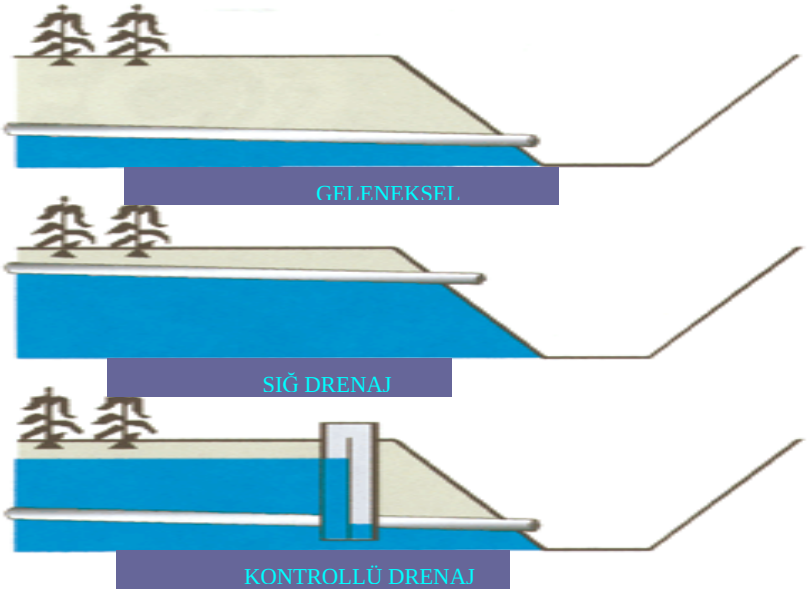
Geleneksel yüzey altı borulu yatay drenaj sistemleri inşa edildikten sonra bunlar denetleme olanağı yoktur. Bu yüzden sulanan alanlarda drenaj derine süzülmeyi artırarak, özellikle çeltik ekili alanlarda su yetersizliğine neden olmuştur. Bu yüzden çiftçiler dren borularını değişik maddelerle tıkayarak aşırı su kayıplarını önlemeye çalışmaktadırlar. Bu durum geleneksel drenaj sistemlerinde dren derinliğinin tartışılmasını gündeme getirmiştir. Böylece sığ drenaj ve kontrollü drenaj fikri ortaya çıkmıştır.

Toplayıcı çıkışlarına veya açık drenaj kanalları üzerine bazı denetim yapıları inşa edilerek su tablası denetlenmektedir. Böylece ekim döneminde su tablası düzeyini daha yükseklerde tutarak bitkilerin taban suyundan yararlanması amaçlanmaktadır.

Bu durumda denetim yapılarının denetlediği alanın tamamına aynı bitkinin ekilmesi gerekmektedir. Borulu drenaj sistemlerinde denetim yapılarının akışı

engellemesinin borularda silt birikimine neden olabileceği ve yüksek taban suyunun toprakta tuzlanmaya neden olabileceği endişesi yaratmıştır.

Bu konuların değişik bölge, toprak, bitki ve su kalitesi koşullarında araştırılması gerekmektedir.



Şekil 7.10 Kontrollü, sığ ve geleneksel drenaj sistemlerinin görünümü

8 TARIMSAL DRENAJ ÖLÇÜTLERİ

8.1 Drenaj Sistemlerinin Analizi

Tarımsal drenajın amaçları tarımsal arazileri korumak ve ıslah etmek, bitki verimini artırmak, daha değerli ürünlerin yetiştirilmesine olanak sağlayan ve yılda birden fazla ürün almasına olanak veren toprak koşulları yaratmak veya suya boğulmuş arazilerde üretim maliyetlerini azaltmak olarak sayılabilir. Belirtilen amaçların gerçekleşmesi; iki doğrudan ve çok sayıda dolaylı etki yaratır. Anılan bu doğrudan etkiler;

1. Toprakta depolanan suda bir azalma ve daha kuru bir toprak,

2. Sistemden boşalan bir su olup;

bunlar drenaj sisteminin fiziksel karakteristiklerinden, toprağın hidrolojik özelliklerinden ve hidrolojik koşulları tarafından belirlenir. Doğrudan etkiler bir çok dolaylı etkinin ortaya çıkmasına neden olur. Bu etkiler iklim, toprak, bitki, tarımsal uygulamalar ve sosyal, ekonomik ve çevresel koşullar tarafından belirlenir. Dolaylı etkilerin değerlendirilmesi doğrudan etkilerden çok daha zordur, ancak daha az önemli değildir.

Dolaylı etkiler fiziksel, kimyasal, biyolojik ve hidrolojik olup bunlar olumlu veya olumsuz yönde olabilir. Drenaj sisteminin kurulmasıyla daha kuru toprak koşulları nedeniyle ortaya çıkan;

-Olumlu etkiler; havalanmanın artması, kararlı bir toprak strüktürü, nitrojenin daha yaralı bir hale gelmesi, bitkilerin çeşitlenmesi, arazide çalışılabilirliğin artması, daha erken ekim, topraktaki geçici su depolamanın artması nedeniyle azalan pik boşalımları sayılabilir.

-Olumsuz etkiler; organik maddenin parçalanması, toprak çökmesi, asidifikasyon, sulama randımanların azalması, kuraklık riski, çevresel hasar.

-Olumlu veya olumsuz etkiler; otlar, böcekler ve bitki hastalıkları üzerine olumlu veya olumsuz etkilerde bulunabilir. Sonuçlar çevre koşullarına göre değişir.

-Boşalım nedeniyle olumlu ve olumsuz etkiler ortaya çıkabilir. Örneğin tuzlar ve zararlı maddeler topraktan uzaklaşır. Ancak bu durum bitki besin elementlerinin de aşırı yıkanmasına neden olur. Aşırı tuz boşalımı drenaj suyunun kalitesin düşürür ve çevreye zarar verir. Drenaj hendekleri, kanallar ve yapılar arazide hareketi kısıtlar veya engeller.

Dolaylı etkilerin bir çoğu karşılıklı olarak etkilenir. Hatta onların etkileri doğrudan etkiler üzerine olabilir. Örneğin;

1. Drenajın sonucu olarak daha intensif bir tarım yapılır ve bu bitki su tüketimlerini artırarak, daha fazla sulama yapılmadığı sürece, boşalımın azalmasına neden olur.

2. Daha kararlı bir toprak strüktürünün gelişmesiyle toprağın infiltrasyon kapasitesini artırarak yüzey akışın azalmasına neden olur.

8.2 Temel Tasarımlama Ölçütleri

Tarımsal drenaj sistemlerinin tasarımlanmasında üç temel ölçüt göz önüne alınır. Bunlar;

Tarımsal Drenaj Ölçütü (ADC); optimum bir drenaj sistemi mümkün olan en yüksek yarar ve en düşük maliyetle çevreye en az zarar veren bir sistemdir. Elde edilecek maksimum yarar tarımsal drenaj ölçütü olarak tanımlanır. Bu aynı zamanda sistemin etkinlik ölçütüdür.

Teknik Drenaj Ölçütü (TDC); mümkün olabilen minimum maliyet olarak tanımlanır ve bunda verimlilik veya maliyet etkinliği göstergedir.

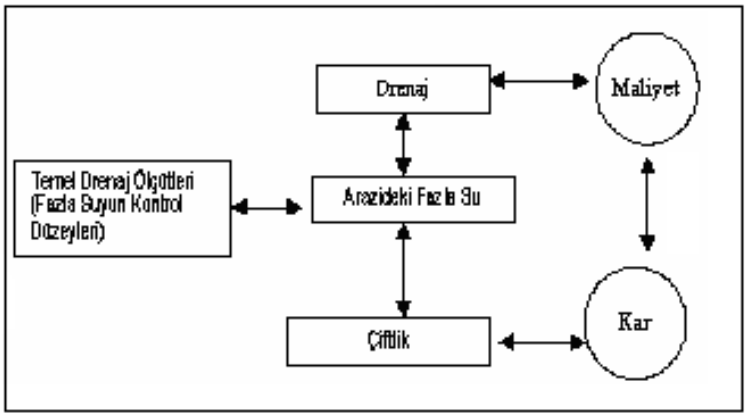
Çevresel Drenaj Ölçütü (EDC), sistemin çevreye zararını minimum olamsı şeklinde tanımlanır (Oosterbaan, 1994).

Drenaj ve arazideki aşırı su arasındaki ilişkiler, bu olgularla çiftçilik arasındaki ilişkiler, taban suyunu ve yüzey suyunu denetlemek için ölçütler değişik yollarla belirlenebilir. Arazideki fazla suyun kaynağı, dönemi ve bu suyun çiftlik ürünlerini ve çiftlik işlerini ne şekilde ve ne düzeyde etkilediğinin belirlenmesi gerekir.

Öncelikle fazla suyun ne düzeyde denetleneceği belirlenmelidir. Şekil 8.1'de görüldüğü gibi fazla su bir drenaj sistemi ile denetlenecekse, sistemin yüzey veya yüzey altı drenaj sistemi olması maliyetleri ve çiftlik işlerini etkileyecektir. Onun için, tasarımlama; sistemin maliyeti ve sonuçta sağlanacak yarar göz önüne alınarak yapılmalıdır. Kurak bölgelerde sulanan alanlarda taban suyunun aşırı düşürülmesiyle hem maliyet hem de bitkilerin su gereksinimi artar ve dolayısıyla sulama kanal kapasitelerinin artırılması gerekebilir. Diğer taraftan yüzlek-sığ taban suyu düzeyi tuzlanmaya neden olabilir.

8.2.1 Ölçütler için göstergeler

Yukarıda sayılan ölçütleri belirlemek için bazı etmenlere dayalı olarak elde edilen göstergeler kullanılır.



Şekil 8.1 Drenaj tasarımında göz önünde bulunması gerekli ilişkiler

Bunlar;

1- Drenaj tasarımı için su tablası göstergesi, tasarımlama ölçütlerini belirlerken su tablasının derinliği konumu ve hareketi sık sık bir gösterge olarak kullanılır. Çünkü su tablası derinliği bitki verimini, toprak tuzlanmasını hem de dren aralık ve derinliğini etkiler.

Tarımsal drenaj ölçütü olarak taban suyu düzeyi; tarımsal kazançları azaltmadan ve suya boğulma sorunları yaratmadan taban suyu tablasının toprakta izin verilen en yüksek düzeyi olarak tanımlanabilir. Su düzeyi, ölçütlerde belirlenmiş olan düzeyden yüksek ise tarımsal drenaj sistemlerinin kurulması veya var olan sistemin geliştirilmesi zorunluluğu ortaya çıkar. Drenaj sistemi suya boğulmayı

ortadan kaldırır, ancak su düzeyi aşırı düşürülürse, bu durumda aşırı drenajdan söz edilir (Oosterbaan, 1994).

Çiftlik gelirini en yükseğe çıkaracak taban suyu konumu ve taban suyunun bitki gelişimine zarar vermeden kök bölgesinde kalma süresi belirlenmeden önce, derinlik-süre-yinelenme analizi yapılması iyi bir gösterge olabilir. Su tablasının belli bir düzeyin üstüne çıkması yanında, bunun hangi dönemde olduğu da ayrıca önem taşır. Dünyadaki bazı çalışmalarda aşağıdaki su tablası göstergelerinin kullanıldığına rastlanmaktadır.

1- Hasat dönemindeki su tablası derinliği,

2- Yağışlı dönemde su tablası derinliği,

3- Sulama mevsiminde ortalama su tablası derinliği,

4- Bitki gelişme döneminde su tablasının belli düzeylere çıkma sıklığı veya gün sayısı,

5- Su tablasının günlük olarak belli bir düzeyin üstünde kalma süresinin toplamı,

6- Su tablasının belirli bir kritik düzeyden daha güvenli bir düzeye düşme süresi,

7- Sulama ve yağışlardan sonra su tablasının belli bir sürede belli bir derinliğe düşmesi.

Su tablasının yüksekliği ve bu yüksekliğe ulaşma sıklığı ve en fazla ne olmalı sorusunun yanıtı ise toprak, bitki ve iklim koşullarına bağlıdır. Bu ölçüt optimum su tablası düzeyi olup; bitkiler için en iyi toprak-hava-su ilişkisini sağlayan su derinliğidir. Ancak burada unutulmaması gereken nokta, su düzeyinin hep aynı derinlikte tutulamayacağı, veya sabit, değişmeyen bir su tablası düzeyinin olmayacağı ve bitkiler için su düzeyinin en uygun derinlikte değil de en ekonomik derinlikte olmasının gerekliliğidir.

Taban suyu tablasının yükselmesinin neden olacağı zarar, bitki yetişme dönemine göre değişecektir. Onun için belirlenen ölçütler yerel deneyimlerle birlikte kullanılmalıdır. Taban suyu yükselmesinin hangi dren derinliğinde ve hangi sıklıkta olduğunun belirlenmesi gerekir. Aksi takdirde çok seyrek ya da hiç olmayacak olayların ölçüt olarak uygulanma riski doğar.

Su tablası drenlerin üzerinde belli bir düzeye yükseldiğinde drenlerde belli bir düzeyde akış olmalıdır. Bu bakımdan q/h ve h/q oranı bir ölçüt olarak alınabilir. Ani beslenme durumunda su tablası drenler üzerinde kritik bir yüksekliğe ulaştığında (h_o) drenaj sistemi su tablasını belli bir sürede (t), belli bir düzeye (h_t) düşürecek şekilde işlevini yerine getirmeli, onun için h_t/h_o oranı drenaj ölçütü olarak alınabilir.

Düşük h/q değerleri sistemdeki drenaj şiddetinin bir göstergesidir. Böyle bir sistem yüksek beslenme düzeylerinde başarılı olabilir. Yüksek h/q değerlerine sahip bir sistemden daha düşük tabansuyu düzeyi sağlar. Kuzey Avrupa ülkelerinde h/q=55-100 arasındaki değerler genellikle yeterli sayılmaktadır (Oosterbaan, 1994).

Tarımsal drenaj ölçütü olarak su tablası ile ilgili olarak önerilen durumlar ise, (i) su tablasının yılda 1-2 defa 0.3 m'ye, hatta toprak yüzeyine kadar kısa bir dönem için yükselmesinin sakınca yaratmayacağı, (ii) sulanan alanlarda uzun dönem drenaj ölçütü olarak kararlı koşullarda sulama mevsiminde ortalama taban suyu derinliğinin en 0.8 m olmasının yeterli, ancak 1.0 m"den derin olmasına gerek olmadığı, (iii) yağışlı bölgelerde yağışlı dönemde ortalama su tablası derinliğini 0.6 m olmasının yeterli olduğu ve 0.8 m'den daha derin olmasının gerekli olmadığına literatürde rastlanmaktadır (Ritzema, 1994). Her durum için dren boşalımları, su dengesi hesaplamaları ile elde edilir.

8.2.2. Mühendislik ölçütleri

Drenaj sisteminin tipine göre tasarımlamada kullanılacak mühendislik ölçütleri de farklılık gösterir. Mühendislik ölçütlerinin amacı drenaj sisteminin etkinliğine bağlı olarak maliyeti en aza indirmektir. Etkili bir drenaj sitemi en az girdi ile en iyi çalışan ve tarımsal ölçütlerde belirtilen koşulları sağlayan sistemdir.

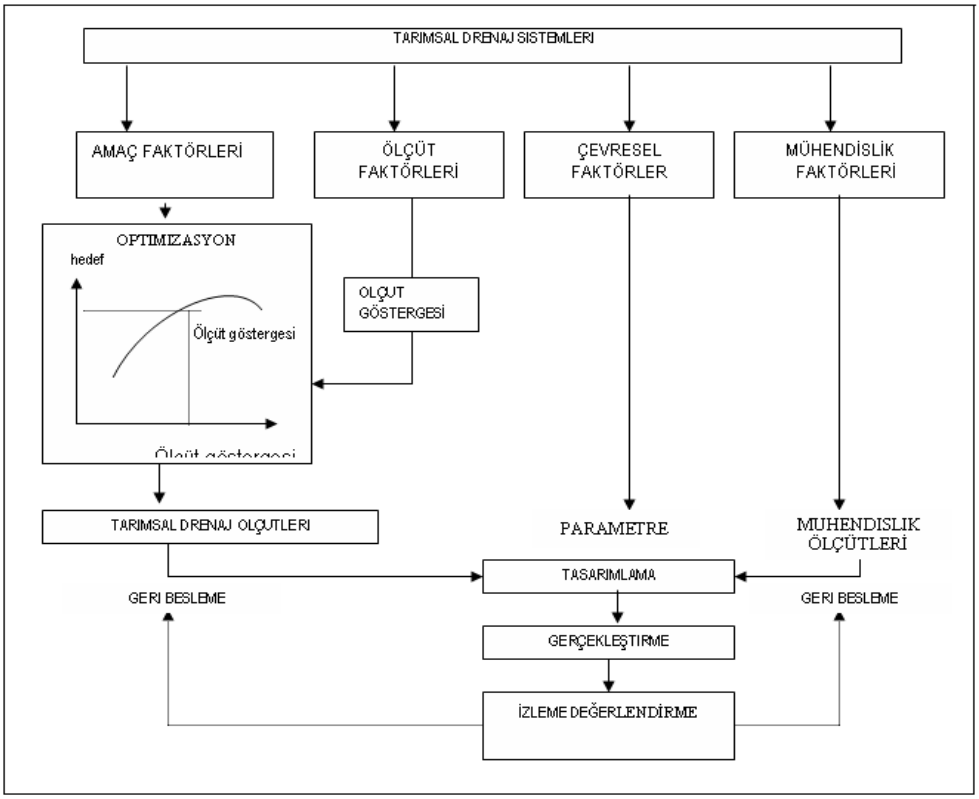
Çizelge 8.1 Sistem tipine göre tasarımlamada gerekli mühendislik faktörleri

Sistemin tipi	Mühendislik faktörleri
Yüzey altı drenaj sistemi	Derinlik, aralık, hendek veya borunun boyutları ve eğimi, filtre veya zarf materyaline ilişkin ölçütler
Kuyulu drenaj sistemi	Derinlik aralık, kuyu boyutları, pompa kapasitesi
Yüzey drenaj sistemi	Tarlanın uzunluğu ve eğimi ile karık veya yataklama boyutları
Ana drenaj sistemi	Derinlik, genişlik, kesit, drenlerin eğimi, kanal ağının aralığı

Mühendislik faktörleri; mühendislik ölçütlerini belirlemede kullanılan teknik ve malzemeye ilişkin göstergelerdir. Bir sistem tasarımlanırken aşağıda Çizelge 8.1'de verilen mühendislik ölçütleri göz önüne alınmalıdır.

8.2.3 Çevresel drenaj ölçütü

Belli doğal hidrolojik koşullar altında drenaj sisteminin işlevini yerine getirebilmesi için gerekli olan etmenlerden elde edilir. Bunlar örneğin sulama, yağış toprağın hidrolik iletkenliği, doğal drenaj, topoğrafya ve aküfer koşulları olarak sayılabilir.



Şekil 8.2. Drenaj sisteminin tasarımı, optimizasyonu ve geliştirilmesinde tarımsal çevresel ve mühendislik etmenlerin rolü (ILRI, 1994)

Tasarımlama için bu etmenler özelleştirilerek çevresel ölçüt göstergeleri elde edilir. Çevresel göstergelere örnek olarak ortalama mevsimlik yağış, günlük en yüksek yağış, hidrolik iletkenliğin aritmetik veya geometrik ortalaması ve hidrolik iletkenliğin derinlikle değişimi verilebilir. Bu çevresel göstergeler optimize edilerek sabit bir tasarımlama ölçüt değeri elde edilir. Tasarımlama değerleri için parametreler

yağış, boşalım ve hidrolik iletkenliktir (Oosterbaan, 1994).Tarımsal drenaj sistemlerinin tasarımlanması ve geliştirilmesinde tarımsal, çevresel ve mühendislik faktörlerinin etkileri Şekil 8.2'de gösterilmiştir. Anılan şekilde görüldüğü gibi tarımsal amaçları optimize eden göstergelerden elde edilen tarımsal drenaj ölçütleri, çevresel parametreler ve mühendislik faktörleri göz önüne alınarak belirlenen mühendislik ölçütleri kullanılarak tasarımlanırlar.

İnşa edilen drenaj sistemleri izlenerek elde edilen bilgilerin değerlendirmesi sonunda gerekirse ölçütlerde düzeltmeler yapılarak kalan kısımlar için sistemin tasarımlanması yeniden yapılır. Yapılan sistemlerin izlenmesi son derece önemlidir. Bu bir anlamda araziyi laboratuar gibi kullanma olanağı vermektedir. Çünkü sistemlerin planlama ve uygulamasında kullanılan veriler doğadaki karmaşık olayların çok basitleştirilmiş çözümlerinden elde edilmiş olup genellikle tüm alanı temsil yetenekleri çok sınırlıdır.

8.2.4 Kritik süre, depolama kapasitesi ve tasarımlama boşalımı

Kritik süre ve depolama kapasitesi tasarımlama boşalımını etkiler. Pik boşalım döneminde yüzey ve yüzey altının suya doyması nedeniyle drenaj sistemi bir depolama kapasitesi yaratır. Beslenme sırasında ortaya çıkan fazla suyun bir kısmı toprak profilinde ve kanallarda depolanır. Dolayısıyla drenaj sistemi boşalım kapasitesinden daha küçük beslenmelerde bir tamponlama yaratır. Yüksek tamponlama kapasitesine sahip sistemlerde daha uzun kritik sürelere ilişkin ortalama değerler kullanılabilir. Buna karşılık küçük tamponlama kapasitesine sahip sistemlerde beslenme ve boşalımlara ilişkin uç değerlerin daha kısa dönemler için incelenmesi gerekir.

Su tablası düzeyinin 5-10 m derinlikte olduğu kuyulu drenaj sistemlerinde depolama kapasitesi yüksek olup, su tablasının yıllık ve mevsimlik değişimleri ölçüt etmeni olarak kullanılır. Uzun dönemde ise depolamadaki değişim önemli değildir.

Boru ve hendeklerden oluşan bir tarla drenaj sistemi orta düzeyde bir depolama kapasitesine sahiptir. Aylık yağış miktarının 100 mm'den az olduğu düşük yağış yoğunluğuna sahip sulanan bölgelerde aylık veya mevsimlik en yüksek net beslenme tasarım beslenmesi olarak alınabilir. Dönem boyunca depolamadaki değişim önemsiz

sayılır. Tasarımlama boşalımı kritik dönemdeki ortalama net beslenmeden hesaplanabilir (Oosterbaan, 1994).

Yağışların ayda 100 mm'den fazla olduğu bölgelerde yüzey drenaj sorunu söz konusu olup, böyle yerlerde sadece yüzey altı drenaj sistemi yeterli olmayabilir. Onun için bu bölgelerde yüzey drenaj sistemleri ile gereklidir. Böyle bölgelerde tasarımlama boşalımı yüzey drenajdan sonra hesaplanır. Önce yüzey drenaj sistemi tasarımlanır, sonra hala fazla su söz konusu ise yüzey altı drenaj sistemleri tasarımlanır ve uygulanırlar.

Yüzey drenaj sistemleri küçük depolama kapasitesi yaratırlar (2-5 gün). Tasarımlama boşalımları bu kısa süre göz önüne alınarak, yılda 1-2 kez hatta 5-10 yılda bir aşılan yağışlara göre hesaplanırlar. Su tablası yüzey drenaj sisteminde bir gösterge olarak kullanılmaz.

Toplayıcı drenaj sistemi için tasarımlama ölçütü tarla drenaj sisteminin tipine bağlıdır. Toplayıcı drenler sadece yüzey altı drenaj sistemlerine hizmet ettiğinde, toplayıcıdaki su düzeyleri tarla drenlerinden serbest akışa izin verecek derinlikte olmalıdır.

Sulanan kurak ve yarı-kurak bölgelerde drenaj sisteminin amacı tuzluluğu önlemek veya azaltmaktır. Sulanan arazilerde tuz dengesi büyük oranda su dengesine bağlı olduğundan sulama suyunun miktarının bilinmesi önemlidir. Yeterli sulama suyu uygulandığında drenajın tuz dengesi üzerine etkisi tuzların drenaj suyu ile yıkanması şeklinde gerçekleşir. Onun için tuzluluğun denetiminde taban suyunu düşürmekten çok, drenajın sağlanması esas alınır. Tuz denetiminde ölçüt, taban suyu düzeyini düşürmekten öte yeterli yıkamayı sağlayacak sulama suyudur (Oosterbaan, 1994).

Ancak sulanan bölgelerde tuzlanmanın önlenmesi için taban suyu düzeylerinin aşırı derinlere ve hızlı bir şekilde düşürülmesi sulama etkinliğini olumsuz yönde etkiler. Bu durum kurak yaz aylarında su yetersizliğine ve kuraklıktan ileri gelen ürün azalmalarına neden olabilir.

İyi tasarımlanan ve çalışan bir sistemde tuz denetimi için taban suyunun aşırı derinlerde tutulmasına gerek yoktur. Eğer sulama sistemi yetersiz planlanmış ve işletiliyorsa taban suyunu derinlerde tutulması tuz denetimi sağlamayacaktır. Örneğin; Mısırda, Nil deltasında mevsimlik taban suyu düzeyinin 1.0-1.2 m

derinliklerde etkili bir tuz denetimi sağlamak için yeterli olduğunu, daha derin su tablasının sulama etkinliğine olumsuz etkiler yaptığı bildirilmektedir. Rao, (1990) tuzlu toprakların etkili bir şekilde yıkanması için ortalama su tablası derinliğinin kritik drenaj döneminde 0.8 m den daha derin olmasına gerek olmadığına değinmiştir.

8.3 Tasarımlamada Kararlı ve Karasız Akış Eşitliklerinin Kullanımı

Drenaj sistemlerinin tasarımlanıp uygulanmasında kullanılan eşitlikler taban suyunun konumu ve devinimi ile beslenme ve boşalıma göre iki farklı koşula dayalı olarak geliştirilmişlerdir. Bunlar kararlı ve karasız akış koşullarıdır.

Yağışların uzun dönemlere yayıldığı ve beslenmenin kararlı olduğu Kuzey Avrupa ülkelerindekine benzer koşullar egemen ise bu durumda kararlı koşulların, düzensiz şiddetli sağanak yağışların veya sulamaların neden olduğu drenaj alanlarında kararsız koşulların olduğu varsayılabilir.

Kararlı akış koşulları belli bir dönemde beslenme ve boşalımın eşit ve bu dönemin başlangıcında ve sonunda taban suyu düzeyinin sabit olduğu varsayımına dayanır. Buna “statik su tablası ölçütü” denir. Kararsız akış koşullarına göre ise taban suyu düzeyi, beslenme ve boşalım sabit olmayıp taban suyu beslenme ile istenmeyen düzeylere çıkabilir ve belli bir sürede zamanla belli bir düzeye düşer. Bu koşullarda taban suyunun denetimi onun düşme hızına göre belirlenir. Buna “düşen su tablası ölçütü” denir. Eğer taban suyu düzeyi istenmeyen düzeylere çıkma sıklığına ve onun konumlandırılmasına göre denetlenirse buna “dalgalanan su tablası” ölçütü denir.

Kararlı koşullarda drenaj sistemlerinin planlanmasında iki temel ölçüt göz önünde bulundurulur. Bunlar (i) optimum su tablası düzeyi ve (ii) belli bir sürede boşaltılması gerekli su miktarıdır. Belli bir sürede araziden uzaklaştırılması gereken su miktarı tasarımlama boşalımı (drenaj katsayısı) olarak tanımlanır ve bu proje alanından bir günde uzaklaştırılacak olan su derinliği anlamına gelir.

Sulanan alanlarda tasarımlanan drenaj sistemlerinde hangi koşula ilişkin ölçütlerin ve eşitliklerin kullanılması gerektiği sıkça sorulmaktadır. Sulanan alanlarla yağışlı bölgeler karşılaştırıldığında, sulanan alanlarda dren akışlarının daha düzenli olduğu görülür (Ritzema, 1994). Bunun nedeni yağış rejiminin genellikle daha

düzensiz olmasıdır. Sulama rejimi ise daha düzenlidir. Bu durum kararlı akış eşitliklerinin sulanan alanlarda başarılı bir şekilde uygulanmasının nedenini açıklar. Beslenmenin sulamadan ileri geldiği bölgelerde taban suyunun akışı üç boyutludur. Çünkü bütün alan aynı anda sulanmaz ve komşu tarlalarda taban suyu düzeyi daha düşüktür. Oysa kararsız akış eşitlikleri yer altı su akışının sadece iki boyutunu göz önüne alır. Bu kararsız akış eşitliklerinin sulanan alanlarda kullanılmasının sakıncalı olduğu anlamına gelir. Ancak uzun dönemde yer altı suyunun bir tarladan diğerine akışı göz önüne alınmayabilir. Çünkü diğer tarlanın sulanması sırasında akış tersine döner. Onun için iki boyutlu kararlı akış eşitlikleri, en azından uzun dönem su tablası indeksi için, uygulanabilir (Ritzema, 1994).

Optimum su tablası düzeyi ortalama bir düzey olarak ele alınmalıdır. Taban suyu düzeyi belli bir düzeyde tutulamayacağı gibi, dren boşalımları da sabit değildir. Boşalım miktarları veya dren verdileri taban suyu tablasının yükselip alçalmasına göre değişir. Taban suyunun yüksek olduğu dönemde drenlerin döşenmesiyle su tablası düşmeye başlar. Belli bir süre sonra dren düzeyine düşer ve dren akışları kesilir. Beslenme olmadığı sürece su düzeyi dren düzeyinde veya doğal drenaj nedeniyle biraz daha aşağılara düşebilir. Ancak beslenme ile taban suyu tekrar yükselir ve dren verdileri de artar. Bu bakımdan ortalama q ve h değerlerin kullanımı uygulama için yeterli olur.

8.3.1 Tasarımlama boşalımı (Drenaj katsayısı)

Drenaja neden olan fazla suyun belli sürede boşaltılması olarak tanımlanan tasarımlama boşalımı (q, m/gün) kararlı drenaj akış eşitlikleri ile dren aralıklarının belirlenmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Diğer taraftan dren aralıklarının belirlenmesinin yanında, sistemin boşalım kapasitesi ile boru çapını saptarken q değerine gerek vardır. Drenaj katsayısı dren aralıklarını, dolayısıyla sistem maliyetini doğrudan etkileyen bir parametre olup çok özenli ve doğru bir şekilde belirlenmelidir. Drenaj katsayısındaki hata, diğer parametreler doğru belirlense bile hem drenaj maliyetine ve hem de sistemin etkinliği üzerinde olumsuz etkilere neden olacaktır.

Öncelikle drenaj alanında bir su dengesi eşitliğinin geliştirilmesi ve alana giren ve çıkan su ve geliştirilen eşitliğin diğer parametreleri doğru olarak saptanmalıdır.

Bu bakımdan fazla suyun kaynakları belirlenerek drenaj gereksinmelerinin kış veya yaz dönemi göz önüne alınarak hesaplanmaların farklı yapılması gerekebilir.

8.3.2 Kış dönemi için drenaj ölçütleri

Kış döneminde yağış evapotranspirasyondan çok fazla olduğu için taban suyu yükselme eğilimindedir. Ancak genellikle, kış döneminde çiftlik işeri çok azdır veya hiç yoktur. Diğer taraftan genel olarak kışlık buğday dışında herhangi bir bitki de yetiştirilmediğinden taban suyu kök bölgesine kısa süreli girse bile verim üzerine etkisi olmaz. Ancak uzun süreli yüksek taban suyu, kök bölgesinde havasızlığa ve toprak yapısının olumsuz etkilenmesine neden olur. Eğer fazla su erken ilk baharda oluşursa, bu durum çiftlik işlerinin gecikmesine, çimlenme sorunlarının ortaya çıkmasına ve kışlık ürünlerde verim azalmalarına neden olabilir.

Drenaj sorununu yaratan fazla suyun yağışlardan ileri geldiği bölgelerde ne kadar suyun, hangi sürede uzaklaştırılması gerektiğinin hesabı yağışlara göre yapılır. Bunun için öncelikle yöredeki yağışlar incelenir. Bölgedeki iklim istasyonlarının yağış kayıtları incelenerek en kötü koşullarda her yıl olagelen en yüksek günlük, iki günlük, 5 günlük yağışların frekans dağılımları ve derinlik-alan-süre eğrileri incelenerek belli bir olasılıktan daha yüksek olasılığa sahip fazla suya neden olan yağışlar bir ölçüt olarak alınabilir. Böylece bu şekilde belirlenen değerler yörede egemen olan yağışları temsil edebilir. Kayıtların uzunluğu verilerin güvenilirliğini artırır.

Drenaj ölçütlerinden tasarımlama boşalımının ile diğer bir drenaj ölçütü olan su tablasının konumu veya derinliği (H) Çizelge 8.1'den alınarak kış dönemi için tasarımlama boşalımı aşağıdaki gibi hesaplanır.

Öncelikle yöre için bir su dengesi eşitliği yazılarak, buradan tasarımlama boşalımı aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanabilir. Anılan eşitlikte drenaj alanına çevreden, yeraltından sızma ve drenaj alanından derine sızma söz konusu değildir. Eğer başka bir drenaj alanında böyle bir durum varsa eşitlikte bunlar da yer almalıdır.

$$q_d = Dr/\Delta t = (P - Et - \Delta W - R_d - G_0 - G_p)/\Delta t \qquad (8.1)$$

Burada, q_d: tasarımlama boşalımı (mm/gün), D_r, drene edilen su miktarı (mm), Δt, dönem (gün), P yağış (mm), Et, buharlaşma+terleme (mm), ΔW toprak tarafından depolanan su (mm), R_d yüzey akış (mm), G_0 giren su miktarı (mm),-G_p derine sızan (mm) su miktarı, Δt zamandır (gün). Yukarıdaki eşitliğin çözümüne ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir.

Örnek 1

En yüksek 5 günlük kış yağışı.....45-50 mm

Uygun olmayan koşullarda depolama.....10-15 mm

Et .....0.0 mm

Sızma .....:.....0.0 mm

Toplam $\sum Dr=P-Et-\Delta W-R_d-G_0-G_p$

$=45-0-10-0+0-0=35$ mm

Eğer taban suyu düzeyi 5 günde önceki düzeyine düşürülmek istenirse;

$q_d=35/5=7.0$ mm gün^{-1} olarak hesaplanır.

Ancak burada önerilen 5 günlük süre, yörede yetiştirilen bitkilerle yakından ilişkilidir. Bu bakımdan fazla suyun uzaklaştırılması gereken süre, yetiştirilen bitkilere ilişkin yöresel araştırmalardan veya konu ile ilgili literatürden alınmalıdır.

Verilen örnek sebze tarımının yaygın olarak yapıldığı Akdeniz Bölgesi için uygulanabilir. Bilindiği gibi bu bölgede kış ve ilkbahar döneminde şiddetli yağışlar drenaj sorunları yaratmakta ve bazı yıllar tarım alanlarına oldukça büyük zararlar verebilmektedir.

İklim koşulları oldukça kararlı ve düzgün dağılımlı yağışların egemen olduğu Kuzey Avrupa ülkelerinde, kararlı akış eşitlikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bakımından elde verilerin bulunmadığı durumlarda bir rehber olmak üzere ve aynı zamanda benzer koşullarda kullanılmak üzere geliştirilen drenaj ölçütleri Çizelge 8.2'de verilmiştir.

Çizelge 8.2 Kuzey Avrupa'da Yüzeyaltı Drenaj Sistemleri İçin Yaygın Olarak Kullanılan Drenaj Ölçütleri (Smedema ve Rycroft, 1983)

Bitki özelliği	q (m.gün)	H, (m)	h=W-H (m)	h/q (gün)	Su tablasının üst toprağa yükselme sayısı
Dayanıklı/düşük değerli	0.007	0.3-0.4	0.6-0.7	85-100	Yılda 1-2
Duyarlı/yüksek değerli	0.007	0.5-0.6	0.4-0.5	55-70	Yılda 1
Ortalama koşullar	0.007	0.5	0.5	70	

Not :Verilen değerler W=1.0 m ve μ~0.05 için geçerlidir.

Söz konusu çizelgede görüldüğü gibi, q, h ve h/q ile taban suyu düzeyinin toprak yüzeyine yükselme sayısı önemli ölçütler arasında yer alırken, bitkiler suya duyarlılıklarına ve düşük ve yüksek değerlikli olmalarına göre sınıflandırılmışlardır. Ekstrem koşulların dışında q= 0.007 m gün^{-1}, h/q =55-100 ve h=0.5 m genel olarak yeterli görülmektedir.

8.3.3 Bitki yetişme dönemi için ölçütler

Sulanan alanlarda tasarımlama boşalımını belirlemek için dren boşalım dönemi veya birkaç sulama alınabilir. Dren akışları sulama aralıklarında doğal olarak kararlı bir şekilde olmaz. Sulamanın hemen arkasından arazinin değişik yerlerinde taban suyu düzeylerinde iniş ve çıkışlar, dren verdilerinde ise hızlı bir artış ve daha sonra azalma olur. Dren verdilerinin büyüklükleri aynı zamanda dren derinliklerine göre değişir.

Kurak bölgelerde bitki su tüketimlerinin en yüksek düzeylere ulaştığı yaz aylarında su kaynakları en az düzeye düşer ve su sıkıntısı büyük boyutlara ulaşır. Böyle alanlarda su uygulama etkinliklerinin yüksek olması büyük önem taşır. Onun için sulanan alanlarda kullanılan yağmurlama ve damla sulama yöntemleri sulama etkinliğini artırarak drenaj gereksinmelerini azaltır.

Yüzlek drenlerde geri çekilmenin derin döşenmiş drenlerden daha hızlı olduğunu ve bunlarda taban suyu düzeylerinin kısa bir süre sonra dren borusu düzeyine indiği için, bir sonraki sulamadan daha önce dren akışlarının kesildiğini,

onun için dren derinliğinin dren verdisi üzerine olan bu etkisi göz önüne alınarak dren derinliklerine göre bir etkili boşalım dönemi ve dolaysıyla tasarımlama boşalımının da bu etkili boşalım dönemi göz önüne alınarak belirlenmesinin gerektiğini bildirmektedirler (Smedema ve Rycroft, 1983).

Gemalmaz, (1993)'ın bildirdiğine göre dünyada bazı ülkelerde geliştirilen ve uygulanan q_d değerleri, Tunus Medjardah Ovasında 2.0 mm/gün, Eci= 3-4 dS/m, Cezayir Habra Ovasında, 2.0 mm gün^{-1}, olup sulama suyu tuzluluğu ve su tablası derinliğine göre düzeltmeler yapılmıştır. Aynı şekilde Fas, Sebu Ovasında, hafif bünyeli topraklarda 1.8 ve ağır bünyeli topraklarda 1.0 mm gün^{-1}, ABD'de Imperial Valleyde 1.6, Mısır Nil Deltasında 1.0 mm gün^{-1}, iyi kaliteli sulama suyu ve H=0.5 m ve Türkiye'de Çukurova'da 2.0, Menemen'de 3.0 mm gün^{-1}, dren derinliği 1.8 m ve H=1.20 m' dir.

Görüldüğü gibi sulanan alanlar için yapılan tasarımlamalarda kullanılan tasarımlama boşalım değerleri, genel olarak yağışlı bölgelerdekinden çok daha düşüktür. Doğal drenaj ve sızmaların önemsiz düzeylerde olduğu koşullarda, sulanan alanlarda dren boşalım değerleri 1.0-1.5 mm gün^{-1}değerine kadar düşmektedir.

Ilıman iklim bölgelerinde çiftlik işleri genellikle yaz dönemine rastlar. Yaz döneminde evapotranspirasyon oldukça yüksek olduğundan taban suyu düzeyinin ve fazla suyun denetlenmesinde etkili olur. Bu bölgelerde bitkilerin gelişme dönemlerinde genel olarak drenaj gereksinimi yoktur. Ancak zaman zaman düşen şiddetli yağışlar sorun yaratır. Onun için bitki yetişme döneminde drenajın temel amacı yağışlardan sonra kök bölgesinin hızlı bir şekilde havalanmasını sağlamaktır. Yaz döneminde H değerleri kış dönemine göre daha yüksektir. Drenaj katsayısı (q) 1-2 yılda olagelen 5 günlük yağışlar göz önüne alınarak aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanabilir. (Smedema ve Rycroft, 1983).

Doğal drenaj ve sızmanın önemsiz olduğu koşullarda dren boşalımlarının olası değerleri FAO (1980) tarafından aşağıda şekilde verilmiştir.

Düşük infiltrasyon kapasitesine sahip topraklar	< 1.5 mm gün^{-1}
Entansif tarım yapılan geçirgenliği iyi olan topraklar	1.5- 3.0 mm gün^{-1}
Zayıf su yönetimi, aşırı tuzlanma, iklim ve bitki koşullarında	3.0-4.5 mm gün^{-1}
Özel koşullar (çeltik tarımı ve aşırı geçirgen hafif bünyeli topraklar)	>4.5 mm gün^{-1}

Örnek 2

Drenaj sorunu bitki yetişme döneminde olan ve sebze ekilen bir alanda; H=0.50 m, suya duyarlı ve yüksek değerli yüzlek köklü bitkiler yetiştirilen bir alanda;

5 günlük en yüksek yağış (1 yıl yinelemeli) .....140 mm

Toprağın suyu depolaması .....40 mm

Yüzey akış .....20 mm

Et, (ortalama 6.0 mm/gün x 5).....30 mm

Toplam $\sum Dr=P-Et-\Delta W-R_d-G_0-G_p$

$=140-(30-40-20+0-0)= 50$ mm

q=50/5= 10 mm/gün bulunur.

Verilen örneklerde görüldüğü gibi drenaj alanındaki fazla suyun bileşenlerinden biri olan derine sızmanın olmadığı varsayılmıştır. Anılan bileşenin doğru olarak belirlemesi veya hesaplanması oldukça zordur. Bu bakımdan drenaj katsayısının belirlenmesinde önceki deneyimlerle, yerinde yapılan tarla denemeleri önemli bir yer tutmaktadır.

8.4 Taban Suyunun Konumu ve Düşme Hızı

Dren aralıklarının belirlenmesinde kararsız akış koşullarına ilişkin eşitliklerin kullanılması halinde drenaj katsayısına gerek olmamasına karşın, taban suyunun konumu, kök bölgesine yükselme düzeyi ve süresi ile düşme hızının bilinmesine gerek duyulmaktadır.

Safwat Abdel Dayem ve Ritzema (1990) Nil Deltasında pilot bir alanda yaptıkları çalışmada tarımsal drenaj ölçütü olarak iki dren orta noktasında mevsimlik ortalama su tablası derinliğini 1.0 m olarak belirlemişlerdir. Bununla birlikte bu değerin güvenlik nedeni ile uyarlanabileceğine değinmektedirler. Oosterbaan ve Abu Senna (1990) ise, mevsimlik ortalama su tablası derinliğinin 1.2 m'den daha derin olması durumunda, derine süzülme kayıplarının ve sulama etkinliğinin azaldığını belirtmektedirler.

Smedema ve Rycroft, (1983) tarafından kararsız akış koşullarında bir seçenek olarak kullanılmak üzere taban suyunun düşme hızı ve yetiştirilen bitkilerin suya duyarlılığını ve kök sistemini temel alan ölçüt seti verilmiştir. Anılan sette bitkiler kök uzunlukları ve suya dayanıklılıkları göz önüne alınarak sınıflanmıştır. Eğer sistem bu ölçütlere göre tasarımlanacaksa, yörede yaygın olarak yetiştirilen bitkiler belirtilen özellikleri bakımından incelenmelidir.

Örneğin yüzlek köklü düşük değerli ve suya dayanıklı bitkilerin yaygın olduğu koşullarda su tablasının 2 günde 0.2 m düşürülmesi yeterli olurken, derin köklü bitkilerin yaygın olduğu koşullarda 2 günde 0.3 m düşürülmesi, normal ve derin köklü bitkilerde ise bu değerler sırası ile 0.35 m ve 0.50 m olması gerekmektedir.

Çizelge 8.3 Yaklaşık bir rehber olmak üzere drenaj derinliği, drene edilebilir gözenek hacmi ve drenaj katsayısı arasındaki ilişkiler (Smedema ve Rycroft, 1983).

Kök özelliği	Dayanıklı-düşük değerli bitkiler	Duyarlı /yüksek değerli bitkiler
	t=0 gün, H=0.00 m	t=0 gün, H=0.00 m
Yüzlek köklü	t=2 gün, H=0.20 m t=4 gün, H=0.35 m	t=1 gün, H=0.20 m t=2 gün, H=0.35 m
Normal derin köklü	t=2 gün, H=0.30 m t=4 gün, H=0.50 m	t=1 gün, H=0.30 m t=2 gün, H=0.50 m

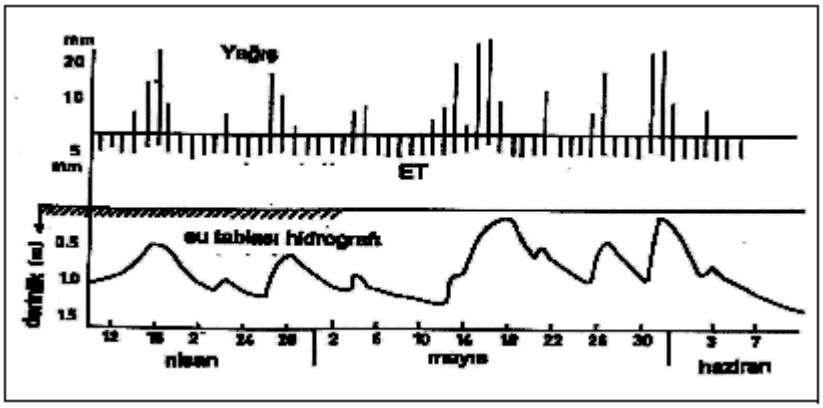
Not :Verilen değerler W=1.0 m ve μ~0.05 için geçerlidir.

Kararsız akış koşullarında bir seçenek olarak kullanılmak üzere Çizelge 8.3'de taban suyu tablasının düşme hızı ve yetiştirilen bitkilerin suya duyarlılığını ve kök uzunluğunu temel alan ölçüt seti verilmiştir. Anılan çizelgede görüldüğü gibi önerilen sette bitkilerin kök uzunlukları ve suya dayanıklılıkları göz önüne alınmaktadır. Bu durumda sistemler tasarımlanırken yörede yaygın olarak yetiştirilen bitkiler belirtilen özellikleri bakımından incelenmelidir.

Çizelgedeki ölçütler ve Glover-Dum eşitliği kullanılarak yapılacak çözümlerde kararlı akış drenaj ölçütleriyle elde edilenlere oldukça yakın sonuçlar alınabilmektedir.

8.5 Drenaj Ölçütünün Simulasyonla Belirlenmesi

Kararsız koşul drenaj eşitlikleri belirli bir dönemdeki su tablasının davranışına dayalı olarak uygulama olanağı sağlayabilmektedir. Su tablasını yetişme dönemi boyunca alçalıp yükselmesini gösteren Şekil 8.3'te ki hidrografta görüldüğü gibi taban suyu düzeyi yağışlara bağlı olarak alçalıp yükselmektedir.



Şekil 8.3. Dalgalanan su tablasının simülasyonla belirlenmesine yönelik yağış ve su tablası hidrografı

Bir bölgede uzun yıllar (10-20 yıl) bu tür gözlemlerin yapılması ile elde edilecek drenaj ölçütlerine (q, H değerleri seti) dayalı olarak karasız akış eşitlikleri ile çözümler yapılabilmektedir. Gözlemler sonucunda drenaj sorununun kaynağı, dönemi ve sıklığı ve bunlara bağlı drenaj gereksinimleri belirlenebilmektedir.

Çizelge 8.4. Ana gelişme döneminde taban suyu tablasının toprak yüzeyinden derinliği ve bu derinliklere bir yılda ulaşma sayıları (Smedema ve Rycroft, 1983) (W=1.0 m için)

Su tablası Derinliği (m)	q=7 mm/gün H=0.30 m	q=7 mm/gün H=0.50 m	q=10 mm/gün H=0.50 m
0.00	2 gün	1 gün	0 gün
<0.20	4 gün	2 gün	1 gün
<0.40	7 gün	5 gün	3 gün
<0.50	12 gün	7 gün	5 gün

Çizelge 8.4'te q=7 mm/gün ve H=0.30 m için, su tablası ana gelişme döneminde yılda ortalama iki kez toprak yüzeyine kadar, yılda dört gün 0.20, yedi gün 0.40 ve 12 gün 0.60 m' ye kadar yükselebileceği görülmektedir. Anılan çizelgeye göre; eğer suya duyarlı bir bitki yetiştirilmesi söz konusu ise ve yılda bir veya iki defa suyun kök bölgesine girmesine izin verilebiliyorsa, bu durumda kesinlikle uyulması gerekli kural, q= 7 mm/gün ve H= 0.50 m alınmasıdır.

8.6 Dren Derinliğinin Drene Edilebilir Gözenek Hacmi ile İlişkisi

Kararlı akış drenaj tasarım ölçütleri aynı zamanda belli düzeyde drene edilebilir gözenek hacmi ile drenaj derinliğine bağlı olarak değişir. Bilindiği gibi yağışsız dönemde su tablası dren düzeyine, ya da biraz daha derinlere düşer. Eğer tarla drenaj derinliği (W) büyükse, taban suyu düzeyi daha küçük W değerine göre daha derinlere düşecektir. Böylece su tablası zararlı düzeylere yükselmeden ve çok fazla boşalım olmadan topraklar çok daha fazla nem depolayabilirler.

Çizelge 8.5. Dren derinliği ile drene edilebilir gözenek hacmi ve drenaj katsayısı ilişkileri

Drene edilebilir gözenek hacmi	Drenaj derinliği W, m			
	0.70	1.0	1.5	2.0
μ=0.05	1.5q	q*	0.8q	0.65q
μ=0.10	1.2q	0.8q	0.65q	0.5q
μ=0.15	q	0.65q	0.5q	0.5q

*Hesaplanan q değerleri μ=0.05 ve W=1.0 m içindir.

Bu durumda W büyük olduğunda daha küçük bir q değeri yeterli olacaktır. Aynı şekilde, drene edilebilir gözenek hacmi büyükse benzer nedenle daha küçük q değeri kullanmak olanaklı olacaktır. Çünkü drene edilebilir gözenek hacmi (μ) büyük olduğunda, yağış nedeniyle su tablasının yükselmesi daha az olacaktır. Halbuki drene edilebilir gözenek hacmi μ düşük olduğunda su tablası hızlı yükselir ve aynı zamanda çabuk düşer. Onun için μ çok küçük olduğunda q değerini artırmaya gerek yoktur.

8.7 Tarla Drenaj Derinliği

Verilen bir su tablası derinliği için dren derinliğinin artmasıyla h yükü artar. Böylece daha geniş dren aralıkları uygulamak olanaklı olur. Bahçeci (1984), Konya Ovasında, Mavi (1981) Çarşamba Ovasında yaptıkları tarla denemelerinde sadece dren derinliğinin artmasıyla dren aralıklarının artırılabileceğini belirlemişlerdir. Dren derinliğinin artmasıyla oluşan bu istenen etki, daha küçük q kullanılması ile daha geniş dren aralıklarının getirdiği kazançla 2.0-2.5 m derinliğe kadar maliyeti azaltırken (Şekil 8.4), drenlerin daha derinlere döşenmesi halinde artan kazı gücü, dren aralığının artmasından ileri gelen yararı ortadan kaldırarak karlı olmaktan çıkarmaktadır. Ayrıca anılan derinliklere dren hatlarını döşeyecek makine bulmak hem oldukça zor, hem bulunsa bile fiyatları çok yüksektir. Genel bir kural olarak emici drenler yerel koşulların izin verdiği ölçüde 2.0-2.5 m derinliğe kadar döşenebilmektedir. Ancak çok özel durumlarda ABD'de 3.0 m derinliğe kadar dren döşendiği bilinmektedir.

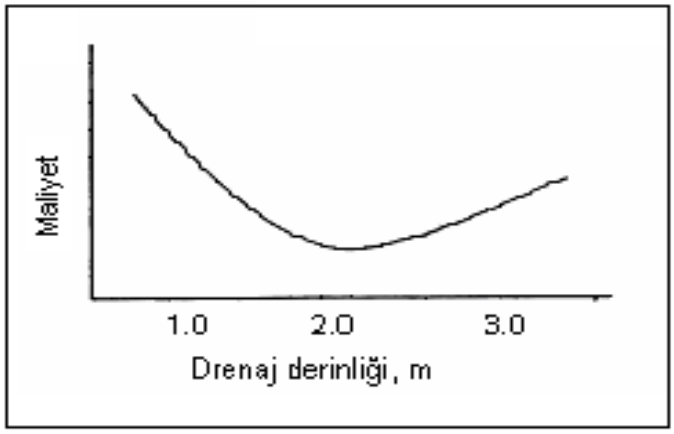
8.7.1 Tarla drenaj derinliğini etkileyen en önemli yerel koşular

a) Yerel veya bölgesel drenaj derinliği; tarla drenaj derinliği bölgesel drenaj derinliğinden veya toplayıcı derinliğinden daha fazla olamaz. Bu durum Şekil 8.5' de açıklanmıştır. Anılan şekilde görüldüğü gibi ana drenaj kanalındaki su düzeyi ile toplayıcının açık kanal veya boru olmasına göre emici çıkışı düzenlenir. Emici drenin çıkış ağzı, toplayıcıdaki su düzeyinden en az 10-15 cm daha yukarıda olmalıdır. Bu durum drenaj sisteminin normal çalıştığı dönemler için geçerli olup, emici derinliklerini belirlerken göz önüne alınması gereken en önemli faktördür. Eğer emici çıkışı toplayıcıdaki su düzeyinden daha aşağıda ise kanallardaki sular dren boruları ile tarla içine girebilecektir. Drenaj sisteminin taşkın önleme sistemi gibi çalıştığı aşırı yağışlı dönemlerde kanallarda su düzeyinin yükselmesi durumunda anılan durum ortaya çıkabilir. Böyle bir durum yılda bir veya ikiden fazla olmamalıdır.

Bölgesel drenaj derinliğini sınırlayan çok sayıda ve değişik etken olabilir. Bazen çıkış ağzı sorunu ve meyil yetersizliği olan düz arazilerde tarla drenaj derinliğinin yüksek olması sorunlar yaratabilir. Drenaj sorunu ovaların en alçak kesimlerinde ortaya çıktığı için, anılan durumlarla sık karşılaşmak olasıdır. Özellikle

sulamaya açılan kurak bölgelerde doğal su yolları oluşmadığından bunların yeniden inşa edilmesi gerekebilir.

Örneğin, Konya Kapalı Havzasını oluşturan Çumra Ovası alt havzada çıkış ağzı sorunu, kanallardaki suyun pompajla 18 m yükseltilmesi ve yaklaşık 3000 m'lik 3.0 m çapında bir tünelle çözülebilmiştir. Harran Ovasında ise ana drenaj kanalının komşu ülke sınırlarına girmesi sorun yaratmıştır. Teknik olarak çözümü kolay olmasına karşın henüz çözüm sağlanmış değildir. Eğer iki ülke anlaşabilirse her iki ülkenin çıkarına olacak şekilde çok kolayca çözülebilecek bir sorun, aksi durumda belki de fazla suyun başka bir alt havzaya boşaltılması gibi zor bir seçeneği gündeme getirebilecektir.



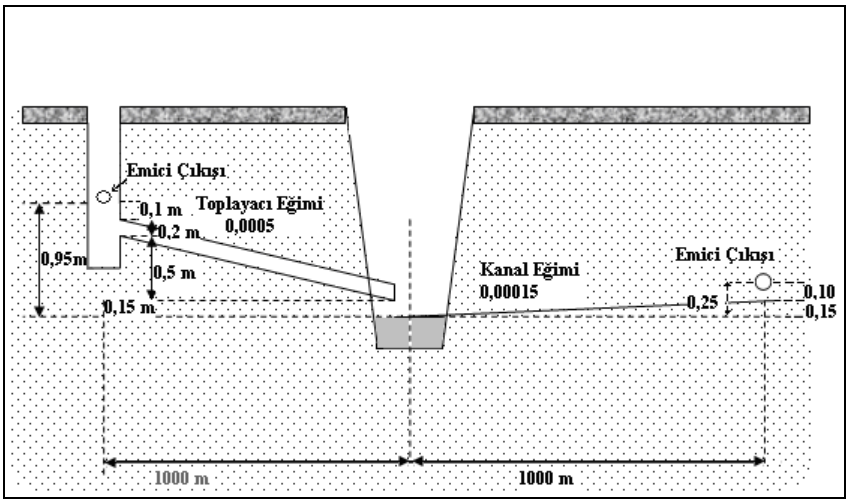
Şekil 8.4. Drenaj derinliğinin maliyet ile ilişkisi (geçirgen derin topraklar)

b) Çevre alanlardan sızmalar; çevreden sızmalar nedeniyle toprakların drenajı sığ drenajla yeterince sağlanamaz. Onun için sızmaların boyutlarının belirlenmesi ve dren derinliğinin artırılması gerekebilir.

c) Toprak koşulları, toprakların tabakalaşmasının dren derinliği üzerine olumlu veya olumsuz etkileri olabilir. Örneğin drenler genellikle kumlu katlara, zayıf zeminlere veya düşük su iletkenliği olan katmanlara döşenmez. Bazı yerlerde oldukça düşük su geçirgenliğine sahip üst toprak profili geçirgen bir alt toprak katına uzanabilir. Bu durumda drenleri geçirgen kata döşemek daha uygun olur.

Olgunlaşmamış ve zayıf yapıdaki topraklarda ve asit-sülfatlı topraklarda ilerde oluşabilecek çökmeler nedeniyle derin drenaj temeli istenmez.

d) Kuraklık riski, drenlerin derinlere döşenmesi aşırı drenaja neden olabilir. Dren derinliği fazla olan topraklarda kök bölgesinde oldukça az su tutulur. Kök bölgesine kılcal yükselme ile çok az su girer veya belki de hiç girmeyebilir. Belli iklim ve hidrolojik koşullarda bitkiler su gereksinimlerinin bir kısmını yer altı suyundan sağlarlar. Bu bakımdan sığ drenaj kurak bölgelerde özellikle kuraklığa duyarlı topraklarda su sağlanması açısından yararlı olabilir. Dren derinliğinin yağışlı döneme göre belirlendiği bölgelerde aşırı drenaj, drenler kısmen tıkanarak veya kapatılarak ya da çıkış ağzı yükseltilerek önlenebilir.



Şekil 8.5. Tarla drenaj derinliğinin belirlenmesi (ILRI, 1994)

e) İş makineleri, dren döşeme makineleri genellikle 1.50 m derinliğe kadar döşeme yapabilirler. Daha derin döşeme için özel makineleri gerekir. Bunlar özel olarak sağlanabilir, ancak fiyatları çok daha yüksektir. Ayrıca dren döşeme derinliğinin artması çeki gücünü ve dolayısıyla maliyeti çok fazla artırır.

Kuzey Avrupa da drenler 0.9-1.2 m derinliğe döşenmektedir. Anılan bölgelerde daha derin döşemeye çıkış ağzı sorunu ve iş makinelerinin sınırlayıcılığı engel olmaktadır. Bu bölgelerde drenaj sistemleri, yağışlı dönemlerde fazla suyu denetlemek için inşa edilirler. Eğer amaç tuz denetimi ise drenleri daha derinlere döşemek gerekebilir.

Dünyada ve ülkemizde dren döşeme derinliğini belirlemek için kuramsal ilkeler kullanılarak yapılan uygulamalar çoğu kez istenmeyen olumsuz koşullara neden olmuştur. Dünyanın veya ülkenin bir yerinde yapılan uygulamalar başka bir yerdeki

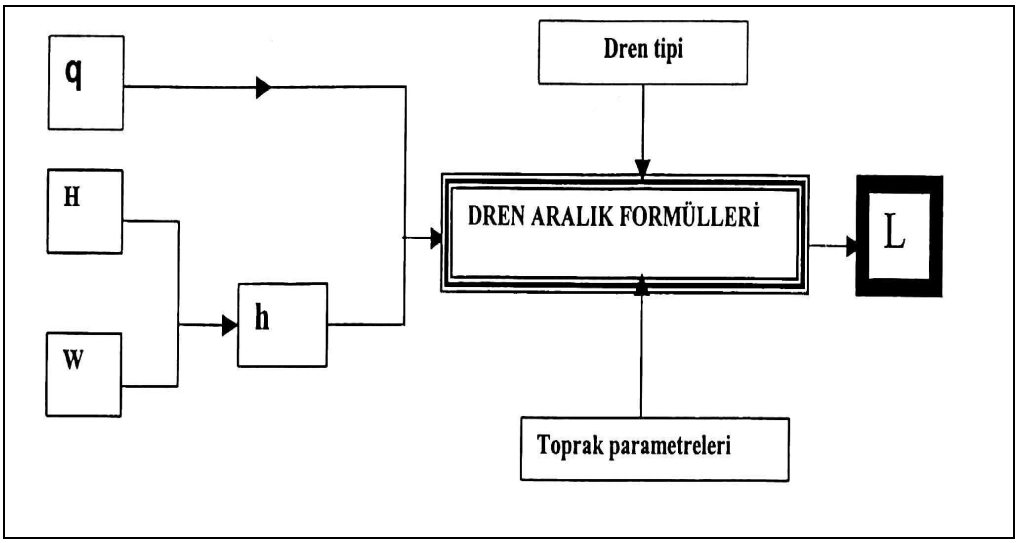
sorunun çözümüne örnek olamamaktadır. Bu bakımdan en iyi çözüm, sorunun ortaya çıktığı yerlerde, pilot alanlarda tarla denemeleri yapılarak, yatırım projelerinin elde edilen bu sonuçlara göre yeniden düzenlenmesidir. Günümüzde drenaj sorununu çözmeye yönelik çok sayıda bilgisayar modeli dünyanın değişik yerlerinde denenmekte ve elde edilen sonuçlar kuramlardakinden çok farklı olmaktadır.

9. TARLA DRENAJ SİSTEMLERİNİN TASARIMLANMASI

Drenaj sistemini tasarımlamak içini aşağıda verilen değişkenlerin tanımlanması gereklidir. Yüzey altı drenaj sistemleri için bunlar;

Sistemin tipi; sistemin boşaltım kapasitesi (Q); su tablası derinliği (H); drenaj derinliği (W); dren aralıkları" dır. Yüzey drenaj sistemleri için ise bunlar; Sistemin tipi; sistemin boşalım kapasitesi, drenaj derinliği (W)'dir.

Yukarıda sayılan parametrelerin doğru olarak belirlenmesi sistemin tasarımlamasında çok önemli düzeyde etkilere sahiptirler. Su tablasını hangi derinlikte denetlememiz gerektiğine karar vermek için toprak özelliklerinin, bitki deseninin ve su kalitesinin bilinmesi gerekir. Drenaj sisteminin tasarımlamasında dren aralığı ve dren derinliği belirlendikten sonra, boru çapı veya kanal kapasitesi, eğimi, zarf materyalinin özellikleri ve miktarları belirlenir. Sistem unsurları birbirini etkilediğinden, bunların her biri sistem maliyeti veya başarısı üzerine belli düzeylerde etkili olur.



Şekil 9.1. Paralel borulu drenaj sistemlerinde dren aralığı hesaplanmasında parametreler

Örneğin, derin drenler daha geniş dren aralığı olanağı yaratırlar. Ancak, tarla içi drenaj derinliği bölgesel drenaj derinliğinden daha fazla olamaz. Sistem çok iyi tasarımlanmış ve inşa edilmiş olsa bile, uygun olmayan zarf malzemesi sistemi başarısız kılabilir.

9.1 Dren Aralık Eşitlikleri

Dren aralık eşitlikleri çok karmaşık bir gerçeğin aşırı yalınlaştırılmış modelleri olarak karşımıza çıkmaktadır (Dieleman ve Trafford, 1976). Bir drenaj tasarımlamasına temel olacak veriler, ilgili alan koşullarına ilişkin incelemelerden derlenirler. Eşitliklerde kullanılan değişkenlerin çoğu yaklaşık değerlerdir. Emicilerin hangi aralıklarla döşenmesi gerektiğinin belirlenmesi için dren aralıklarını belirleme eşitliklerinden yararlanılır. Dren aralıklarını belirlemek için çok sayıda eşitlik geliştirilmiştir. Anılan eşitliklerin çok sayıda olması sorunun çözümünün net bir şekilde ortaya konamamasından ileri gelmektedir. Toprakların bir noktadan diğer bir noktaya çok değişkenlik göstermesi sorunu daha karmaşık hale getirmektedir. Dren aralık eşitlikleri ise bu çok karmaşık durumun aşırı yalınlaştırılmış modelleridir. Bunların doğruluğuna bu açıdan bakılmalıdır.

Eşitliklerde varsayıldığı gibi, yeraltı su akışlarının oluştuğu aküfer, ne düşey ne de yatay olarak bir örnek değildir. Özellikle alüvial ovalarda topraklar katmanlaşmış olup, geçirgenlikleri yatay ve düşey doğrultularda önemli düzeyde değişir. Bir tarlanın değişik yerlerinde, kısa aralıklarla açılacak kovan burgu deliklerinde elde edilen toprak su iletkenliği değerlerinin onlarca kat farklılık göstermesi rastlanmayacak bir durum değildir. Toprakların aynı tarla içinde bile bünyeleri ve yapıları ile infiltrasyon özellikleri, drene edilebilir gözenek hacimleri, su tutma kapasiteleri ile beslenme düzeylerinin farklılıklarına oldukça sık rastlamak olasıdır.

Dren aralıklarını belirlemede kullanılan eşitliklerin dayandığı varsayımlar iki farklı koşula dayanır. Bunlar kararlı ve kararsız akış koşullarıdır. Kararlı akış eşitliklerinde beslenme ve boşalımın eşit ve su tablası düzeyinin her zaman aynı düzeyde olduğu varsayılır. Buna kararlı su tablası ölçütü denir. Kararsız akış koşullarında su tablası düzeyinin düşme hızı ölçüt olarak alınırsa “düşen su tablası”, su tablasının belli düzeylere kadar yükselme sıklığı ve süresi göz önüne alınırsa buna “dalgalanan su tablası ölçütü” denmektedir.

Kararlı akış eşitlikleri ile dren aralıklarının belirlenmesi için öncelikle drenaj katsayısı (q) olarak tanımlanan drenaj ölçütünün bilinmesi gerekir. Ayrıca drenlerin döşeneceği tarla drenaj derinliği (W) ile taban suyu (H) derinliği belirlenmelidir. Buradan drenlerin üstündeki su yükü, (h=W-H) bulunur. Bilindiği gibi kararlı akış koşullarındaki drenaj eşitlikleri, uzun dönemde beslenme ve boşalımın eşit, h yükünün ise değişmez olduğu varsayımına dayanır.

Dren aralık eşitlikleri kararlı ve kararsız akış eşitlikleri diye genel anlamda ikiye ayrılır. Kararlı akış eşitliklerinden en yaygın olarak kullanılan Hooghoudt ve Ernst eşitliği ile kararsız akış eşitliklerinden Glover-Dum eşitliği ve kullanımlar ilerdeki bölümlerde açıklanacaktır.

9.1.1 Hooghoudt eşitliği

Kararlı akış koşullarında dren aralıklarını belirlemede yaygın olarak kullanılan drenaj eşitliklerin başında Hollandalı araştırıcı Hooghoudt tarafından geliştirilen eşitlik gelmektedir (ILRI, 1994). Anılan eşitlik sadece yatay ve radyal akış nedeniyle oluşan yük kayıplarını göz önüne alır.

Hooghoudt eşitliği de kullanılan diğer eşitlikler gibi birçok kısıtlar getirmektedir. Hooghoudt eşitliği bir örnek topraklara, daha doğrusu bünyelerindeki ve yapılarındaki değişikliklere karşın bir örnek olduğu düşünülebilen, drenlerin üstünde ve altında farklı iki katman içeren topraklara uygulanmaktadır. İki toprak katmanının ayırım sınırı, dren düzeyinin altında uzandığı takdirde anılan eşitliğin uygulanabilirliği ortadan kalkmaktadır.

Hooghoudt geçirimsiz kata kadar uzanan, aynı su yükünde (h) ve aynı dren aralığında (L), geçirimsiz kat derinliğinin (D) azaltılarak aynı dren verdisini oluşturabilen bir açık paralel hendek sistemi düşündü. Bu durum onu aynı su tablası yükünde geçirimsiz kat derinliği (D) yerine, aynı dren aralığında ve aynı su yükünde boru drenlere olan eş değer bir akış yaratan bir derinlik (d) olacağı fikrine götürdü (Şekil 3.2). Bu eşdeğer akış esas olarak yatay akıştır.

Kararlı akış koşullarında dren aralıklarını belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan Hooghoudt eşitliğinin kullanımı oldukça basit olup, bu eşitliğin çözümü

için hidrolik değişkenlere ek olarak, dren tipi ile toprak değişkenlerinin, yani hidrolik iletkenliğin (K) ve geçirimsiz katın (D) belirlenmesi yeterlidir.

$q_x = Ky\ dy/dx$ (9.1)

Eşitlikte, q_x x doğrultusunda birim akışı, K hidrolik iletkenliği, y su tablası yüksekliğini, dy/dx hidrolik eğimi göstermektedir.

$q_x = R(1/2\ L - x)$ (9.2)

L dren aralığı m; R birim alan için beslenme m/gün olup, eşitlikler beraberce yazılırsa

$Ky\ dy/dx = R(1/2\ L - x)$ (9.3)

şeklinde bir eşitlik ve buradan,

$Kydy = R(1/2\ L - x)dx$ elde edilir. Bu differansiyel eşitliğin

$X=0 \longrightarrow y=D$, ve

$X=1/2L \longrightarrow y=H$

D; drenlerdeki su düzeyi m,

H; iki dren hattı orta noktasındaki su düzeyi m,

$L^2 = 4K(H^2-D^2) / R$, veya

$q=R=4K(H^2-D^2)/L$ (9.4)

eşitliği elde edilir. Anılan eşitlik Donnan eşitliği olarak bilinir. Donnan eşitliği aşağıdaki gibi yazılarak;

$q=R=4K(H^+D)\ (H-D)/L$, Şekil 9.2'de görüldüğü gibi, $(H^+D)=2D+h$ ve $(H-D)=h$'dir. Burada h drenlerin üstündeki su düzeyi yüksekliğidir. Böylece anılan eşitlikte yukarıdakiler yerine konarak,

$$q = \frac{8\,K\,D\,h}{L^2} + \frac{4Kh^2}{L^2} \quad (9.5)$$

Hooghoudt eşiliği olarak bilinen eşitlik elde edilmiş olur. Drenlerin üzerindeki su düzeyi çok küçükse bu durumda eşitlik;

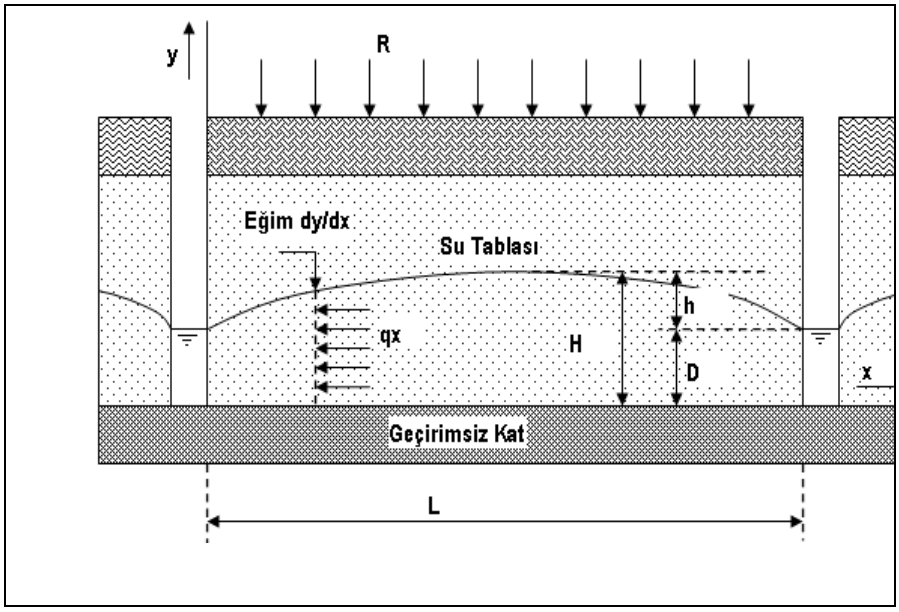
$$q = \frac{4Kh^2}{L^2} \quad (9.6)$$

şekline dönüşür.

Geçirimsiz kat çok derinlerde ise (D>>h) eşitliğin ikinci terimi önemsiz olur. Böylece

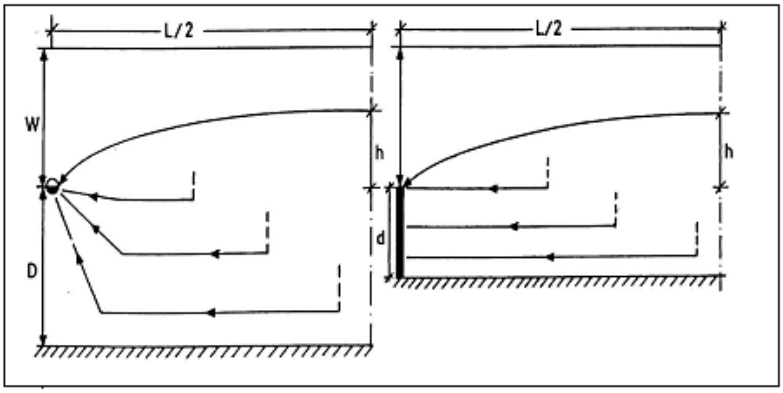
$$q = \frac{8\,K\,D\,h}{L^2} \qquad (9.7)$$

şeklinde yazılabilir. Bu eşitlik dren borularına akışların daha çok drenlerin altından olduğunu gösterir.



Şekil 9.2. Geçirimsiz kata kadar ulaşan düşey duvarlı kanallara akış (ILRI, 1994)

d<D olduğunda, eşdeğer durumda gerçek durumdan daha fazla yük kaybı olur. Eş değer yatay akışın ortalama kalınlığı yaklaşık olarak,



Şekil 9.3. Hooghoudt eşitliğinde eşdeğer derinliğin ve akışların şematik olarak dönüştürülmesi

$$D_h = d + h/2 \qquad (9.8)$$

Bu değer Eşitlik 9'da yerine konulursa;

$$h = \frac{q\,L^2}{8\,K\,(d + h/2)} \quad \text{ve} \quad q = \frac{8\,K\,(d + h/2)}{L^2} \qquad (9.9)$$

elde edilir.

Eşdeğer yatay akışın bir bölümü drenlerin altından bir bölümü de drenlerin üstünden oluşur. Eğer bu bölümlerdeki toprakların hidrolik iletkenlikleri farklı ise,

$$q = \frac{8\,K_2\,d\,h}{L^2} + \frac{4K_1\,h^2}{L^2} \qquad (9.10)$$

K, dren aralık eşitliği şeklinde yazılır ve bu eşitlik Hooghoudt eşitliği olarak bilinir. Hooghoudt aynı zamanda eşdeğer derinliği hesaplamak için ilişkiler geliştirmiştir (Ritzema, 1994).

d= f (D, L, u) olduğunu ve buradan

D> 1/4 L için

$$d = \frac{\frac{\pi L}{8}}{\ln \frac{L}{\pi r_0} + F(x)} \qquad (9.11)$$

burada x= 2πD/L ve

$$F(x) = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \ln \cot (nx) \qquad (9.12)$$

bu fonksiyon sonsuz logaritmik bir seriyi göstermektedir. Bu bakımdan çözümü gerçekleştirmek için aşağıda ki gibi değiştirilmiştir.

$$F(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4\,e^{-2nx}}{n(1 - e^{-2nx})} \quad (n = 1,3,5,...) \qquad (9.13)$$

Bu eşitlik x>1 için hızlı bir şekilde x<<1 için yavaş bir şekilde bir noktada birleşmektedir. Ancak x< = 0.5 durumu için Dagan'ın aşağıda verdiği eşitliğin oldukça doğru sonuçlar verdiği bildirilmektedir.

$$F(x)=\frac{\pi^2}{4x}+\ln\frac{x}{2\pi} \qquad (9.14)$$

Hooghoudt'un bu teorisi iki temel varsayıma dayanır (Ritzema, 1994). Eşitlik 9.13 ve 9.14 bilgisayarda kolayca çözülebilmektedir. Bununla ilgili akış şeması (Ritzema, 1994)'te bulunabilir.

Bunlar;

-Drenlerin yarı dolu aktığı

-Giriş direncinin olmadığıdır.

Bu varsayımlardan suyun dren borularına giriş bölgesinde yarım daire şeklinde bir ıslak çevre için olduğu anlaşılır. Böylece ;

$$r_0=u/\pi \qquad (9.15)$$

Burada r dren borusunun yarı çapını (m), u ıslak çevreyi (m) göstermektedir. Açık drenlerde eşdeğer yarıçap yukarıda ki eşitlik yardımıyla

$$u=b+2r_0 \qquad (9.16)$$

şeklinde hesaplanır. Burada b hendek genişliğini göstermektedir.

Dren çevresinde zarf materyali kullanılıyorsa eşitlik (9.15) aşağıda ki şekilde değiştirilir.

$$u=b+2(2r_0+m) \qquad (9.17)$$

m, dren üstündeki zarf kalınlığını (m) gösterir.

İkinci varsayım ideal dren anlamına gelir. Dren hendeğindeki hidrolik iletkenliğin hendek dışındaki bozulmamış toprağın iletkenliğinden 10 kat büyük olması durumunda bunun doğru olduğu varsayılır.

Hooghoudt, eşdeğer derinliğin bu karmaşık çözümünde ortaya çıkan zorlukları gidermek için dren aralığı, geçirimsiz kat derinliği ve boru çapına bağlı olarak eşdeğer derinlikleri yaklaşık olarak veren çizelgeler hazırlamıştır (Çizelge 9.2).

Anılan çizelgede d değerleri D≅1/4L değerine kadar artmaktadır. Geçirimsiz kat daha derinlerde olduğu takdirde d değeri değişmemekte sabit kalmaktadır. Başka bir deyişle bu derinlikten sonra akış deseninde bir değişme olmamaktadır.

Eşdeğer derinlik d dren aralığının bir işlevi olarak deneme yanılma yöntemi ile çözülmektedir. Ancak bu oldukça zaman alıcı bir yöntemdir. İşlemleri daha kolay bir hale getirmek için Van Beers (1965) tarafından Hooghoudt eşitliğinin çözümü için Şekil 9.6'daki nomografı geliştirmiştir.

9.1.2 Ernst eşitliği

Hooghoudt eşitliği katmanlaşma olmayan bir örnek topraklarda veya ara yüzeyleri dren düzeyleri ile çakışan iki katmanlı topraklar da uygulanabilir. Sözü edilenden farklı bir şekilde katmanlaşmış topraklarda uygulanması doğru sonuçlar vermez. Ernst eşitliği ise herhangi iki katmanlı toprakta uygulanabilir. Bu yüzden, farklı su iletkenliklerine sahip çok katmanlı topraklarda uygulanabilir çözümler elde edebilmek için genellikle Ernst eşitliği kullanılır. Anılan eşitliğin üstünlüğü iki katmalı bir toprağın ara yüzeylerinin drenlerin üstünde veya altında olmasından etkilenmemesinden ve özellikle düşük su iletkenliğine sahip üst toprakların yaygın olduğu alanlarda kullanılması halinde uygulanabilir sonuçlar sağlamasından ileri gelmektedir.

Ernst (1962), drenlere akışı düşey, yatay ve radyal akış olmak üzere üç bileşene ayırmıştır. Dolayısıyla sonuç olarak toplam su yükü bu akışlar nedeniyle ortaya çıkan üç yük kaybının toplamından ileri gelecektir. Ayrıca dren hendeğinden boruya girerken oluşan giriş yük kaybını da buna ekleyerek, akış deseni ve yük kayıpları belirlenmektedir.

9.2 Akış Deseni

Paralel boru drenlere akış çizgileri Şekil 9.3'de gösterilmiştir. Toprak yüzeyinden süzülen fazla su düşey olarak aşağı doğru akarak doygun olmayan toprak

bölgesinden geçer ve taban suyuna ulaşır. Suya doygun bölgenin altında akış yönü az çok aşağı doğru iken, hızlı bir şekilde emicilere doğru yatay akış başlar. Bu akış yollarının sonunda, akışlar radyal akışa dönüşür. Bu üç akış bölgesinin büyüklükleri h, L ve D' ye bağlı olarak değişir. Eğer dren aralığı (L), ve geçirimsiz kat (D); dren düzeyinin üstündeki su yüksekliğine (h)'a göre çok büyükse akış daha çok yatay, L ve D aynı oranda iseler daha çok radyal akış beklenirken, h oransal olarak biraz büyükse belli bir bölgede düşey akış beklenir.

Yatay akış, drenaj derinliğinin 1/4L altına kadar ulaşabilir. Radyal akış bölgesi kabaca dren borusu çevresinde $1/2D\sqrt{2}\cong 0.7D$ çapında bir daire şeklindedir.

Drenlere oluşan bu akışların toplam yük kayıpları hesaplanabilir. v, h, r, he düşey, yatay, radyal ve giriş akışlarını göstermek üzere aşağıdaki eşitlik yazılabilir (Ernst, 1962).

$$h=h_v+h_h+h_{r+}h_e \qquad (9.18)$$

İdeal dren durumunda h_e sıfır kabul edilir.

9.2.1 Düşey Akış

Düşey akış nedeniyle oluşan yük kaybı toprak katlarının kalınlığı (D), hidrolik iletkenlik (K) ve akış (q) ile ilişkili olup Darcy Yasasına göre;

$$h_v = \frac{qD_v}{K} \qquad (9.19)$$

şeklinde yazılır.

Şekil 9.4'te görüldüğü gibi düşey akış; su tablası ile drenaj derinliği arasında oluşur. Yük kayıpları 1 ve 2 nolu piyezometrelerin okunmasıyla belirlenir. Genellikle bu değer oldukça küçüktür. Örneğin q=5 mm gün^{-1}, K=2.0 m gün^{-1} ve Dv= 1.2 m ise, h_v = 3.0 mm'dir. Düşey akış nedeniyle yük kaybı ağır killi topraklarda ve sıkışmış bir toprak katının olması durumunda önemli olabilir.

9.2.2 Yatay Akış

Yatay akış nedeniyle oluşan yük kaybı, yatay akış bölgesinde değişik yerlere konuşlandırılan piyezometre okumaları ile belirlenir. Şekil 9.4'teki 2 ve 3 nolu piyezometre okumaları arasındaki fark olarak belirlenir. Birim genişlik için düşey plan göz önüne alınarak,

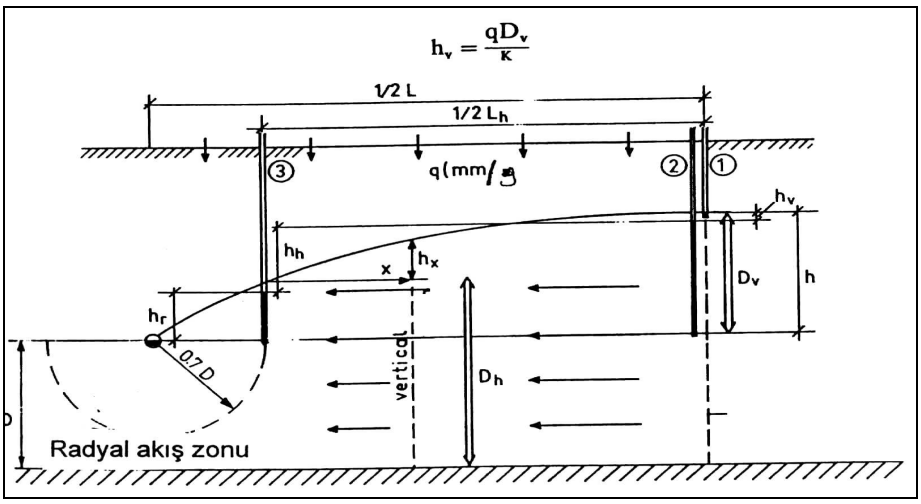
(i) $Q_x = q(L_h/2-x)$ (9.20)

(ii) $Q_x = KD_h\,(dh_x/dx)$ (9.21)

eşitlikleri yazılabilir.

burada D_h ortalama yatay akış bölgesini ($D_h \cong D+1/2h$) göstermektedir.

Bu iki eşitliğin çözümü ile $x=0$, $h_x=0$ ve $x=L_h/2$ ve $h_x=h_h$ alınarak



Şekil 9.3 Borulu drenaj akışında yük kayıpları (Ernst, 1962)

$$q = \int_0^{Lh/2} (Lh/2 - x)dx = \mathrm{KD_h} \int_o^{hh} dhx \qquad (9.22)$$

elde edilir. Horizontal yük kaybı h_h

$$h_h = qL_h^2 / 8\Sigma(KD)_h \qquad (9.23)$$

elde edilir. Bu L_h boyunca parabolik bir eğri şeklindedir. Eğer geçirimsiz kat çok derinse $\Sigma(KD)_h$ değeri sonsuza doğru artar ve horizontal yük kaybı sıfı olur. Bunu önlemek için drenlarin altındaki toprak katını derinliği dren aralığını ¼ ile sınırlandırılır.

9.2.3 Radyal akış

Radyal akış bölgesi dren boru çevresinde oluşan akıştan ileri gelen yük kayıplarını göstermektedir. Konu ile ilgili yaklaşım ve açıklamalar Ernst, (1962) ve Wesseling, (1973)tarafından açıklanmıştır.

$$h_r = q\frac{L}{\pi K_r}\ln\frac{aD_r}{u} \qquad (9.24)$$

eşitlikte Kr, radyal hirolik iletkenliği, a, radyal direncin geometrik faktörünü, Dr radyal akışta göz önüne alınan toprak katının kalınlığını, u ıslak çevreyi göstermektedir.

Bu üç yük kaybı eşitlik 9.18 de yerine konularak toplam yük kaybı eşitliği elde edilir.

$$h = q\frac{Kv}{Dv} + q\frac{qL_h^2}{8KD_4} + q\frac{L}{\pi K_r}\ln\frac{aD_r}{u} \qquad (9.25)$$

Eşdeğer akış;

$$h = h_{h^*}(\text{eşdeğer}) = \frac{qL_h^2}{8\sum(KD)_h} \qquad (9.26)$$

eşitlikte, aD_r geometrik parametreyi, u ıslak çevreyi göstermektedir. aDr değeri drenlerin yerleştirildiği derinlik ve geçirimsiz katla yakından ilişkilidir. Şekil 9.4'de gösterildiği gibi bu değer 0.7D'ye eşit alınabilir.

Radyal akışların belirlenmesinde önemli bir faktör olan u değeri boru çevresindeki ıslak çevreyi göstermesine karşın hendeğin ıslak çevresi alınabilir. Hendek genişlikleri 20-25 cm olup tipik u değerleri 0.3-0.4 m arasında değişir.

Radyal akış yük kaybı h_r drendeki su düzeyi ile 3 no'lu piyezometre arasındaki fark olarak belirlenir (Şekil 9.4).

Geometrik parametre (a) toprak profiline ve drenlerin konumuna bağlıdır. Bir örnek toprak profilinde geometrik faktör bire eşittir. Katmanlaşmış topraklarda geometrik faktör drenlerin katmanların alt veya üstünde olup olmamasına göre değişir. Eğer drenler toprak katının alt tabanında ise radyal akışın bu katla sınırlandırıldığı var sayılır ve bu durumda yine geometrik faktör a= 1 olur. Drenler üst toprak katında ise alt ve üst toprak katlarının su iletkenlerine bağlı olarak değişir.

Ernst (1962) a değerini aşağıda belirtilen durumlar için belirlemiştir.

-Kb/Kt < 0.1 ve alt toprak katmanları geçirimsiz ise durum bir örnek toprak profiline indirgenebilir.

a=1

-0.1< Kb/Kt < 50, Kb/Kt ve D_b/D_t oranına bağlı olarak Çizelge 9.1'de verilen değerler.

-Kb/Kt >50 a=4

Böylece Ernst eşitliği olarak bilinen 9.25 nolu eşitlik drenaj katsayısı (q) ve toplam hidrolik yük (h) değerlerinin bilinmesi durumunda, dren aralığı (L) kolayca belirlenebilir.

Çizelge 9.1 Ernst eşitliğinde kullanılan geometrik faktör (Van Beers, 1979)

Kb/Kt	Db/Dt (alt toprak/üst toprak)					
	1	2	4	8	16	32
1	2	3	5	9	15	30
2	2.4	3.2	4.6	6.2	8.0	10
3	2.6	3.3	4.6	5.5	6.8	8.0
5	2.8	3.5	4.4	4.8	5.6	6.2
10	3.2	3.6	4.2	4.2	4.8	5.0
20	3.6	3.7	4.0	4.0	4.4	4.6
50	3.8	3.4	4.0	4.0	4.2	4.6

Belirgin bir geçirimsiz kat olmadığı durumlarda D değeri üst katmanlardaki hidrolik iletkenlik değerinin onda birine (1/10) düştüğü derinlik geçirimsiz kat olarak sayılabilir. Ancak bu katın bir iki metre altında çok geçirgen bir katın olmaması gerekir.

9.2.4 Giriş akışı

Boru çevresinden borulara doğru akış sırasında boru açıklıklarından suyun boruya girmesi sırasında yük kayıpları oluşur. Hendek kenarına ve boru içine yerleştirilen piyezometre okumalarından yük kayıpları belirlenir. Ancak uygulamadaki teknik güçlük nedeniyle piyezometre hendeğin hemen dışındaki bozulmamış toprak içine yerleştirilir. Belirtilen bu iki piyezometre arasındaki yük farkı h_e olarak belirlenir. İdeal drenlerde giriş yük kaybının 0 (sıfır) olduğu varsayılır. Genellikle amaç h_e'yi en küçük yapmaktır. İdeal bir dren için boru çevresindeki hidrolik iletkenliğin hendek dışındaki bozulmamış toprağın hidrolik iletkenliğinden en az 10 kat daha fazla olması gerekir. Belirtilen yük farklarından;

$$h_e = \alpha(Q/K) \qquad (9.27)$$

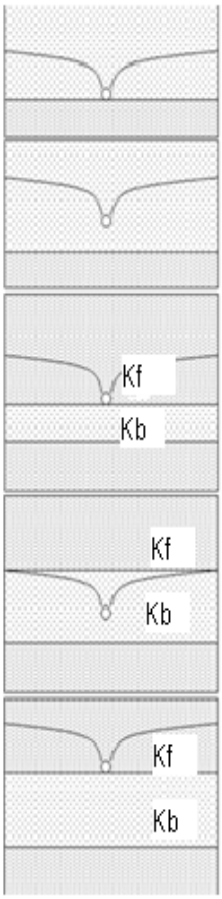
eşitliği ile direnç faktörü hesaplanır. Direnç faktörleri; Kil ve beton borular için α=0.4-2.0, düz plastikler borular için α=0.4-0.6 ve sertleştirilmiş plastik borular için α=0.05-1.0 olarak verilmektedir

Kil ve beton borular diğer borulardan genellikle daha yüksek giriş dirençlerine neden olurlar. Bu durum bu borularda suyun girebileceği deliklerin aralarının daha fazla olmasından ileri gelir. Giriş dirençleri boru drenler için zarf seçiminde önemli rol oynar.

9.4 Kararlı Akış Eşitliklerin Kullanımı

Dren aralıklarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan kararlı akış eşitliklerinin geçirimsiz kat, toprak profilinin özelliği, drenin konumuna göre kullanılma olanakları şematik olarak Şekil 9.5'de gösterilmiştir.

Yapılan etüt sonucunda toprakların hangi konuma uygun olduğuna karar verilerek çözüm üretilir.

Şematik Gösterim	Toprak profili	Drenin konumu	Kuram	Eşitlik
	Birörnek	Geçirimsiz katın tam üstünde	Hooghoudt/ Donnan	$q = \frac{4K(H^2 - D^2)}{L^2}$
	Birörnek	Geçirimsiz katın yukarısında	Hooghoudt eşdeğer derinlikle	$q = \frac{8Kdh + 4K_1h^2}{L^2}$
	İki katmanlı	Toprak katlarının ayırım yüzeyinde	Hooghoudt/	$q = \frac{8K_bdh + 4K_th^2}{L^2}$
	İki katmanlı (Kt>Kb)	Alt katta	Ernst	$h = q(\frac{D_v}{K_t} + \frac{L^2}{aK_bD_b} + \frac{L}{\pi K_b} + \ln\frac{D_r}{u})$
	İki katmanlı (Kt<Kb)	Üst katta	Ernst	$h=q(\frac{D_v}{K_t}+\frac{L^2}{8(K_bD_b+K_tD_t)}+\frac{L}{\pi K_t}\ln\frac{aD_t}{u})$

Şekil 9.5 Kararlı akış dren aralık eşitliklerinin özet olarak gösterimi

9.5 Kararsız Akış Koşulları

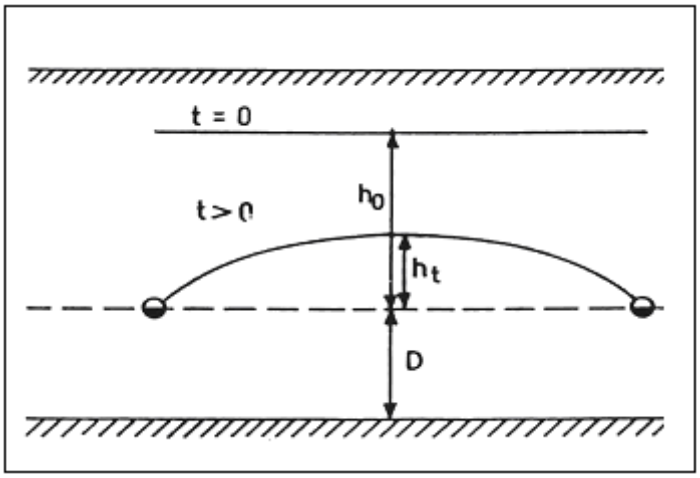
Birçok yerde, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, yağışlar düzensiz olup sürekli bir beslenme söz konusu değildir. Kurak bölgelerde şiddetli yağışların veya sulamaların hemen arkasından taban suyu düzeyi yükselmeye, drenler çalışmaya başlar. Bu dönemlerde yüksek debili dren akışları oluşur. Beslenme bitince dren verdileri zamanla azalarak ikinci sulamaya kadar dren akışları kesilir. Taban suyu düzeyleri dren düzeylerine veya drenlerin biraz üstüne veya altına düşebilir. Onun için ne sabit beslenme ve ne de sabit verdi söz konusu olmaz. Bunun doğal sonucu olarak belli bir taban suyu düzeyi değil de, dalgalanan bir taban suyu düzeyinden söz etmek daha doğru olur. Anılan durum;

Kararlı bir beslenme ve kararlı bir boşalım için üretilmiş olan dren aralık eşitliklerinin, yukarıda açıklanan kararsız akış koşulları için tam anlamıyla geçerli

olmayacağı düşüncesiyle bu yeni duruma kararsız akış koşulları adı verilmekte ve bu duruma uygun eşitliklere de kararsız dren aralık eşitlikleri denmektedir.

Kararsız koşullarda beslenme ve boşalım zamanla değiştiği için başlangıçta dren düzeyinde olan su tablası beslenmenin şiddetine bağlı olarak dren düzeylerinin üstünde toprak yüzeyine doğru yükselir. Beslenmenin kaynağı sulama ise bu olay her sulamada yinelenir. Şiddetli sağanak yağışların egemen olduğu bölgelerde de benzer koşullar oluşur.

Bu koşullarda sabit bir taban suyu tablası varsayımı gerçek durumu yansıtmaktan uzaktır. Onun için sulama veya yağışla yükselen taban suyu tablasının bitkilerin gelişmesine zarar vermeyecek bir sürede kök bölgesinden uzaklaştırılmasını temel alan "kararsız koşul" ilkelerini temel alan çözümlerin daha uygulanabilir üreteceğine inanılmaktadır.



Şekil 9.6. Kararsız akış koşullarının geometrisi

9.5.1 Glover-Dumm eşitliği

Yukarıda açıklaması yapılan koşullara ilişkin geometri Şekil 9.6 da gösterilmiştir. Anılan şekilde görüldüğü gibi beslenme sonunda taban suyu düzeyi herhangi bir t=0 anında dren düzeylerinin üzerinde $h_x=h_0$ düzeyine kadar çıktıktan t kadar süre sonra yine drenlerin üzerindeki bir h_t düzeyine düşeceği varsayılmaktadır. Dumm (1960) bu ilişkiyi aşağıdaki eşitlikle göstermiştir.

$q_t = q_0 1.16\, e^{-\alpha t}$ (9.28)

veya

$h_t/h_0 = 1.16\, e^{-\alpha t}$ (9.29)

ve

$\alpha = 10Kd/\mu L^2$ (9.30)

etmiştir.

Eşitlikte, t zamanı (gün), h_0 başlangıç su tablası düzeyini (m), h_t t zamanındaki su tablası düzeyini (m), α tepki faktörünü (1/gün), μ ise drene edilebilir gözenek hacmini (m/m) göstermektedir.

Yukarıdaki iki eşitlik beraberce yazılarak;

$$L^2 = \frac{10Kxdxt}{\mu}\left[\ln 1.16 \frac{h_0}{h_t}\right]^{-1} \quad (9.31)$$

elde edilir ve bu eşitlik Glover-Dumm eşitliği olarak bilinir.

Kararsız akış koşullarında çözüm için Şekil 9.7'de verilen geometrinin göz önünde tutulması gerekir. Kurak ve yarı kurak iklim koşullarının egemen olduğu bölgelerde taban suyu düzeyinin sulamalarla veya yağışlarla yükselip alçaldığı ve dolayısıyla bu eşitliğin doğada olanları daha iyi yansıttığı söylenebilir.

Ancak burada gözden kaçırılmaması gereken önemli ölçüt taban suyunun yükselme düzeyi ile düşme süresidir. Anılan süre bitkilere zarar vermeyecek ve çiftlik çalışmalarına engel olmayacak uygun bir zaman süresidir. Dren aralık eşitliğinin çözümü için tüm toprak katı için tek bir hidrolik iletkenlik (K) değeri yeterli olurken, kararlı koşullardaki eşitliklerde gerek duyulmayan ve doğru olarak belirlenmesi oldukça zor bir parametre olan, drene edilebilir gözenek hacminin (μ) belirlenmesine gerek vardır.

9.5.2 Dalgalanan su tablası

Drenaj sorunu yaratan fazla su, yüzey altı drenaj sistemlerinin bulunmadığı alanlarda toprak altında birikerek taban suyunun yükselmesine ve sonuçta yaş toprakların oluşmasına neden olur. Ancak yüzey altı drenaj sistemlerinin kurulu olduğu alanlarda, beslenmenin olmadığı dönemlerde taban suyu düzeyi emici dren düzeylerinde veya biraz üstünde veya altında olabilir. Sulama veya sağanak yağışların beslenmeyi artırmasıyla sistemin boşaltım kapasitesine bağlı olarak taban suyu düzeyleri yükselir. Beslenmenin arkasından su düzeyleri düşer. Anılan duruma dalgalanan su tablası ölçütü denmekte ve dalgalanmanın düzeyinin olası sınırlarının ne olması gerektiğine ilişkin çözümler üretilmesinin daha kullanılabilir sonuçlar getireceği düşünülmüştür.

Hooghoudt'un basit eşitliği dönemsel yağışlar ve sulamalarla beslenen "kararsız akış" koşullarına göre geliştirilebilir (Zeeuw ve Hellinga 1960).

$$q = 8Kdh/L^2 \qquad (9.32)$$

Dren boşalımları zamana ve su tablası düşüşüne bağlı olarak zamanla doğrusal bir şekilde azaldığı varsayılır. Dolayısıyla buradan;

$$dq/dt = (8Kd/L^2) / (dh/dt) \qquad (9.33)$$

Taban suyu yağışla veya başka bir kaynakla (R) beslenir ve dren boşalımları ile düşer.

R-q>0 olduğunda taban suyu düzeyi yükselir. R-q<0 durumunda ise taban suyu düzeyi düşer. Anılan yükselme ve düşme aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$dh/dt = (R-q)/C\mu \qquad (9.34)$$

C=0.8 alınarak iki eşitlik birleştirilirse eşitlik 9.35 elde edilir.

$$dq/dt = (10Kd/\mu L^2)(R-q)) = (R-q) \qquad (9.35)$$

α, reaksiyon faktörü veya drenaj şiddet faktörü olup birimi "1/gün"dür.

$t = t$; $q = q_t$ $t=t-1$; $q=q_{t-1}$ verilerek integrali alınarak,

$$\int_{q\,t-1}^{q} \frac{dq}{(R - q)} = \int_{t-1}^{t} \alpha dt \qquad (9.36)$$

Buradan;

$$\frac{(R - q)\ t}{(R - q)\ t - 1} = e^{-\alpha \Lambda t} \qquad (9.37)$$

$qt=q_{t-1}\ e^{-\alpha\Delta t} + R_{\Delta t}\ (1- e^{-\alpha\Delta t})$, $R_{\Delta t}$ 'nin t-1 den t'ye kadar olan zaman aralığında sabit olduğu varsayılmakta ve q ile h arasındaki doğrusal ilişki kullanılarak

$$ht=h_{t-1}\ e^{-\alpha\Delta t}\ (R_{\Delta t} / 0{,}8\ \mu\Delta)\ (1- e^{-\alpha\Delta t}) \qquad (9.38)$$

elde edilir.

Eşitlikte, α drenaj şiddet faktörünü 1/gün, t zamanı gün, μ drene edilebilir gözenek hacmini, R beslenmeyi m, ve h su tablası yüksekliğini m, göstermektedir.

9.5.3 Drenaj şiddet faktörü (α)

Smedema ve Rycroft (1983)'un bildirdiğine göre; yukarıdaki eşitliğin çözümü Zeeuw ve Hellinga (1960), tarafından su tablasının dalgalanmalarına verilen bir α değerine göre yapılmıştır. Kararsız akış koşulları olmasına karşılık belirli aralıklarda beslenmenin $R_{\Delta t}$ sabit olduğu varsayılır.

$a=10Kd/\mu L^2$ (Eşitlik 27) dren boşalımlarını ve beslenmenin doğrudan bir göstergesidir. α değeri gözlemlenmiş değerlerden Şekil 9.7'de gösterileni gibi eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$$\alpha=2.3(\log h_{t-1}- \log h_t)/\Delta t \qquad \alpha=(\ln h_{t-1}- \ln h_t)/\Delta t \qquad (9.38a)$$

$$\alpha=2.3(\log q_{t-1}- \log q_t)/\Delta t \qquad \alpha=(\ln q_{t-1}- \ln q_t)/\Delta t \qquad (9.38b)$$

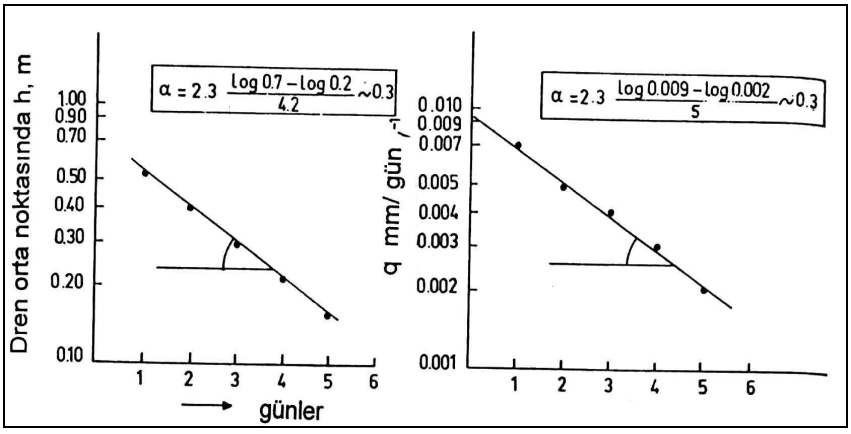
Düşük KD, geniş dren aralığı ve yüksek drene edilebilir gözenek hacmine sahip topraklarda α =0.1-0.3 arasında (yavaş tepki), yüksek KD, dar dren aralığı ve düşük drene edilebilir gözenek hacmine sahip topraklarda ise α=2.0-5.0 arasında değişir.

Eğer KD, L ve μ değerleri biliniyorsa α hesaplanabilir. Ancak özellikle μ değerini hesaplamak zordur. α için en iyi tahminler arazide gerçek değerler gözlenerek elde edilir. Beslenmenin R= 0 olduğu dönemlerde yapılan gözlemlerden elde edilen veriler, zamana karşı çizilirse $t_A=0.4/\alpha$ kadar süre sonra su yükü ve dren verdileri arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu görülecektir. Sulanan alanlarda $\alpha=0.2$ 1 gün^{-1} değeri oldukça sık rastlanan bir değer olarak varsayılmaktadır. Bu durumda;

$t_A=0.4/0.2 =2$ gün elde edilir.

Bu sonuca göre, değerlendirilebilir gözlemler dönemi sulamalardan veya yağmurun kesilmesinden iki gün sonra başlamaktadır. Denemeler sonunda, elde edilen gerçek α değeri kullanılarak, değerlendirmenin başlayacağı dönem hesaplanabilir. Ancak böyle bir çalışmada ölçme ve gözlemler sulamalarla ve yağışlarla birlikte yapılarak değerlendirme dönemleri deneme sonunda belirlenmelidir.

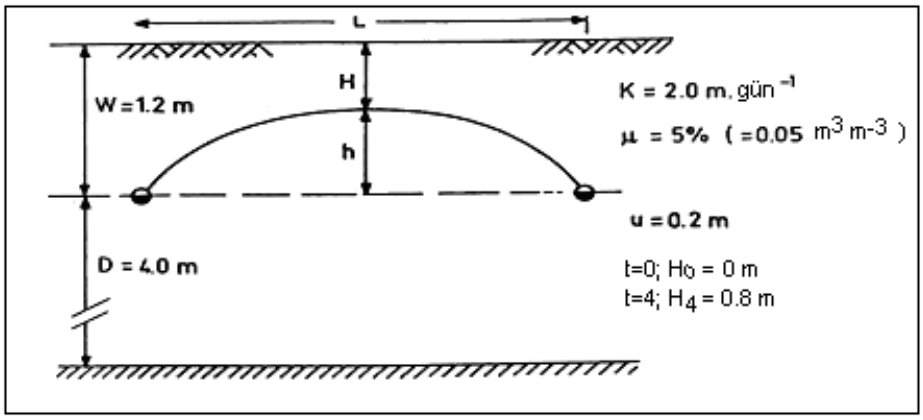
Ölçme ve gözlemlerden elde edilen veriler yarı logaritmik kağıda çizilerek Şekil 9.7'de gösterilenlere benzer şekiller elde edilmekte ve buradan "drenaj şiddet faktörü" veya "tepki etkeni" belirlenebilmektedir.



Şekil 9.7. Gözlemlenmiş değerlerden drenaj şiddet faktörünün hesaplanması

Örnek soru:

Örnek probleme ilişkin veriler Şekil 9.8'de ve bu verilere dayalı olarak örneğin değişik yollardan çözümü aşağıda görülmektedir.



Şekil 9.8 Kararsız akış koşullarında belirlenen bazı parametreler (Smedema ve Rycroft, 1983)

Şekilde görüldüğü gibi tarla içi drenaj derinliği W=1.2 m, drene edilebilir gözenek hacmi μ=0.05 m^3/ m^3, hidrolik iletkenlik K=2.0 m $gün^{-1}$, ıslak çevre u=0.2 m, geçirimsiz kat toprak yüzeyinden D=5.2 m derinliktedir.

Eldeki verilere göre çözüm yapmak için taban suyu tablasının toprak yüzeyine ne kadar yaklaşacağı veya kök bölgesinde kalacağı sürenin belirlenmesi gerekir. Verilen örnekte taban suyu toprak yüzeyine kadar çıkmakta ve 4 günde 0.8 m düşerek drenlerin üzerinde 0.4 m'ye düşmektedir.

9.5.4 Hooghoudt eşitliğinin kullanımı

Hooghoudt eşitliğini kullanarak dren aralıklarını belirlemek için aşağıda verilen parametrelerin belirlenmesi gerekir.

Temel drenaj ölçütlerinin belirlenmesi (q ve H)

Tarla drenaj derinliğinin belirlenmesi W, h=W-H

Toprak parametrelerinin saptanması K (K_1 ve K_2)

Dren tipinin belirlenmesi ve ıslak çevrenin (u) hesaplanması

Dren aralığı eşitliklerinin çözümü ile dren aralığının (L) hesaplanması

Belirtilen parametreler dren aralığını veren eşitlikte yerine konarak dren aralığı hesaplanır. Ancak eşitliğin çözümünde eşdeğer derinlik (d) değeri belirtildiği gibi geçirimsiz kat (D), dren aralığı (L), ve ıslak çevrenin bir fonksiyonu olduğu için elde edilen sonuç doğrudan çözüm içermez. Bu bakımdan eşitlikte d değeri çizelge 9.3'ten deneme-yanılma yöntemi ile veya Şekil 9.6'daki nomograftan D değeri ile kolayca hesaplanabilir.

Örnek

Dren aralığı hesaplanacak bir alanda Şekil 9.9'da gösterilen veriler belirlenmiştir. Verilenlere dayanarak dren aralıkları aşağıdaki işlemlerle yapılır.

1-Eşitlikle çözüm

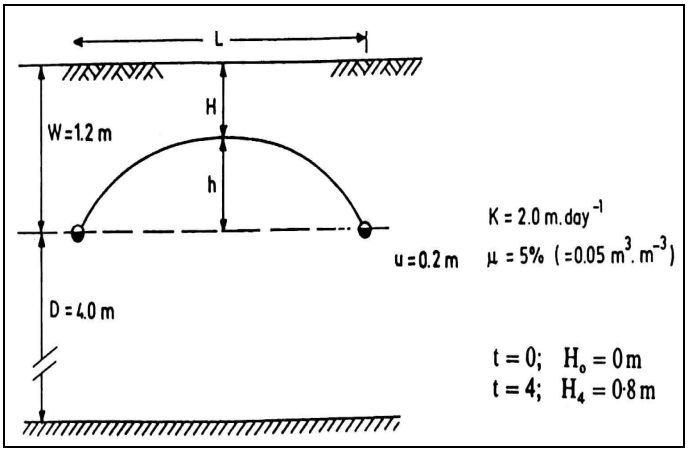
Verilenleri Hooghoudt' un dren aralıklarını belirleme eşitliğinde yerine koyarak (Eşitlik 9.10),

$$L^2 = \frac{8\,K_2 d\,h}{q} + \frac{4K_1 h^2}{q}$$

$$L^2 = \frac{8 \text{ x1xd x } 0.4}{0.007} + \frac{4\text{x}2.0\text{x}0.4^2}{0.007}$$

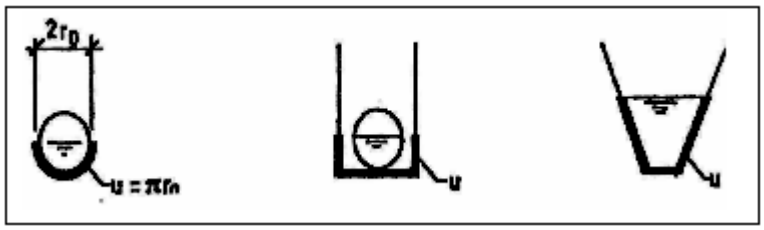
yazılır. Buradan;

L=457d+182.8 bulunur.



Şekil 9.9 Kararlı akış koşullarında Hooghoudt eşitliğinin uygulaması

Eşdeğer derinlik (d), dren aralığı (L), geçirimsiz katın derinliği (D) ve ıslak çevreye (u) bağlı olarak değişmektedir. Onun için d değeri, önceden hazırlanmış olan çizelge veya nomograflardan değişik L ve D değerlerine göre deneme yanılma yöntemi ile belirlenir. Drenaj sistemlerinde yaygın olarak kullanılan boru çaplarına ve bunlara ilişkin eşdeğer ıslak çevre değerlerini göz önüne alarak hazırlanmış olan Çizelge 9.2'den yararlanarak,



Şekil 9.10 Yarı dolu akan drenaj borusu ile açık drenaj kanlında ıslak çevre

Deneme 1: L=40 m, D=3.0 m, u=0.3 m ve Çizelge9 3 ten d=2.15 m alınarak L^2=457x2.15+183 =1165 ve buradan L=34 m bulunur. 34=40 olmadığı için ikinci deneme yapılması gerekir.

Deneme 2: L=34 m, Çizelge 9.3'ten d=2.0 m alınarak, L^2=457d+182.8 =457x2.0+183 =1097 m

L=33 m bulunur. Bu değer önceden varsayılan 34 değerine yaklaşık olarak eşit olduğundan dren aralığı olarak kabul edilir.

Sonuç L=33 m

2-Grafikle çözüm;

İşlem, Van Beers (1965) tarafından Hooghoudt eşitliğinin çözümü ile geliştirilen Şekil 9.6'daki nomograf yardımıyla yapılabilir.

Önce Hooghoudt eşitliğinin birinci ve ikinci terimindeki bilinenler yerine konarak $4K_1h^2/q$ ve $8K_2h/q$ değerleri hesaplanır,

$4h^2/q = 4 \times (0.16)^2 / 0.007 = 91.5$; $K_1=2.0$; $4K_1 h^2/q = 183$

$8h/q = 8 \times 0.4 / 0.007 = 457$

$K_2 = 1.0$; $8K_2 h/q = 457$

Elde edilen bu değerler Şekil 9.8'deki grafiklerden hangisine uygun düşüyorsa onunla aşağıda açıklandığı şekilde çözüm yapılır.

Anılan Şekil 9.8'de iki grafik içeren nomograf bulunmaktadır. Bu nomograflar drenaj sistemlerinin tasarımlanmasında yaygın olarak karşılaşılan koşulları yansıtmaktadır. Soldaki grafikte dren aralığı 5-25 m, sağdakinde ise dren aralığı 10-100 m arası için çözüm yapılabilmektedir (h= 1.0-1.2 m, ve q=1.0-10.0 mm/gün).

Çözüm için (Grafik b'de) sol ölçekte 457 ve sağ ölçekte 183 değerleri bulunarak iki nokta düz bir çizgi ile birleştirilir. Çizilen bu çizginin D=3.0 m çizgisi ile kesiştiği noktadan L=33 m okunur.

Böylece L= 33 m bulunur. Bu değer, özellikleri verilen alana ilişkin dren aralığıdır. Görüldüğü gibi sonuç hesaplanarak elde edilenle aynıdır. Daha küçük dren aralıkları için Grafik A kullanılır. Ancak bazı durumlarda bu nomograflar yetersiz kalabilir. Örneğin 100 m'den daha büyük dren aralıkları için bu grafiklerde çözüm yoktur. Böyle durumlar için hesaplama yapmak gerekir.

1-Doğrudan çözüm;

$h = W - H_O = 1{,}2$ m

$h_4 = W - H_4 = 0.4$

$$\frac{h_4}{h_o} = \frac{0{,}4}{1{,}2} =$$

$$\frac{h_4}{h_o} = \frac{0{,}4}{1{,}2} = 0{,}33 \qquad \alpha t = \text{ -ln= } 0.33/1{,}16 = 1.24$$

T = 4 için, α = 1.24 /4 = 0.31; 1 gün^{-1} bulunur. Drenaj şiddet faktörü α'nın diğer bir hesaplama yöntemi ise Glover-Dum eşitliğinde yerine koyarak

$\alpha = (ln\ 1.16\ (h_0/h_t))/t$

$\alpha = ln\ (1.16 \times 1.2/0.4))/4$

α=0.31 1 gün^{-1} şeklinde belirlenir.

Eşitlik $\alpha = 10\ K\ d / \mu\ L^2$ veya $L^2 = 10\ K\ d / 0.31\ \mu$ (Eşitlik 9.31)

Bu durumda μ = 0.05 ve K = 2.0 için, $L^2 = 1290 \times d$

L= f(d) ve d = f(L) olduğundan, d değeri kararlı akış eşitliklerinde belirlendiği şekilde deneme yanılma yolu ile hesaplanır.

1. Deneme L= 30 m d = 2.20 için çizelgeden $L = (1290 \times 2{,}20)^{1/2} = 53.3$ m

2. Deneme L= 60 m d = 2.84 için çizelgeden L = $(1290 \times 2{,}84)^{1/2}$ =60.5 m

Sonuç: L = 60 m bulunur.

3-Dolaylı çözüm;

Dumm ve Hooghoudt eşitlikleri beraberce kullanılarak çözüm yapılabilir.

Hooghoudt'un eşitliği $L^2 = 8Kdh/q$

Glover – Dumm $L^2 = 10\ K\ d\ /\ \mu\alpha$, iki eşitlik oranlanırsa $q/h = 10/8\ \mu\alpha$ elde edilir.

$\alpha = 0.31$ $\mu = 0.05$ için $h/q = 80{,}65$

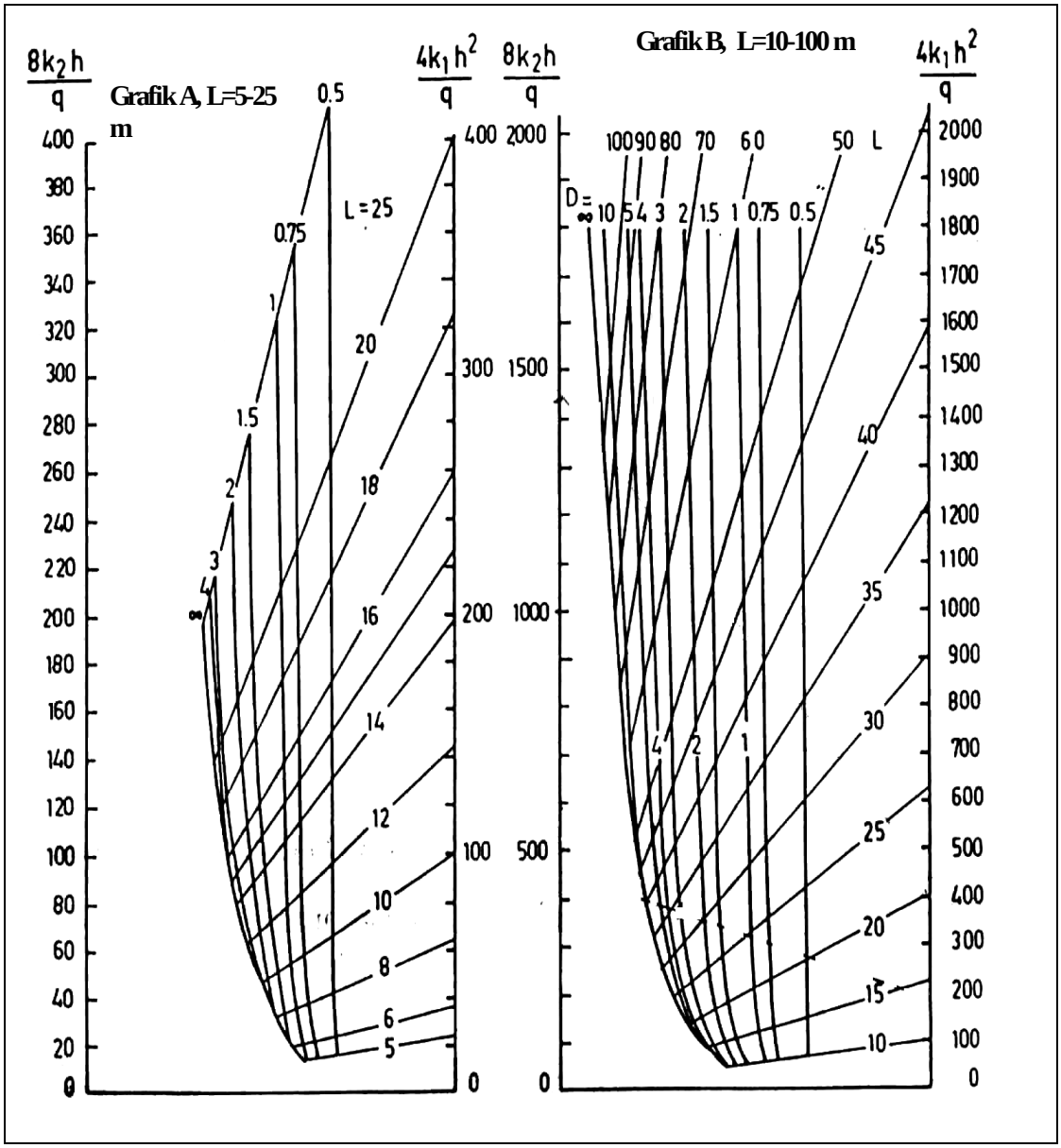
Çizelge 9.2 Yaygın olarak kullanılan dren boruları için eşdeğer (R = 4-10 Cm U ≅ 0,3 m) derinlik "D" değerleri

D (m)	L (m)																		
	5	7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	75	80	85	90	100	150	200	250
0.50	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50												
0.75	0.60	0.65	0.70	0.70	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75								
1.00	0.65	0.75	0.80	0.85	0.90	0.90	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95					
1.25	0.70	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.50		0.90	0.95	1.10	1.20	1.25	1.30	1.15	1.15	1.15	1.15								
1.75		0.90	1.00	1..20	1.30	1.40	1.45	1.30	1.35	1.35	1.35								
2.00			1.10	1..30	1.40	1.50	1.55	1.50	1.50	1.55	1.55								
2.25			1.15	1..35	1.50	1.70	1.70	1.60	1.65	1.70	1.70	1.80	1.80	1.80	1.85	1.85	1.90	1.90	1.95
2.50				1.40	1.55	1.70	1.80	1.85	1.95	2.00	2.00								
2.75				1.40	1.65	1.75	1.90	2.00	2.05	2.10	2.20								
3.00				1.45	1.65	1.85	1.95	2.10	2.15	2.25	2.30	2.50	2.50	2.55	2.55	2.60	2.70	2.80	2.85
3.25				1.50	1.70	1.90	2.05	2.15	2.25	2.35	2.40								
3.50				1.50	1.75	1.95	2.10	2.25	2.35	2.45	2.55								
3.75				1.50	1.80	1.95	2.15	2.30	2.45	2.55	2.65								
4.00					1.80	2.00	2.20	2.35	2.50	2.60	2.70	3.05	3.10	3.10	3.15	3.25	3.45	3.60	3.65
4.50					1.85	2.10	2.30	2.50	2.65	2.75	2.85								
5.00					1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.50	3.55	3.60	3.65	6.80	4.10	4.30	4.45
5.50						2.20	2.45	2.65	2.85	3.00	3.15								
6.00							2.50	2.70	2.90	3.10	3.25								
7.00							2.55	2.80	3.05	3.25	3.45								
8.00								2.85	3.15	3.35	3.55	4.40	4.50	4.60	4.70	4.95	5.70	6.15	6.45
9.00								2.90	3.20	3.45	3.65								
10.00									3.25	3.50	3.75	4.75	4.90	5.05	5.20	5.45	6.45	7.10	7.55
12.50												5.00	5.20	5.40	5.55	5.90	7.20	8.05	8.70
15.00												5.20	5.40	5.60	5.80	6.25	7.75	8.85	9.65
17.50												5.30	5.55	5.75	6.00	6.45	8.20	9.45	10.40
20.00													5.60	5.85	6.10	6.60	8.55	9.95	11.10
25.00													5.75	5.95	6.20	6.80	9.00	10.70	12.10
30.00																	9.25	11.30	12.90
35.00																	9.45	11.60	13.40
40.00																		11.80	13.80
45.00																		12.00	13.80
50.00																		12.10	14.30
60.00																			14.60
~	0.70	0.90	1.15	1.55	1.90	2.25	2.60	2.90	3.25	3.55	3.90	5.40	5.75	6.00	6.25	6.80	9.55	12.20	14.70

Kabaca; d=sabit D>1/4 L için

Hooghoudt'un eşitliği $L^2 = 8\ K\ d\ h\ /\ q$ $k = 2.0$ için $L^2 = 1290 \times d$

ve buradan diğer çözümlerde olduğu gibi deneme yanılma yoluyla, K = 60 m bulunur.



Şekil 9.8 Dren aralığının hesabında kullanılan nomograf (r_o =0.04-0.10 m, u = 0.30 m*)

Çalışma soruları:

1. Bir sulama alanında drenler 1.40 m derinliğe döşenecektir. Geçirimsiz tabaka toprak yüzeyinden 4.40 m derinliktedir. Toprakların hidrolik iletkenlik değerleri 1.5 m/gün dür. Her sulamada 180 mm sulama suyu uygulanmakta ve bu suyun %20'si derine süzülmektedir. Ortalama sulama aralığı 10 gündür. Taban suyunu toprak

yüzeyinden 1.10 m derinlikte tutulacağı ve derine süzülen fazla su iki sulama arasında uzaklaştırılacağı varsayılarak,

a) Dren aralığı hesaplamak üzere sistemin geometrisini çiziniz ve gerekli bilgileri üzerinde gösteriniz

b) Dren aralığını Hooghoudt eşitliğini kullanarak hesaplayınız.

c) Sulama kanallarından sızma 15 mm ay^{-1}, doğal drenaj 45 mm ay^{-1} , çevreden drenaj alanına sızma 1 mm $gün^{-1}$ olması halinde drenaj katsayısını hesaplayınız.

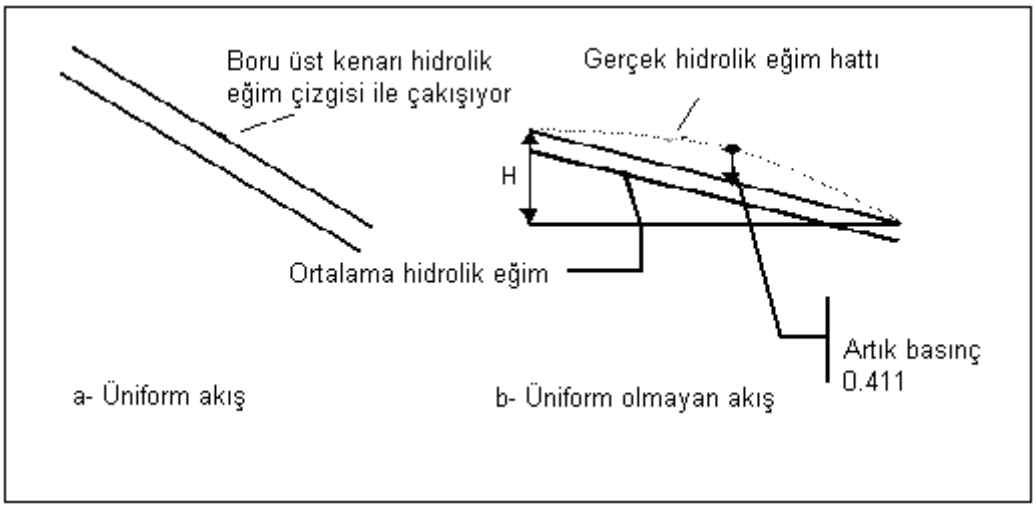
2. Kış aylarında düşen ortalama 120 mm yağışın 5 günde drene edilmesi gerekmektedir. Buharlaşma 3 mm $gün^{-1}$, doğal drenaj ise 1 mm $gün^{-1}$, yüzey akışın olamadığına ve bu süre içinde toprağın 20 mm yağışı depolayacağı belirlendiğine göre; kararlı akış eşitliğindeki Drenaj Katsayısını (q) hesaplayarak birimi ile beraber yazınız

3. Geçirimsiz katın 5 m derinlikte olduğu bir arazide hidrolik iletkenlikler ortalama K_1=1.0, K_2=1.5 m $gün^{-1}$ dür. Emici drenlerin bağlanacağı açık drenaj kanalının su düzeyi sulama döneminde toprak yüzeyinden ortalama 1.70 m'dir. Taban suyu düzeyinin iki dren orta noktasında 1.0 m derinlikte olacağını ve kararlı akış koşullarının olduğunu varsayarak, sistemin geometrisini çizerek dren aralığını hesaplayınız

4.Geçirimsiz katın 3 m derinlikte olduğu bir drenaj alanında emici dren derinliği ortalama 1.5 m' dir. Taban suyu düzeyi iki dren orta noktasında h=0.5 m yükseklikte, hidrolik iletkenlikler K_1=1.0, K_2=1.5 m/gün' drenaj katsayısı q=5 mm/gün ve Kararlı akış koşullarına göre dren aralığını hesaplayınız.

10. DREN BORULARINDA AKIŞ

Yüzey altı borulu drenaj sisteminde akışlar boru başlangıcında sıfır iken, boru boyunca debi artar. Emiciler ve toplayıcılar başlangıçtan sonlara doğru giderek daha fazla su taşırlar. Onun için dren borularında üniform bir akış söz konusu değildir.



Şekil 10.1 Üniform olan ve olmayan akış koşullarında dren borularında akışın şematik gösterimi

Dren aralıkları belirlenirken kuramsal olarak dren borularının yarı dolu aktığı varsayılmakta ve boru çapı saptanırken ıslak çevre buna göre hesaplanmaktadır. Ayrıca dren borusu üzerindeki hidrolik yükün de boru boyunca değişmediği varsayılmaktadır. Halbuki boru içindeki akışlar, Şekil 10.1'de görüldüğü gibi boru başından sonuna doğru artan debi nedeniyle üniform olmayan akış özelliğindedirler. Borunun her noktasında artık basınçlar ortaya çıkar ve gerçek eğim çizgisi ortalama

hidrolik eğim çizgisinin üzerinde oluşur. Böylece, yukarıda açıklanan artık basınçların ortaya çıktığı boru bölümlerinde drenlerin yarı dolu aktığı varsayımı geçersiz olur.

Bu durum çok uzun döşenmiş tekil drenler ile toplayıcı drenlerde birtakım hidrolik sorunlar yaratır. Anılan sorun başlangıçtan sona doğru boru çapları artırılarak giderilir.

10.1 Hidrolik Tasarımlama

Fazla suyun araziden uygun bir sürede uzaklaştırılması için sistemde yer alan boru drenlerin kapasitelerinin uzaklaştırılan debiye göre belirlenmesine hidrolik tasarımlama denir. Boru çaplarının belirlenmesinde kapalı borulara ilişkin akış ilkeleri uygulanır.

Borulu bir drenaj sisteminin hidrolik tasımlamasında (i) belli bir çaptaki dren borusunun belli bir eğimde döşenmesi halinde drene edebileceği alan, (ii) dren borularında akışların üniform olduğu varsayılarak düz-plastik borularda Darcy-Weisbach eşitliği, kıvrımlı borularda ise Chézy-Manning eşitliği kullanılarak belirlenir. Boru çaplarının belirlenmesinde hidrolik eğimin sabit olduğu, tasarım ($Q_{tasarım}$) için belirlenen dren verdilerinin boru boyunca değişmediği ve hidrolik eğim çizgisi ile boru üst kenarının bütün noktalarda çakıştığı varsayılır. Önceki bölümde de açıklandığı gibi, üniform olmayan akış koşullarında artık basınçlar nedeniyle gerçek hidrolik eğim ile boru üst kenarları çakışmaz (Şekil 10.1).

Dren borularında akış, dren verdisi (q), boru çapı (d), hidrolik eğim ve sürtünme katsayısı tarafından denetlenir. Boru çaplarının belirlenmesinde kullanılan eşitlikler düz ve kıvrımlı borularla, akışın üniform olup olmamasına göre farklılıklar gösterir.

10.1.1 Üniform akış

Emici ve toplayıcıların kapalı olarak tasarımlandığı bir drenaj sisteminde, boru çapları ve çap değişimleri standart boru akış eşitlikleri ile belirlenir. Bu eşitlikler düz yüzeyli ve kıvrımlı borularla, akışların üniform olup olmamasına göre değişir.

Üniform akış koşullarında dren borularının debileri hidrolik yasalar çerçevesinde geliştirilmiş eşitliklerle belirlenir. Bu eşitlikler;

-düz plastik borular için;

$$Q=50\ d^{2.71}\ i^{0.57} \qquad (10.1)$$

-kıvrımlı borular için;

$$Q=22\ d^{2.67}\ i^{0.50} \qquad (10.2)$$

şeklindedir.

Eşitliklerde, Q boru boyunca akışı m^3/s; d boru iç çapını m; i hidrolik eğimi göstermektedir.

İnşaat sırasındaki hatalar, siltasyon, kimyasal çökelme ve boruların içine bitki köklerinin girmesi nedeniyle akış kapasitesinin zamanla azalması beklenir. Aşırı sediment nedeniyle oluşabilecek tıkanmaları önlemek için boruların temizlenmesi gerekir. Akış azalmaları belirli bir düzeye kadar kabul edilebilir. Ancak dren işlevlerini yerine getiremeyecek şekilde tıkanmaların önlenmesi gerekir. Bu amaçla, plastik borular ve stabil topraklar için 1.33, kil künkler ve silt sorunu olan topraklar için 2.0 güvenlik faktörü ile çarpılarak elde edilen verdilere göre boru çapı belirlenir.

Güvenlik faktörünün bir başka formu toplayıcı ve emici drenler için farklı tasarım boşalımlarını kullanmaktır. Örneğin; Mısırda toplayıcılar için emicilerden daha yüksek drenaj katsayıları kullanılmaktadır. Toplayıcıların bağlantı noktaları ve manholler sorun çıkaran noktalar olmaktadırlar. Ayrıca toplayıcıların kısmen tıkanmaları bile etki alanlarının büyüklüğü nedeniyle daha geniş alanları etkilemektedirler. Tasarımlamada güvenlik faktörü yerine yüksek drenaj katsayıları kullanmak daha uygun bulunmaktadır. Bu farklı ülkelerde ve farklı drenaj projelerinde kullanılan drenaj katsayılarını karşılaştırılmasını sağlar.

TOPRAKSU standartlarında emicilerde drene edilen alanın %60'ı toplayıcılarda ise %75'i alınması şeklinde güvenlik faktörü uygulanmaktadır.

Örnek 1

Verilenler; pürüzsüz-beton toplayıcı boru hattının eğimi % 0.1 olup, toplayıcının beslendiği alan 20 ha ve tasarımlamada kullanılan q= 5.6 mm/gün'dür.

Siltasyon nedeni ile taşıma kapasitesinin zamanla % 25 azalacağı varsayılarak hat sonundaki boru çapını hesaplayınız.

Çözüm:

Boşalım debisi; $Q = \frac{qxA}{1000x3600x24}$ m^3/s , burada A drene edilen alandır (m^2).

Bu durumda A=200 000 m^2; q=5 mm/gün, böylece Q=0.0116 m^3/s ve ilerde taşıma kapasitesinin % 25 azalacağı varsayıldığından Q_{ts}= 0.75 x 0.0116 = 0.0155 bulunur.

Pürüzsüz borular için verilen $Q=50\ d^{2.71}\ i^{0.57}$ eşitliği kullanılarak

$0.0155 = 50\ d^{2.71}\ i^{0.57}$,

$d = [0.0155 / 50(0.001)^{0.57}]^{1/2.71} = 0.217$ m,

böylece boru iç çapı en yakın üst değer alınarak ID = 22 cm olarak seçilir.

10.1.2. Üniform olmayan akış

Üniform akışlar için verilen standart eşitlikler değişen katsayılarla burada da kullanılır. Anılan eşitlikler;

-düz plastik borular için;

$Q=89\ d^{2.71}\ i^{0.57}$ (10.3)

-kıvrımlı borular için,

$Q=38\ d^{2.67}\ i^{0.50}$ (10.4)

şeklindedir. Burada Q, d ve i yukarıda tanımlandığı gibi dren verdisi, boru çapı ve boru hattı eğimidir. Bir tarla dreninde akışlar, drenin başlangıcında sıfır debiden başlayarak dren borusu sonunda, toplayıcı kanala veya boruya bağlandığı noktada en yüksek değere ulaşır. Aynı şekilde hidrolik eğim çizgisi de dren çıkışında en yüksek değere ulaşır. Tasarımlamada boruların her noktada dolu aktığı ve hidrolik eğim çizgisi ile boru üst kenarının çakıştığı varsayılır. Halbuki Şekil 10.1'de görüldüğü gibi, boru çıkış noktasından başlayarak geriye doğru boru üzerinde hafif bir fazla basınç vardır.

Üniform ve üniform olmayan akışlar için belli eğim ve çaptaki tarla dren borularında akışlara ilişkin eşitlikler karşılaştırıldığında, boru boyunca sabit bir akış taşıyan boruya göre üniform olmayan akış koşulunda %75 daha fazla akış olduğu görülecektir.

Üniform olmayan akışlar için debi, eğim ve boru çapı (Q, i, d) arasındaki ilişkiler Şekil 10.2'deki nomografta verilmiştir. Nomograflar yardımıyla boru boyunca ortalama hidrolik eğime ve kullanılan boru çeşidine göre taşınabilecek en yüksek debi hesaplanabilmektedir.

Örnek 2

Dren aralığı 70 m, boru uzunluğu 200 m olan drenaj sistemi kıvrımlı plastik borulardan oluşmaktadır. Tasarımlama debisi q = 5 mm/gün ve boru hattı eğimi % 0.1 ve siltasyon için güvenlik faktörü % 50 olduğuna göre, boru sonundaki boşalımı ve gerekli boru çapını hesaplayınız.

Çözüm

Q= (qxA)/1000 m^3/gün, A drene edilen alandır.

A=200 x 70 = 14000 m^2; q= 5 mm/gün, ve böylece Q=70 m^3 $gün^{-1}$ veya 0.0008 m^3 s^{-1} bulunur. Güvenlik faktorünü 0.5 alarak Q_{ts}= 2 x 70 =140 m^3 $gün^{-1}$ veya 0.0016 m^3 s^{-1} elde edilir.

Aynı problemin verilen eşitlikle çözümü ile

$d= [(0.0016)/(38x0.001^{0.50})]^{1/2.67}$ = 84 mm bulunur.

Üniform olmayan akış nomografında kıvrımlı borular için Q ve i değerleri girilerek gerekli boru çapı 84 mm olarak okunur. Bu değer en yakın ticari üst çapa yükseltilir.

10.2 Toplayıcı Drenlerde Boru Çaplarının Belirlenmesi

Toplayıcı drenlerin boru çapları onların taşıyacağı suya göre planlanırlar. Aksi taktirde toplayıcının sonuna doğru artan dren verdilerini taşıyamayacaktır. Toplayıcının başlangıcında en az olan dren verdileri toplayıcıya bağlanan emicilerden gelen sularla artar. Onun için başlangıçta daha küçük çaplı boruların,

toplayıcı boyunca artan çaplarla değiştirilmesi, hem ekonomik hem de hidrolik koşullar bakımından gerekli olmaktadır. Eğer en büyük boru çapı kullanılırsa hidrolik bakımdan sorun olmasa bile, ekonomik olarak daha pahalı olacaktır. Diğer taraftan boru çaplarının artmasıyla, boru fiyatlarının artışı arasında ilişki doğrusal olmayıp, fiyat artış oranının çap artış oranından çok fazla olduğu gözden uzak tutulmamalıdır.

Toplayıcıların boşalım kapasitesi ve gerekli boru çapı, daha az sıklıkta oluşan aşırı boşalımlara göre değil, ortalama boşalıma göre belirlenir. Çünkü toplayıcı sistemin tamponlama kapasitesi düşük olup nispeten daha kısa süreli, yüksek boşalım dönemlerinde işlevini yerine getirmelidir. Aksi takdirde tarla drenaj sistemi başarısız olur. Ritzema ve Abdel Dayem (1990) mısır ekili alanlarda zamanın sadece % 10'unu aşan dren boşalımlarını kullanılmasını önermişlerdir.

10.2.1 Toplayıcı kapasitelerinin belirlenmesi

Emicilerin bağlandığı toplayıcıların kapalı olarak planlandığı bir sistemde boru hattı boyunca hidrolik ve ekonomik nedenlerden ötürü başlangıçtan itibaren değişik çaplarda boruların kullanılması gerekir. Toplayıcı boru hattının başında debi en küçükken, mansaba doğru ilerledikçe diğer emicilerin bağlanmasıyla dren verdileri artar. Onun için boru hattı boyunca ilerledikçe daha büyük çapta boruların kullanılması kaçınılmaz olur.

Örnek 3

Dren aralıkları L=60 m, q= 3.0 mm/gün ve ortalama emici uzunluğu 300 m olan ve % 0.1 eğimle kıvrımlı sert plastik boruların toplayıcı boruya tek taraflı olarak bağlandığı 11 adet emiciden oluşan bir toplayıcının boru çap deseninin belirlenmesi;

Toplayıcı kapasitelerinin veya toplayıcı çaplarının belirlenmesi için Şekil 10.2'de verilen kıvrımlı sert plastik borulara ilişkin nomograf kullanılarak değişik çaptaki boruların ne kadar alanı drene edebileceği belirlenir. Anılan yöntemle örnek 3 için boru çapı belirleme işlemi aşağıda belirtildiği yöntemle yapılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 10.1'de verilmiştir.

Çizelge 10.1 Emici drenler için boru çapı belirlenmesi

Emici uzunluğu, m	300
Emici eğimi %	0.05
Drenaj katsayısı, q mm/gün	3.0
Dren aralığı m	60
Gerekli emici sayısı	30
Gerekli emici uzunluğu m	30x200=6000
Her emicinin drenaj alanı, ha	(200x60)/10000=1.2 ha

Tarla içi drenaj sistemlerinde kullanılan sertleştirilmiş kıvrımlı plastik borular 80, 100, 120, 160, 200 mm gibi belirli çaplarda üretilmektedir. Emici dren olarak genellikle 80 ve 100 mm çaplı borular kullanılmakla beraber yaygın olarak 100 mm çaplı borular kullanılır. Dren verdilerinin düşük olduğu kısa mesafelerde 80 mm dren verdilerinin yüksek uzunlukların fazla olduğu durumlarda 120 mm çaplı borular kullanılmaktadır. Ancak toplayıcılarda ise kullanılan boruların çaplarının en az 100 mm olması gerekir. Çizelge 10.2 hazırlanarak anılan boru çapları aşağıdaki açıklandığı gibi belirlenir.

Boru çapları hesaplanmasında, Şekil 10.3'teki nomograf kullanılarak yeterli doğrulukta sonuçlar elde edilebilmektedir. Anılan nomografta, verilen toplayıcı eğimi işaretlenerek (% 0.1), bu noktadan sağa çizilen paralel çizginin belirtilen çapraz boru çapı çizgisini kestiği noktadan, alttaki şekildeki drenaj katsayılarını gösteren nomografta dren aralığını belirlemede kullanılan drenaj katsayısı, bazı yayınlarda özgül boşalım, (3 mm gün^{-1}) çizgisini kesene kadar bir dik çizilir. Bu kesişim noktasından sol tarafa doğru çizilen x-eksenine paralel çizginin drene edilecek alanı gösteren (toplayıcılar için %75 emiciler için %60) dik çizgiyi kestiği nokta, yani o çaptaki borunun drene edebileceği maksimum alan işaretlenir. Örnekte bu alan 100 mm boru çapı için toplayıcılarda yaklaşık 6 ha, emicilerde ise 5 ha'dır. Diğer boru çapları da aynı şekilde belirlenerek çizelgede belirlenen boru çaplarının altına yazılır. Bundan sonraki aşamada, belirlenen çaptaki borunun maksimum uzunluğu hesaplanır.

Bu işlemde emicilerin toplayıcıya tek veya çift taraflı bağlı olmasına göre işlem yapılır. Örnekte 300 m uzunluğundaki emiciler tek taraflı bağlı olduğundan ve 100

mm çaplı toplayıcı; 6 ha= 60 000 m^2 alanı drene edebildiğinden, bu çaptaki toplayıcı uzunluğu L_{top}= 60 000 / 300 = 200 m bulunur. Diğer çaplar için de boru uzunlukları aynı şekilde hesaplanarak 120 mm çaplı boru için 90 000/300=300 m, olarak bulunur. Aynı işlem diğer boru çapları için de yapılarak işlem devam ettirilir.

Bu örnekte görüldüğü gibi, % 0.1 eğimde döşenen 660 m uzunluğunda bir toplayıcı boru hattında 660 x 0.001 = 0.66 m hidrolik yük kaybı olacağı anlamına gelir. Bu durum bütün hat ϕ_{200} mm çaplı borulardan oluşursa doğru olacaktır. Membadan başlayarak boru hattı boyunca küçükten büyüğe doru çap değiştirilmesi nedeniyle 0.66 m yük kaybını aşan ve sisteme zarar verebilecek yük kayıpları oluşabilecektir. Onun için bu yük kayıplarını önleyecek düzenlemelerin yapılması gerekir.

Sistemin hidrolik koşulları belirlenirken potansiyometrik çizginin, önceden belirlenen ortalama hidrolik eğim çizgisini kesmemesine özen gösterilmelidir. Belirtilen hidrolik koşulun sağlanması için, sistemde oluşan potansiyometrik eğrilerin her çap için çizilerek incelenmesi gerekir. Bu inceleme oldukça zaman alıcı bir işlemdir. Cavelaars (1994)'ın görüşüne göre, boru hatları boyunca belirlenen kuramsal uzunluğun %75'i alınarak sistemin hidrolik güvencesi sağlanabilmektedir. Bu durumda, bu kuralı örneğimize uygulayarak yeni boru uzunluklarını aşağıdaki gibi elde ederiz. Diğer taraftan, eğer toplayıcı boyunca iki çap değişimi yapılması gerekiyorsa 0.85, üç çap değişimi halinde 0.75 azaltma faktörü uygulanması önerilmektedir. Buna göre %75 azaltma faktörü uygulanır.

Çizelge 10.2. Toplayıcı boru hatları için boru çaplarının belirlenmesi

Emici uzunluğu, ortalama (m)	300			
Toplayıcı eğimi, (j) %	0.1			
Drenaj katsayısı (özgül boşalım) q, (mm/gün)	3.0			
Kullanılan boruları iç çapları, (mm)	100	120	160	200
Bu çaptaki borunun drene edebileceği alan, (ha)	6	9	18	38
Belirtilen alanı drene edebilen bu çaptaki borunun maksimum uzunluğu, (m) 6 ha x 10 000 m^2 = 60 000 m^2/300 m = 200 m	200	300	600	1266

Plastik boru için	Boru çap deseni mm	Boru uzunlukları (m)				
		Maksimum	75/100 oranında azaltılmış	Çapa göre		Kangal uzunluklarına göre
0-200 m	100	200	150	0-150	150	150
200-300 m	120	300	225	150-225	75	50
300-566 m	160	600	450	225-450	225	250
566-1200 m	200	1266	950	450-900	450	320

Buradan toplayıcının yeni çap deseni aşağıdaki gibi olacaktır. Toplayıcı plastik borular 50 metrelik uzunluklar halinde üretildiğinden, 50 m'nin katları alınarak hesaplama yapılmıştır. Beton borular kullanıldığında yuvarlamalar yapmaya gerek yoktur.

Örnek 4

Bir drenaj alanında emici drenler 120 mm çaplı kıvrımlı plastik borular olup 80 m aralıklı ve % 0.1 eğimle döşenecektir. Drenaj katsayısı 10 mm gün^{-1} ve kuramsal kapasitenin % 60'ı göz önüne alınacağına göre; bu çapta borunun drene edebileceği alanı ve gerekli boru uzunluğunu hesaplayınız.

Çözüm:

Önce dren borusunda oluşan debi bulunur. İlgili eşitlikte yerine konur.

$Q=(A \times q)/86400$ ve $Q=38\ d^{2.67}\ i^{0.50}$

$(A \times 0.01)/86400 = 38\ (0.12)^{2.67}\ (0.001)^{0.5}$

$A=(B \times L)= 36116\ m^2$ ve L= 80 m B: boru uzunluğu, L: dren aralığı, m

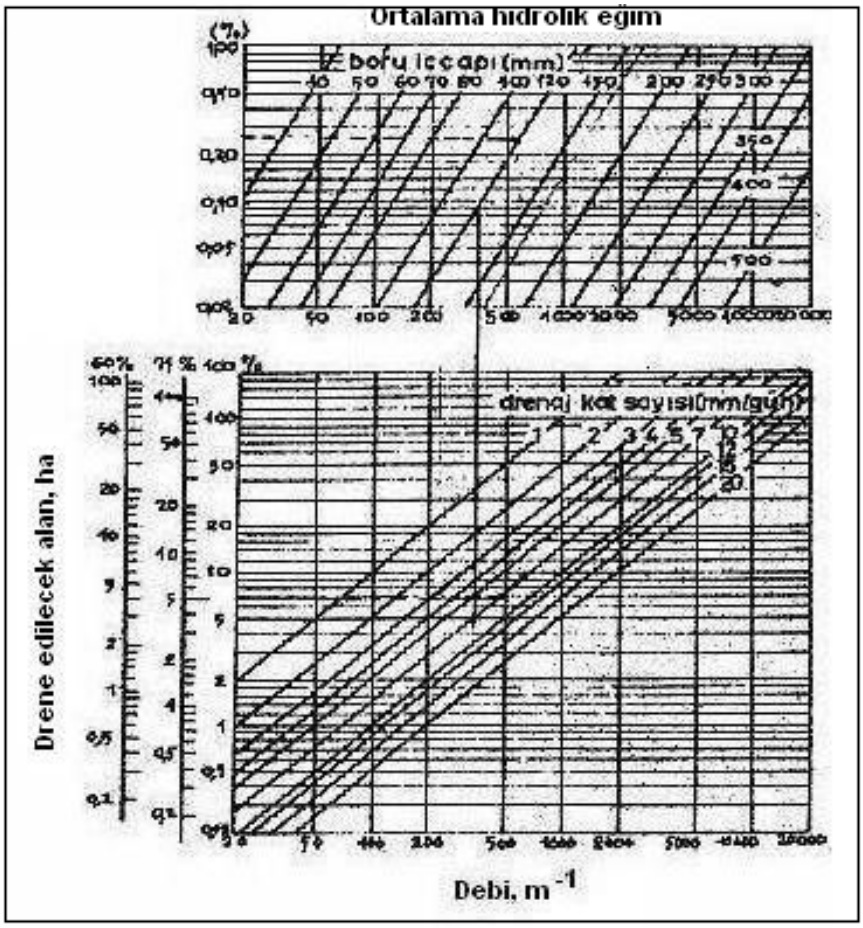
$A=36116\ m^2/80\ m$ B= A/L= 36116 / 80 = 451 m bulunur.

Kuramsal kapasitenin %60'ı alınacağından,

B=451 x 0.60

Verilen çaptaki borunun uzunluğu

B=270 m olarak bulunur.



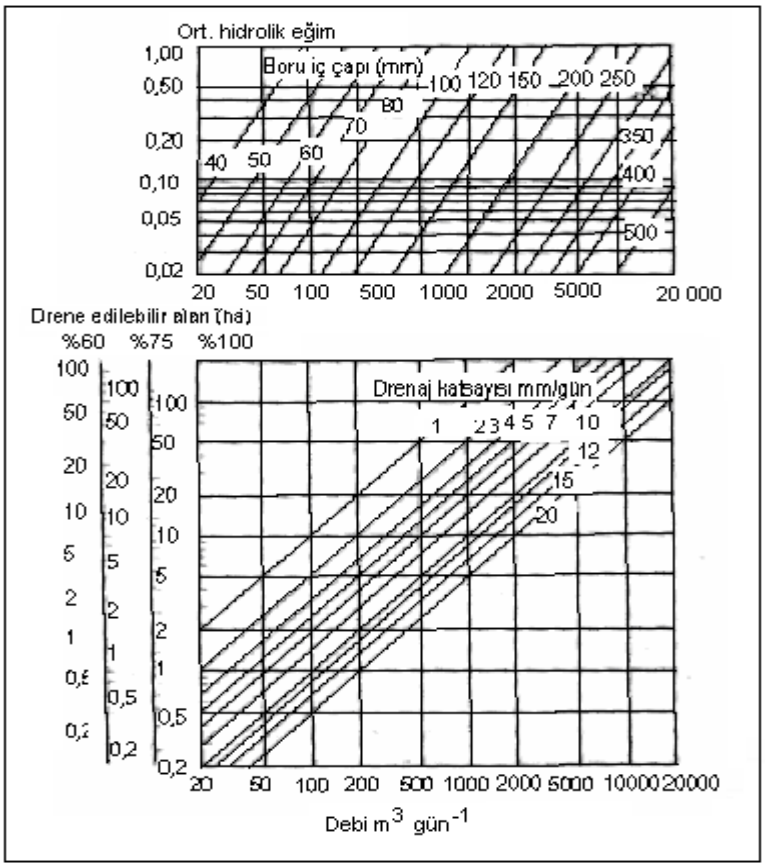
Şekil 10.4. Dolu akan sertleştirilmiş-kıvrımlı plastik borular için dren boru çaplarının belirlenmesine ilişkin nomograflar

10.3 Dren Hatlarının Eğimi

Dren hatlarının eğimi boru çeşidi, çapı ve su akış hızına göre değişir. Arazinin topoğrafik yapısı ve su çıkış ağzı eğimi sınırlayıcı olabilir. Boru içinde akan suyun hızı ince sedimentleri taşıyacak hızda olmalıdır. Eğer kil künk kullanılıyorsa bitişme yerlerinde ve plastik boruların giriş deliklerinde erozyona neden olmayacak bir hız yeterlidir.

Toprak bünyesi kumludan killiye doğru inceldikçe dren hatlarının eğiminin azaltılması gerekir. Boru çapı ve akış hızı arttıkça eğim azaltılabilmektedir.

Almanya için belirlenen standartlara göre, siltli bir toprakta 50 mm çaplı PVC boru için %0.25, ince kumlu bir toprakta ise %0.35 eğim olması önerilmektedir. Bu



Şekil 10.5 Dolu akan düz plastik plastik borular için dren boruçaplarının belirlenmesine ilişkin nomograf.

topraklarda boru çapı 90 mm için sitli toprakta eğim değişmezken, ince kumlu toprakta eğimin % 0.20 düşürülebileceği görülmektedir (Çizelge 10.3)

Çizelge 10.3 Almanya standartlarına göre boru eğimleri

Boru çeşidi	Toprak bünyesi	Boru çapı (mm)	Akış hızı (m/s)	Eğim (%)
Kil künk	İnce kum ve tın	50 90	0.23 0.33	0.45 0.45
	Tınlı silt	50 90	0.19 0.21	0.30 0.20
	Kumlu tın	50 90	0.16 0.21	0.15 0.20
	Kil, killi tın	50 90	0.16 0.19	0.20 0.15
PVC	Silt	50 90	0.17 0.20	0.25 0.25
	İnce kum	50 90	0.23 0.24	0.35 0.20

11. SULANAN ALANLARDA TUZLANMA VE DRENAJ

Sulanan arazilerde drenaj konusu oldukça çelişkili bir konudur. Çünkü, aslında sulanan arazilerde su fazlalığı değil, eksikliği söz konusudur. Drenaj sorunu olan alana başka kaynaklardan sulama suyu getirilmiştir. Bu gibi alanlarda sulama suyunun fazla olması beklenmez. Çünkü sistem, yörede yetiştirilmesi olası bitki deseni belirlenerek, onların gereksinim duyduğu miktarda suya göre tasarımlanmış ve inşa edilmiştir.

Buna rağmen fazla su bulunmasının başlıca nedenleri yıkama gereksinimi ve düşük sulama etkinliği ve sızmalardır.

Sulama suları her zaman bir miktar tuz içerirler. Onun için suyun niteliğine bağlı olarak, her sulamada toprağa bir miktar tuz eklenir. Uygulanan sulama sularının bir bölümü bitkiler tarafından kullanılırken, diğer bir kısmı buharlaşır, fazla su ise derine süzülür. Böylece her sulama sonunda toprağın tuz içeriği, kullanılan sulama suyunun miktarı ve tuz içeriğine bağlı olarak değişir. Eğer bu tuzlar kök bölgesinden uzaklaştırılmazsa, toprakta birikir, zamanla bitkilerin tuza dayanım sınırları aşılır ve verimde azalmalar olur. Onun için bitki su gereksinimine ek olarak bir miktar yıkama suyu verilmesi gerekir. Bu su doğal yollardan uzaklaşmazsa zamanla drenaj sorunu ortaya çıkar.

Sulanan alanlarda drenaj sorununun diğer nedeni zayıf su yönetim nedeniyle ortaya çıkan düşük sulama etkinliğidir. Özellikle yüzey sulama sistemlerinin uygulandığı koşullarda sulama etkinliklerinin %30-40 düzeylerine düştüğüne ilişkin çok sayıda rapor vardır. Dünyadaki sulama sistemlerinin çok büyük bir bölümünün yüzey sulama sistemlerinden oluştuğu göz önüne alınırsa, mevcut su yönetiminin bu sorunu uzunca bir süre önleyemeyeceği açıkça görülmektedir.

Drenaj sorunun diğer bir nedeni ise sızmalardır. Yüzeyden veya yeraltından yüksek kesimlerden alçak kesimlere doğru sürekli bir su hareketi vardır. Sızan sular zamanla alçak kesimlerde birikerek su tablasının yükselmesine ve dolayısıyla drenaj

sorununa neden olur. Sızmanın kaynakları ise yağışlar, kar erimeleri, sulama ve drenaj kanalları ve artezyenik basınçlar olarak sayılabilir.

11.1 Toprak tuzluluğu

Bitki kök bölgesinde tuzların birikerek kısmen veya tamamen ürün kayıplarına neden olması yaygın olarak görülen bir olaydır. Daha çok kurak ve yarı kurak bölgelerde görülen bu olaya yer yer nemli bölgelerde de rastlanabilmektedir. Kıyı bölgelerde ise tuzlar iç kısımlara kadar girerek ve tuzluğun yayılmasına neden olabilmektedir.

Tuzlu yer altı sularının sulamada kullanıldığı yerlerde ise tuzluluk önemli bir sorundur. En ciddi tuzluluk sorunu ile karşı karşıya kalınan bölgeler ise, üretimi artırmak için sulamanın gerekli olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerdir. Sulama hem pahalı ve hem de teknik olarak uygulaması ve yönetimi oldukça yetenek gerektiren bir uygulamadır. Su yönetiminde başarısızlık, suyun boşa akmasına neden olur. Bu durum aşırı sulama olarak bilinir. Bu sular toprak derinliklerine süzülerek taban suyunun beklenenden daha çabuk yükselmesine, kök bölgesinin su altında kalmasına, toprağın tuzlanmasına ve sonuçta toprak verimliliğinin azalması ile giderek işlenebilir arazilerin kaybolmasına neden olur. Belirtilen nedenlerden ötürü araştırmacılar dünyada her dakika on hektar arazinin kaybolduğunu hesaplamaktadırlar.

Sulanan arazilerde tuz birikiminin başlıca iki kaynağı vardır. Bunlardan birincisi sulama suyu, diğeri ise yüksek taban suyudur. Sulamada kullanılan sular, içerdikleri tuzların cins ve miktarına bağlı olarak çok değişik nitelikte olabilirler. Tuzlar, sulama sularında oransal olarak daha düşük, ancak önemli miktarlarda bulunurlar.

Başka bir anlatımla sulama suyu çok iyi kalitede olsa bile, çözünebilir tuzların temel kaynağıdırlar. Bu tuzların esas kaynağı ise kayaların ve toprak zerrelerinin ayrışma ve parçalanma olaylarıdır. Bunlar içerisinde kireç, jips ve diğer yavaş ayrışabilen toprak mineralleri vardır. Bunlardan ayrışan tuzlar, sularla arazilere taşınarak bitki kök bölgesinde birikirler.

Tarım arazilerinde tuz birikiminin diğer bir kaynağı da sulanan arazilerde sık karşılaşılan yüksek taban suyudur. Yüksek taban suyu tablasının oluşumu arazinin doğal hidrolojik özelliklerinden veya sulama suyu kayıplarından kaynaklanır. Kılcal yükselme ile bitki kök bölgesine, hatta toprak yüzeyine ulaşan taban suyu buharlaşma sonucunda bünyesindeki tuzları toprak profilinde bırakır. Tabansuyu çok tuzlu değilse veya toprak yüzeyine ancak kısa bir süre yakın olursa, bu durumda, tuz birikimi kültür bitkilerinin gelişmesine engel olacak bir niceliğe erişmez. Ancak uzun süre toprak yüzeyine yakın bir konumda kalırsa, toprakta tuz birikimi devam eder. Sonuçta toprak tuzluluğu kültür bitkilerinin gelişmesini engelleyecek yoğunluklara erişebilir. Toprak tuzlanması aşağıda sayılan şekillerde oluşur.

11.1.1 Yüksek tuz girişi nedeniyle tuzlanma

-Sıcak ve kuru iklim; sıcak ve kuru iklim koşullarında buharlaşma ve bitkilerin su gereksinmeleri daha fazladır. Bu bölgelerde optimum ürün elde etmek için daha sulama suyu gerektiğinden toprağa daha fazla tuz girişi olacaktır.

-Tuzlu su; sulama suyunun tuzluluğu arttıkça her sulamada toprağa daha fazla tuz eklenmiş olacaktır. Bu durumda toprakların tuzlanması daha hızlı ve daha fazla olacaktır.

11.1.2 Tuz yıkanmasının zayıf olduğu koşullarda tuzlanma

(i) Sıcak ve kuru iklim; düşük yağış, yüksek buharlaşma ve bitki su tüketimi (ET) nedeniyle ya çok az yağış derine süzülmekte ya da bazen derine süzülme hiç olmamaktadır. Dolayısıyla bu koşullarda tuz yığışımı hızlı ve fazla olmaktadır.

(ii) Minimum sulama; değişik nedenlerle yapılan eksik sulamalarda yıkama suyu verilmediğinden toprak tuzluluğu artar. Özellikle çiftçilerin uyguladıkları yağmurlama sulamalarında aşırı enerji gereksinimi nedeniyle eksik ya da, en az su uygulaması kök bölgesinde tuzluluğu artırmaktadır.

(iii) Zayıf drenaj; yetersiz derine süzülme de tuzluluğun başat duruma gelmesindeki önemli etkenlerdendir. Arazi yüzeyinde veya yüzeye yakın kısımlarda, suyun uzun süre kalması ve buharlaşma nedeniyle kaybolması toprak tuzlanmasını hızlandırmaktadır.

11.2 Sulama Nedeniyle Tuzlanma

Kök bölgesindeki tuzluluğun denetimi, genel olarak uygun bir sulama ve yıkama ile sağlanır. Tuzluluğun kararlı bir düzeyde tutulması için her sulamada yıkama gereklidir. Sulama ve drenaj suyunun derişimi ve hacmi esas olarak evapotranspirasyon ile değişir. Uygulamada gerçekleşen bir seri işlemden sonra, sular ortamda tuz bırakarak uzaklaşırlar. Sulama suyu olarak akarsular kullanıldığında, bunlar esas olarak yağış kaynaklı olduğu için tuz içerikleri genellikle düşüktür. Ancak akış debilerinin azaldığı yaz aylarında, suların tuz içeriklerinde artışlar olmaktadır. Ancak bazı akarsuların tuzluluğu oldukça kritik düzeylerde olabilmektedir. Örneğin Kızılırmak Nehrinin tuzluluğu 1.2 dS m^{-1} dolaylarındadır.

Yeraltı suları ise özellikle kurak bölgelerde genellikle daha fazla tuz içerirler. Onun için sulama suyu olarak yeraltı sularının kullanılması halinde topraklara daha fazla tuz yüklemesi olabilmektedir. Bu durum Şekil 11.1'de gösterilmiştir.

11.2.1 Sulanan arazilerde tuz dengesi

Bitki kök bölgesindeki tuz dengesi Şekil 11.1'de gösterilen bileşenler göz önüne alınarak aşağıdaki gibi yazılabilir. Sulanan arazilerde bitki kök bölgesindeki tuz dengesi için,

$$IC_i+RC_r+ GC_g= PC_p+\Delta S \qquad (11.1)$$

eşitliği yazılabilir.

Eşitlikte, I, kök bölgesine giren sulama suyunu; R, kök bölgesine giren yağışı; P, kök bölgesinden derine sızan suyu; C, suyun tuz derişimini; G, yer altı suyundan kök bölgesine kapillar akışı; ΔS kök bölgesindeki toprak suyunun tuz içeriğindeki değişmeyi göstermektedir. I, R, G, P mm/dönem C ise mg l^{-1}'dir.

Doğru birim mg l^{-1}'dir ancak, mg/l ile dS m^{-1} arasında çözünebilir tuzlar için doğrusal bir ilişki vardır. Belli bir dönem için tuz çökelmeleri önemsenmeyecek kadar azdır. Onun için eşitlik uzun dönemler için kullanılmalıdır. Sulanan alanlarda tuz dengesi eşitliğinde tuzların çökelmesi ve bitkilerin aldıkların tuzların önemsiz olduğu varsayılır. Ayrıca;

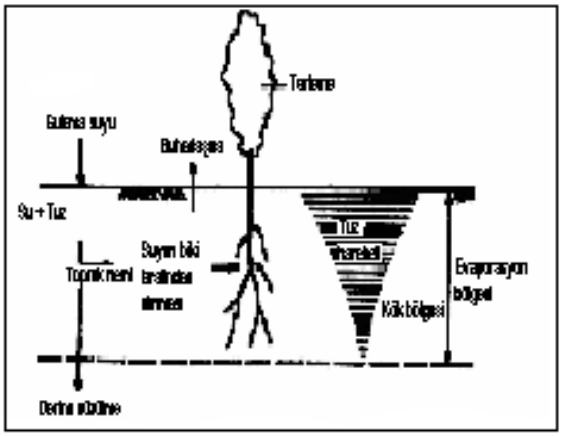
(i) Yağış suyunun tuzsuz olduğu $C_r=0$,

(ii) Uzun dönemde Cg=Cp ve

(iii) Dönemin başlangıcında ve sonunda ΔS= 0 olduğu varsayımına dayanarak,

$I \times Ci=(P-G)\ Cp= LR \times Cp$ (11.2)

$I \times EC_i = (P-G)\ EC_p = LR \times EC_p$



Şekil 11.1 Taban suyu olmadığı koşullarda sulamadan ileri gelen tuzluluk (Smedema ve Rycroft 1983)

Eşitlikte LR yıkama gereksinimi olup, sulama suyunun yeterli ve derine sızmanın kılcal yükselmeden fazla olduğu koşullarda su ile gelen tuzların kök bölgesi altına yıkanmasını sağlar. Bu durumda,

$LR=(ECi/ECp) \times I$ (11.3)

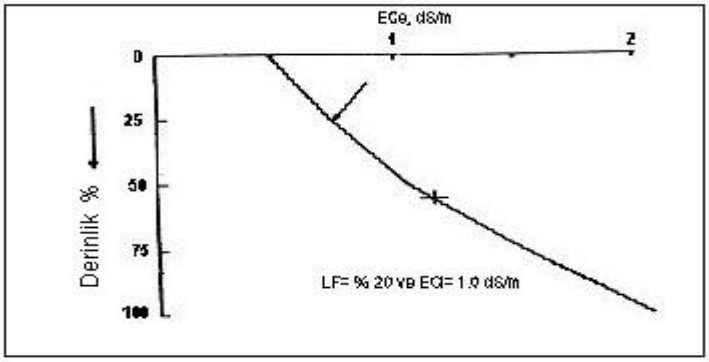
Böylece sulama suyunun infiltre olarak derine süzülmesiyle, kök bölgesindeki tuzluluğu dengede tutan kısmı LR, I'nın bir bölümü olarak yazılır. Bu oransal faktör EC_i/EC_p olarak ifade edilirse yıkama oranı, ECi/ECp x % 100 şeklinde yazılırsa yıkama yüzdesi olarak adlandırılır.

Denge durumunda su dengesi eşitliği ;

I=(E-R)+(P-G) olarak yazılır. Burada, E-R farkı yağış yetersizliğini dolayısıyla net su gereksinimini, (P-G) ise yıkama gereksinimini gösterir. Böylece,

$I = I_c+LR,$ (11.4)

$LR = EC_İ / (EC_P – EC_i)\ \ (I_c)$ (11.5



Şekil 11.2 Yıkama suyu verilen topraklarda bitki kök bölgesindeki tuz profili

Eşitliklerde, LR, yıkama gereksinimini; EC_i, sulama suyu tuzluluğunu, dSm^{-1}; EC_P, toprakta izin verilebilir tuz konsantrasyonunu, dSm^{-1}; I_c, net sulama suyunu, mm; I, toplam sulama suyunu, mm göstermektedir.

11.2.2 Yıkama gereksinimi hesaplamaları

Derine sızan suyun tuzluluğu EC_p değeri bitki kök bölgesinde tolere edilebilen tuzluluk değerleri olup kök bölgesi altından ve drenaj suyundan örnekler alınarak deneysel olarak belirlenebilir. Yıkama işlemi uygulanan topraklarda tuzluluk derinlikle artar. Bu durum Şekil 11.2'de gösterilmiştir. Anılan şekilde görüldüğü gibi tuzluluğu EC=1.0 dSm^{-1}; olan sulama suyu ile %20 yıkama oranı ile yapılan sulamalar sonunda toprak üst tuzluluğu EC_e= 0.5 dSm^{-1} olurken, 100 cm derinlikte 2.0 dS m^{-1},ye çıkmıştır.

Planlamada yaygın olarak kök bölgesi altında % 25-% 50 ürün azalmasına neden olacak tuzluluk düzeyi kabul edilebilir bulunmaktadır. Anılan değer, yörede yetiştirilen bitkilerin tuza dayanımlarına ilişkin çizelgelerden alınarak belirlenir. Yukarıda belirtilen tuzluluk değeri, tüm kök bölgesi için ortalama olarak alındığında % 0-10 verim azalmasına neden olacak tuz düzeyine denk gelmektedir.

Derine süzülme ve yıkama toprak nem içeriğine göre değişir. Yıkanma toprak nem içeriği tarla kapasitesinde iken en yüksek olup bu durum sulamadan sonra 1-2

gün devam eder. Daha sonra tuz yıkanması giderek azalır. Etkili bir yıkama olabilmesi için yıkamalar sırasında toprağın ortalama nem içeriği tarla kapasitesine yakın olmalıdır. Genellikle toprakların tarla kapasitesindeki tuzluluğu ile doygun toprağın tuzluluğu arasında yaklaşık $EC_{TK} = 2EC_e$ ilişkisinin olduğu varsayılır.

Derine süzülen suların tamamı tuz yıkanmasında etkili olmaz. En etkili yıkama toprak kütlesinin içinden süzülerek geçen sularla olur. Topraktaki yarık, çatlak ve büyük gözeneklerden geçen suların yıkama etkisi düşük veya hiç yoktur. Derine sızan suların yıkama etkileri topraklara göre değiştiğinden, bu "yıkama etkinlik faktörü" (f) olarak tanımlanmaktadır. Derine süzülen suların belli bir oranı (f) yıkamada etkili olur. Geriye kalan (1-f) sular ise yarık ve çatlaklardan derine süzülür. Buradan $EC_p=fxEC_{TK}+(1-f)EC_i$ elde edilir. Ancak burada verilen f değerlerini belirlemek veya kestirmek çok güç olduğundan bunun sadece kuramsal bir eşitlik olarak kaldığı bildirilmektedir.

Yukarıda değinilen konulara bağlı olarak yıkama gereksinimi eşitliğindeki EC_p değeri için ;

-ECp=2ECe %25 alınır. Bu durumda bitkiler çok duyarlı veya düşük yıkama etkinliği beklenir ve yüksek tuz denetimi arzu edilir.

-EC_p=2ECe %50 alınır. Bu durumda bitkiler tuza dayanıklıdır veya yüksek yıkama etkinliği beklenir ve daha düşük düzeyde tuz denetimi arzu edilmektedir.

Örnek:

ECi=1.0 dS m^{-1}

ECp=10 dS/m, (2xEC_e %50 bitki gelişim için)

Ic=7 mm $gün^{-1}$

$LR = EC_i/(EC_P – EC_i)$ $(I_c) = (1.0/(10.0-1.0)) \times 7.0 = 0.77$ mm/gün

$I=Ic+LR=7.0+0.77 = 7.77$ mm $gün^{-1}$

Yıkama yüzdesi =(Eci/ECp) x 100 = (LR / I) x 100)

= 0.77 / 7.77) x100

= %10

Böylece kök bölgesinde tuz dengesinin sürdürülebilmesi için sulama suyunun en az %10'nun infiltre olarak derine süzülmesi gerekir. Yüzey sulama yöntemleri ile

yapılan sulamalarda, derine süzülme kayıpları, bu orandan daha yüksek olduğundan, yıkama için yeterli olacaktır.

Yıkama gereksinimi bitki kök bölgesindeki toprak tuzluluğunu bitkilere zarar vermeyecek düzeyde tutmak için gerekli olan suyun bir bölümüdür.

11.2.3 Az çözülebilir tuzların toprak tuz dengesi üzerine etkisi

Toprak çözeltisinde bazı tuzların derişim artınca çökelirler. Klor, magnezyum, sodyum sülfat ve sodyum bikarbonatın çözünürlüğü yüksek olup, 20^0c sıcaklıkta çözünebilirlikleri 100 meq l^{-1}'yi aşar. Jips ve kalsiyum karbonatın doygun derişimleri asla bitkiler için tolere edilemeyen sınırlara ulaşmaz ve bunlar az çözünebilir tuzlar olarak tanımlanırlar.

Toprak içinde oluşan kompleks çözeltiler tuzların çözünebilirliğini etkiler. Farklı iyonlarla karışmış tuzlarda düşük olan çözünebilirlikler artabilir. Toprak havasının karbondioksit basıncıyla ve farklı iyon derişimlerine karşı kalsiyum karbonatın (kireç) çözünebilirliği Çizelge 11.1'de gösterilmiştir. Ortalama toprak koşulları için kalsiyum karbonatın çözünebilirliği 5-10 meq l^{-1} arasında değişmekte olup, bu toprak suyunun EC değerine yaklaşık olarak 0.8 dS m^{-1} katkıda bulunur.

Çizelge 11.1 Farklı iyonların toplam konsantrasyonlarına ve karbondioksit basıncına bağlı olarak kirecin ($CaCO_3$) çözünebilirliği (meq l^{-1})

Farklı iyonların toplam derişimi,(meq l^{-1})	P-CO_2 (Pa)				
	50	100	500	1000	5000
10	1.5	1.9	3.3	4.1	7.0
100	2.0	2.6	4.4	5.5	9.2

Diğer tuzların bulunmasına bağlı olarak jipsin çözülebilirliği Çizelge 11.2'de gösterilmektedir. Bir kural olarak, bir tuz çözeltisinde ortak aynı iyonların bulunması bu tuzların çözülebilirliğinin düşmesine neden olur. Örneğin Na_2SO_4 yada $CaCl_2$'nin bulunmasında jipsin çözülebilirliği azalır. Farklı iyonların bulunduğu durumlarda jipsin çözülebilirliği artmaktadır (NaCl çözeltisinde).

Çizelge 11.2 Saf su ve farklı çözeltiler içinde jips ($CaSO_4 2H_2O$) çözünebilirliği (meq/l)

Saf su	170 meq l^{-1}NaCl	1700 meq l^{-1} NaCl	140 meq $l^{-1}Na_2SO_4$	180 meq l^{-1} $CaCl_2$
30	49	98	22	17

Ortalamanın altındaki koşullarda jipsin çözünebilirliği 30 meq l^{-1} olarak ifade edilebilir. Eğer toprakta jips mevcutsa ayrıca kalsiyum karbonatta mevcuttur. EC değeri 3.3 dS m^{-1} olduğu durumlarda, derişimleri yaklaşık olarak 40 meq l^{-1} ye eşit olmaktadır. Alkali koşullarda az çözünebilir tuzların biri ya da ikisi de mevcutsa bunların katkısı değişmez ve kalsiyum karbonat için 0.8 dS m^{-1} EC değerinde ve kalsiyum karbonat ve jips için yaklaşık olarak 3.3 dS m^{-1} EC değeri olduğu durumlarda, doygun derişimleri birbirine eşittir. Bu nedenle tuz dengesi ve depolama denklemlerinde düzeltme yapmanın en basit yolu yüksek ve az çözülebilir tuzların ayrı ayrı dikkate alınmasıdır. Eğer toprakta kalsiyum karbonat varsa;

$$EC_e = EC_{e(CaCO3)} + EC_{e\ (yüksek\ çözülebilir\ tuzlar)} = 0.8 + 0.5\ EC_{tk(ç.y.t.)} \qquad (11.6)$$

Benzer olarak eğer toprakta jips ve kasiyum karbonat varsa denklem şu şekle dönüşür.

$$EC_e = EC_{e(CaCO3)+CaSO4,\ 2H2O} + EC_{e(ç.y.t.)} = 3.3 + 0.5\ EC_{tk(ç.y.t.)} \qquad (11.7)$$

Bu denklemler not edilmelidir. Çünkü az çözülebilir tuzların çözülebilirliği çok daha değişkendir. Bu denklemler pratik kullanım için yakın tahminler verirler (van Hoorn ve van Alphen, 1994).

11.2.4 Tuz dengesi ve yıkama oranlarının belirlenmesi

Yıkama oranları ile derine süzülme oranları arasında yapılan karşılaştırma da, ECe değerlerinin ölçüt olarak 2 dolayında alınması düşük ve orta tuzlu su değerlerinde derine süzülme oranı yıkama ihtiyacını aşar. Yüksek tuzluluk değerlerinde yıkama ihtiyacını karşılamak için yıkama oranının 0.20-0.25 arasında

olması gerekir. Fakat çoğu topraklarda bundan daha yüksek kayıplar aşırı su zararına neden olacağından bundan kaçınılmalıdır. Drene edilmesi gerekli su miktarı, yıkama ihtiyacına göre değil beklenen derine süzülmeye göre belirlenmelidir.

Tuz denetimi normal olarak taban suyu düzeyinin yeterli derinlikte tutulması koşuluyla derine süzülen suların drene edilmesiyle sağlanır

Yukarıda verilen eşitlik yağışsız dönemdeki tuz dengesi hesaplamalarında kullanılır. Yağışlı dönemde düşen yağışın da yıkama etkisinin gözönüne alınması gerekir.

Örnek:

Yıllık bitki su tüketimi ET: 1450 mm

Yıllık toplam yağış R: 750 mm

Yıllık yağışın derine süzülen kısmı LR_r:150 mm

Yer altı suyundan kılcal yükselme G: 0 mm

Sulama suyu tuzluluğu EC_i: 2.0 dS m^{-1}

%25 verim azalması yaratan toprak tuzluluğu EC_e: 4.0 dS m^{-1}

Derine sızan suyun tuzluluğu $EC_p= 2EC_e$-%25 EC_p: 8.0 dS m^{-1}

Sulama suyunu derine süzülen kısmı EC_i: ?

Hesaplama

Bitkiler tarafında kullanılan net yağış ($R_c=R-LR_r$) Rc= 750-150=600 mm

Net bitki sulama suyu gereksinimi ($I_c=ET-R_c$) Ic= 1450-600=850 mm

Sulama ile giren tuz,

$I \times EC_i = (I_c \times LR_i) \times EC_i = (850+LR_i) \times 2.0$ $1700+2.0LR_i$ birim

Derine süzülme ile çıkan tuz,

$LRxEC_p=(LRi+LRr) \times ECp = (LR_i+150) \times 8.0$ $8LR_i+1200$ birim

Giren tuz =Çıkan tuz,

$1700+2.0LR_i = 8LR_i+1200$ ve buradan LR_i= 83.3 mm

Toplam sulama suyu gereksinimi, $I=I_c+LR_i$ I= 850+83.3=933.3 mm

Yıkama yüzdesi L =83.3/ 933.3 x 100= % 8.9

bulunur.

Eğer hiç yağış olmasa;

I x EC_i=LR_i x EC_p (850+LR_i) x 2.0 =8.0 x LR_i LR_i= 283 mm

I=I_c+LR_i= 850+283 =1133 mm ve yıkama oranı %L= 283/1133= %25 bulunur.

11.3 Bölgesel Tuz Dengesi

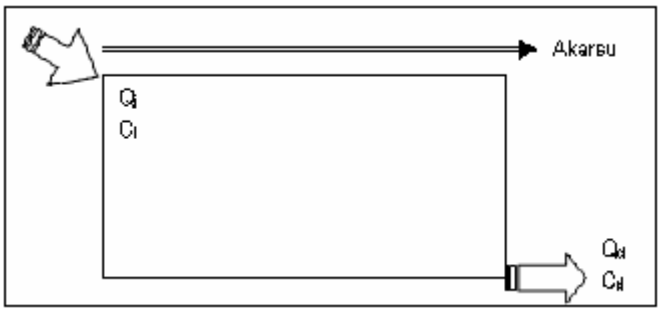
Tuz girişi ve çıkışındaki değişim (giren su x tuz derişimi x zaman) eşitliği ile hesaplanabilir. Tuz girişi ve onun derişimi yılın farklı dönemlerinde değişir. Bu bakımdan tuz girişinin bir örnek olduğu veya değişmediği dönemlerde ayrı ayrı hesaplanarak yıllık toplam hesaplanmalıdır.

Tuz dengesi;

Bölgeye giren tuz-Bölgeden çıkan tuz= Depolamadaki değişim

Eşitliği ile hesaplanabilir.

Bir bölgede özellikle yer altı suları kullanıldığında su akışının miktarını kestirmek veya belirlemek oldukça zordur. Ancak yüzey suları ile bir bölgeye giren ve drenaj çıkış noktasından çıkan su ölçülerek tuz dengesi hesaplanabilir.



Şekil 11.3 Sulanan bir alanda tuz denges

$\Sigma_i Q_i x C_i - \Sigma Q_d x C_d = \Delta S$ (11.8)

Eşitlikte, Q akış debisini, C derişimi, S depolamayı göstermektedir. Birimler akış için m^3s^{-1} ve mm $gün^{-1}$, göstermektedir.

Belli bir dönem sonunda toprakta oluşması beklenen tuzluluk aşağıdaki

$$S_T = S_o + C_iV_i - C_dV_d \qquad (11.9)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

Eşitlikte, S_T toprağın T zamanındaki; S_o başlangıçtaki tuz içeriğini; C derişimi; V hacmi; i sulama; d drenaj suyunu göstermektedir.

Bir bölgede uzun dönemde tuz değişiminin durumu birikim olup olmadığı yukarıda açıklandığı şekilde denetlenebilir.

Eğer toprak profilinde suyun geçişini engelleyen bir kat veya yüksek su tablası yoksa fazla tuzlar derine süzülme ile yıkanacak ve böylece toprakta tuz birikimi sulama suyu tuzluluğuna yakın olacaktır. Kış yağışlarının da yıkama etkisiyle toprakta bir tuz dengesi oluşacaktır.

11.4 Yeraltı Suyundan Tuzlanma

Toprak tuzlanmasının en yaygın nedeni yer altı suyunun buharlaşmasıdır. Eğer taban suyu düzeyi buharlaşma bölgesi içinde ise buharlaşma doğrudan yer altı suyundan olacaktır. Dolayısıyla taban suyu daha derinlere düşecektir. Bu durumda su tablası üzerinde oluşan kılcal yükselme ile buharlaşma bölgesine giren sular buharlaşacak uzaklaşacaktır.

Buharlaşma bölgesindeki sular arkalarında tuz bırakırlar. Onun için tuzlu yer altı sularının olduğu bölgelerde kılcal yükselmenin buharlaşma bölgesine ulaşamayacağı derinlikte tutulması gereklidir.

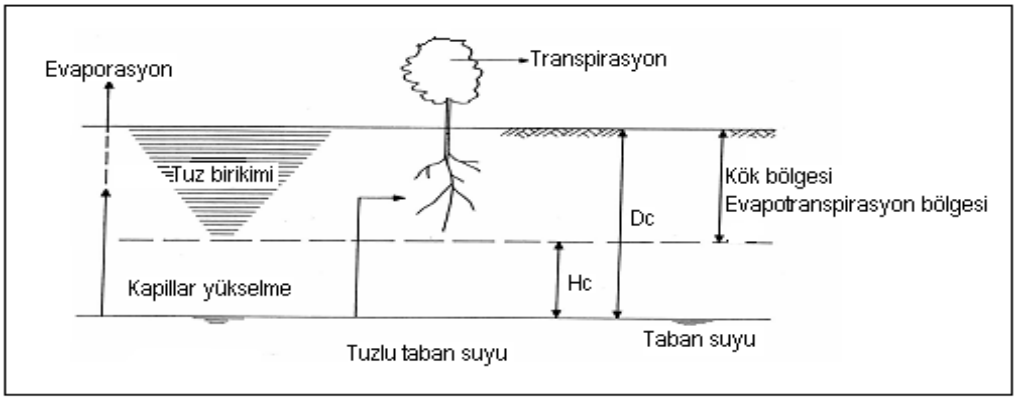
Sulama öncesi yer altı suyu beslenmesi zayıftır. Sulamaya açılan alanlarda derine sızma ile birlikte zamanla yer altı su düzeyi yükselir. Kılcal yükselme ile suyun yukarı akışı çok büyük boyutlara ulaşabilir. Ancak taban suyu düzeyi ile toprak yüzeyi arasındaki mesafe arttıkça anılan bu akış azalır. Toprağın üst kısımlarına doğru tuz hareketi kılcal yükselmeye bağlı olduğundan, taban suyu düzeyi bitki kök bölgesine tuzlu suyun girmesini önleyecek derinlikte olmalıdır. İşte

taban suyu düzeyi ile bitki kök bölgesi arasındaki bu yükseklik "kritik kılcal yükseklik" (H_c) olarak adlandırılmaktadır (Şekil 11.4) (Smedema ve Rycroft, 1983).

Kritik dren derinliği belirlenmesinde, H_c değerinin iki etkene bağlı olarak değiştiği göz önüne alınır. Bunlar;

a) Toprak tipi; ince bünyeli topraklarda genellikle daha fazla kılcal yükselme olduğundan H_c değerleri daha büyüktür.

b) Yer altı suyu tuz derişimi; tuzların yukarı doğru akışı veya yükselme hızı "akış miktarı x tuz derişimi" ilişkisine bağlı olduğundan taban suyu tuzluluğu arttıkça H_c değerleri artırılmalıdır. Genellikle EC<1.5 dS m^{-1} veya tuz derişimi <1 000 mg l^{-1} olduğu sürece kılcal yükselme nedeniyle tuzlanma çok küçük düzeylerde kalmaktadır.



Şekil 11.4 Taban suyundan tuzlanma

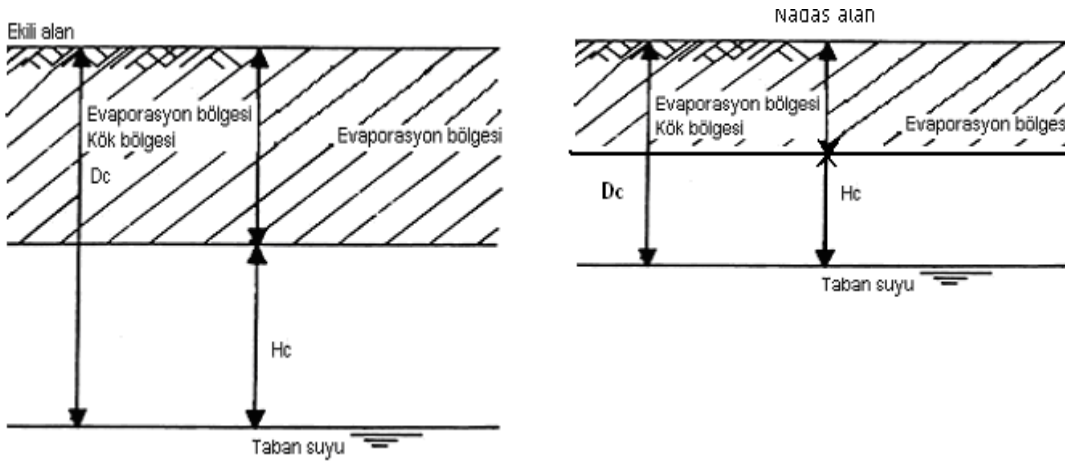
Yeraltı suyunun içe ve dışa akışının önemsiz olduğu durumlarda kritik su tablası derinliği (D_c) kurak dönemin sonuna doğru taban suyu düzeyinin düştüğü derinlik olarak kabul edilir.

Çıplak topraklarda buharlaşma bölgesi 15-20 cm kalınlığındadır. Bitki ekili alanlarda bu derinlik bitki kök bölgesi derinliğine göre değişir. Şekil 11.5'te görüldüğü gibi ekili alanlardaki tuzlanma tehlikesi, farklı D_c değerlerinde çıplak alanlardan daha fazladır. Ancak yine de bu, genel bir durum değildir. Kurak iklim koşullarında bitkiler ya sulanarak veya yağışlı dönemlerde yetişirler. Her iki durumda da yağışın veya sulama suyunun derine süzülmesiyle yıkama etkisi görülür.

Çoğu nadas alanlarda ise, kuru dönemde kılcal yükselme nedeniyle tuzlanma olduğu görülür.

11.5 Sulama Uygulamaları ve Sulama Suyu Tuzluluğu

Sulama suyunun kullanımı iklim, bölge ve bitkilere göre büyük oranda değişiklik gösterir. Aşırı drenaj suyun hızlı bir şekilde kök bölgesinden uzaklaşmasıdır. Bu durum tarla içi sulama etkinliğinin azalmasına neden olabilir. Derin ve sık drenler aşırı drenaja neden olabilir. Bundan kaçınmak ve sulama etkinliğini arttırmak için dünyanın birçok bölgesinde çok yoğun çalışmalar yapılmaktadır.



Şekil 11.5 Bitkili ve bitkisiz koşullarda kritik su tablası derinliğinin değişimi

Sulanan alanlarda kullanılan yüzey sularının tuzluluğu genellikle düşüktür. Ancak bazı bölgelerde drenaj sularının ve yeraltı sularının tuzluluğu daha yüksektir. Onun için toprak tuzlanmasının nedeni genellikle yüzey suları ile yapılan sulama değil, yüksek taban suyudur.

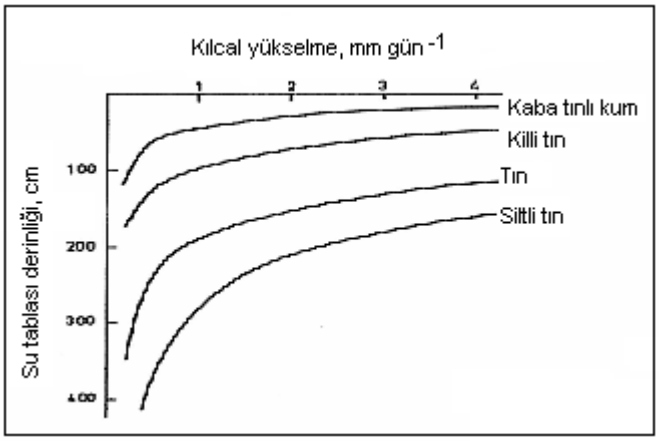
11.6 Drenaj Yönetimi

Eğer drenaj sistemlerinde gerekli yapılar yoksa herhangi bir yönetim işlevi söz konusu değildir. Yükselen taban suyu belirli sürede drenlerle uzaklaşır. Özellikle su tüketiminin yüksek olduğu dönemlerde drenaj suları sulamada kullanılır. Sulanan birçok alanda, drenaj sularının yeniden sulamada kullanılmasının, hem drenaj suyunun hacmini azalttığını ve hem de sulama etkinliğini arttırdığını göstermiştir. Bu yüzden drenaj sistemlerinin yönetilebilir şekilde tasarımlanıp inşa edilmesi gerekir.

11.7 Kılcal Yükselmeyle Tuzlanmayı Etkileyen Faktörler

11.7.1 Buharlaşma

Yüksek buharlaşma ve düşük nem içeriği yüksek emme gücü yaratır. Bu durum topraktaki düşük nem içeriğinin sınırlayıcı etkisine rağmen toprakların üst tabakalarına doğru nem akışına neden olur. Sonuçta kısa süreli yüksek düzeyde nem azalmasının arkasından buharlaşma bölgesinin kuruluğu, alt toprak katlarındaki nem kaybını azaltır. Buharlaşma bölgesi giderek daha kuru bir hale gelir. Bu koruyucu kata malç katı denir.



Şekil 11.6 Toprak yüzeyindeki nem basıncının 16 bar olması durumunda farklı taban suyu derinliklerinden toprak yüzeyine olan kılcal yükseliş miktarı (Ritzema, 1969)

Buharlaşma az olduğunda, malç katlarındaki zayıf gelişme nedeniyle topraktan buharlaşma kayıpları oldukça düşük de olsa uzun bir dönem toprağın alt katlarından su akışı devam eder. Bu durum, tuzlanmanın yüksek düzeyde buharlaşma olan

bölgelerde, orta düzeyde buharlaşma olan bölgelerden daha az tehlikeli olmasının nedenini açıklar (Smedema ve Rycroft, 1983).

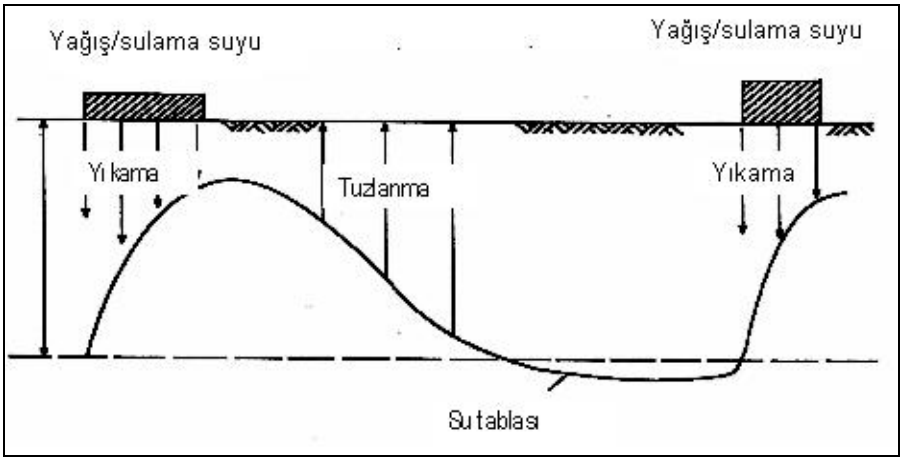
Değişik toprak bünyelerinde ve değişik taban suyu düzeylerinde oluşan kılcal akış Şekil 11.6'da gösterilmiştir. Anılan şekilde görüldüğü gibi 100 cm taban suyu derinliğinde kaba kumlu tınlı bir toprakta yaklaşık 0.2-0.3 mm gün^{-1} su akışı olurken, killi tınlı bir toprakta akış hızı yaklaşık 1.0 mm gün^{-1} olmaktadır. Başka bir anlatımla ortalama günde 1.0 mm kılcal akış toprak bünyelerine göre kaba kumlu bir toprakta 50, killi-tınlı toprak 100, tınlı toprakta 200 ve siltli- tınlı bir toprakta 300 cm derinlikten oluşmaktadır.

11.7.2 Bitki örtüsünün etkisi

Çıplak topraklarda buharlaşma bölgesi çok sığdır. Bitki örtüsü olması durumunda su kayıpları daha derinlerden olmaktadır. Bu derinlik esas olarak bitkilerin etkili kök bölgesidir. Bitkiler kökleriyle gerek duydukları suyu topraktan alırken tuzları alamazlar, onun için geride daha tuzlu bir su kalır.

11.7.3 Taban suyu beslenmesinin etkisi

Yağışlarla, aşırı sulamalarla veya sızma ile oluşan yeraltı suyu kılcal yükselmeyle yukarı doğru akarken su tablası giderek düşer. Bu olay devam edince taban suyu düzeyi kılcal tuzlanmanın gerçekten durduğu kritik derinliğin (H_c) altına kadar düşecektir. Tuzlanmanın sürekli olması için yukarı akışları karşılayacak düzeyde bir beslenmenin olması ve yüksek bir su tablası düzeyinin olması gereklidir. Eğer böyle bir tabansuyu akış varsa buharlaşma devam eder ve toprak tuzlanması artar.

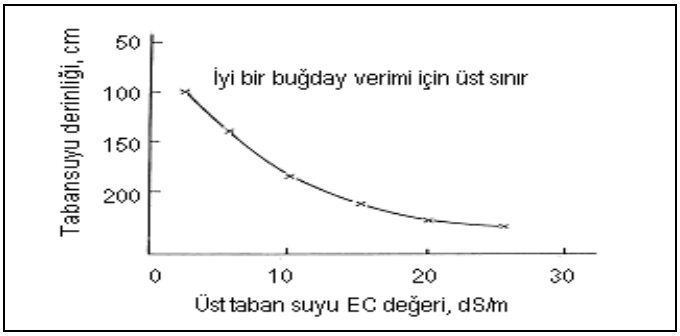


Şekil 11.7 Aşağı İndus Ovasında iyi bir buğday verimi için kritik taban suyu derinliği ile taban suyu tuz derişimi arasındaki ilişki

11.7.4 Taban suyunun derine sızma ile beslenmesi

Derine sızma hem taban suyunu besler ve hem de aynı zamanda profilden tuz yıkanmasını sağlar. Derine sızma aralıklı olarak yağışlardan ve sulamalardan sonra olur. Yağışlardan sonra ve bu olaylar arasında derine sızma durur. Su tablası da bu olaylar arasında aynı düzeyde kalmayıp beslenmeye bağlı olarak alçalır veya yükselir

Bu duruma taban suyu tablasının zaman içinde dalgalanması denmetedir. Taban suyu düzeyi kritik derinliğin üstünde ise tuzlanma olur (Şekil 11.7). Şekil 11.8'de ise taban suyu derinliği ile taban suyu tuz derişimi ve buğday verimi arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.



Şekil 11.8. Yağış ve sulamaların taban suyu dalgalanması ve tuzlanma üzerine etkisi

Anılan şekilde görüldüğü gibi, yer altı suyu tuz derişimi arttıkça iyi bir buğday verimi için su tablası derinliğinin de artırılması gerekmektedir.

11.7.5 Sızma ile beslenme

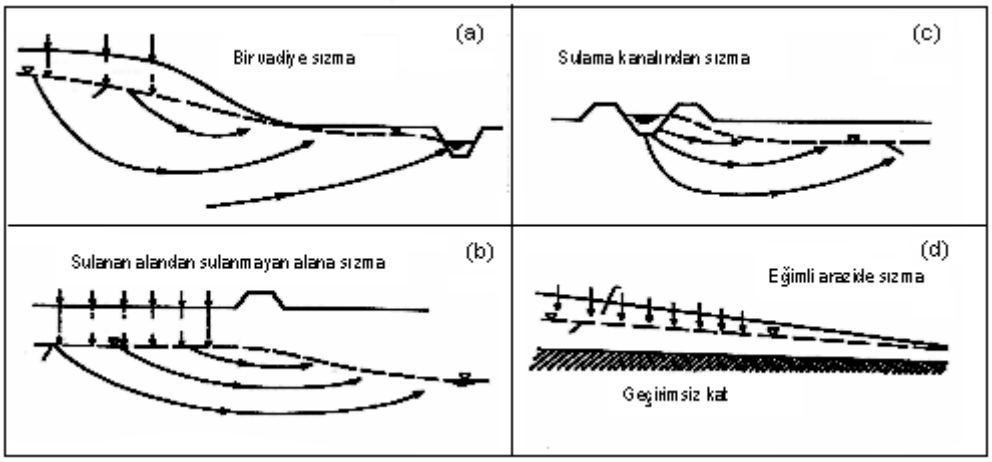
Sızma, çevre alanlardan yer altı suyuna su akışını gösterir. Sızan sular oldukça uzak bölgelerden gelebilirler. Alt kısımlarında uzanan kaya tabakaları ve etrafı dağlarla çevrili alçak düzlükler sızma alanları olmaktadırlar.

Bu alanlar,

-yüksek su tablasına sahiptirler.

-su tablası yüksek olduğundan sürekli olarak yukarı doğru su ve tuz akışı vardır.

-sızma ile giren sular geçtiği bölgedeki kaya ve topraklardaki tuzları bünyelerine aldıkları için genellikle tuzludurlar.



11.9

Şekil 11. 9 Sızmaya ilişkin bazı tipik örnekler (Van der Molen, 1973).

Sızmaya ilişkin bazı tipik durumlar Şekil 11.9'da görülmektedir. Anılan şekilde yamaçlardan bir vadiye, sulanan alanlardan sulanmayan alanlara ve eğimli arazilerde sızma ile beslenme şematik olarak görülmektedir.

Bir vadiye sızma doğal olarak sık rastlanan bir durumdur. Özellikle kış yağışları ve kar erimeleri sonunda infiltre olan sular geçirimsiz katlara ulaştığında birikerek yeraltı suların oluştururlar. Bu sular vadini veya ovanın düşük kısımlarına sızarak su tablasını yükseltirler. Çıkış ağzı sorunu yaşayan dağlarla çevrili düzlüklerin en alçak kesimlerinde yüksek taban suyu sorununa, bu tür sızmalar nedeniyle oldukça sık rastlanır (Şekil 11.9a).

Sulama kanallarının kaplamasız oluşu büyük su kayıplarına neden olmaktadır. Hatta beton kanallarda bile sızmalar olmaktadır. Ayrıca kanalların kullanılması sırasında veya beton kanallardan tarla başına kadar taşıma sırasındaki kayıplar önemli düzeyde su kayıplarına neden olmaktadır (Şekil 11.9b).

Sulanan alanlarda yükselen su tablası sulanmayan alanlardaki düşük su tablasına doğru hareket eder (Şekil 11.9c). Bu bölgelerdeki sızmanın miktarı iki alan arasındaki hidrolik eğime bağlı olarak değişir.

Eğimli arazilerde, sulama ve yağışlar derine süzülerek taban suyunu besler. Yükselen taban suyu eğim yönünde hareket edeceğinden ovaların alçak kesimlerinde yüksek su tablası sorunu yaşanır (Şekil 11.9d).

11.8 Sodyumlulaşma (Alkalileşme)

Bitkilerin normal büyüme ve gelişmelerini önleyecek kadar sodyum içeren topraklara sodyumlu topraklar denilmektedir. Bu topraklar uygun olmayan drenaj koşullarına sahiptirler. Sodyumlu topraklar ıslandığında genellikle balçıklaşır, geçirgenliği azalır ve geç tava gelirler. Islak olduklarında yağlı bir görünüşte olup, plastik ve yapışkan olmalarına karşılık kurudukları zaman çok sert bir durum alarak; çatlaklar, büyük kesekler ve kalın kabuklar oluştururlar.

Sodyumlu topraklar genellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde bulunurlar. Küçük, şekilsiz alanlarda ortaya çıkarlar. Bu topraklarda baskın katyon sodyum, anyon ise klor, sülfat ve bikarbonattır. Toprağın pH değerine bağlı olarak az veya orta düzeyde karbonat iyonu da içerebilirler. Bu durumda olan toprakların pH değerleri mutlaka 9'dan yüksektir.

Sodyumlu topraklar değişebilir sodyum miktarının artması sonucu oluşurlar. Çevredeki sodyum kaynaklarının zenginliği, tuzlu topraklardan tuzların yıkanması, kılcal yükselme, buharlaşma ve değişik nedenlerle toprak suyunun tuz derişimi artar. Sodyumlulaşma sürecinde topraktaki CO_3 ve HCO_3 özellikle önem taşır. Bu anyonların Ca tuzlarının çözünürlüğü düşük, Na tuzlarının çözünürlüğü ise oldukça yüksektir. Toprak suyu yoğunlaşınca toprak çözeltisinde egemen olan Ca ve Mg tuzlarının çözünme sınırları aşılır ve bu tuzlar çökelirler. Toprak çözeltisinde Na'un oransal miktarı artarken, Ca ve Mg'un ise azalır. Topraktaki değişebilir katyonlar

arasında sodyum egemen duruma geçer. Toprak çözeltisi içinde oransal olarak artan Na, toprak kolloidlerine bağlı bulunan kalsiyum ve magnezyumla yer değiştirir. Böylece alkalizasyon/sodyumlulaşma olayı gelişmeye başlar. Zamanla toprak kompleksleri Na tarafından doyurulmuş hale gelir. Bu tür sodyumlu topraklar düşük tuz derişimine sahiptirler.

Sodyumluluk, tuzlu sodyumlu toprakların yıkanması sırasında da ortaya çıkabilir. Çözünebilir tuz derişimi azalınca toprak kompleksleri Na tarafından hızla doyurulur. Sodyumlu topraklar, ürün veren bir çok bitkinin büyümesine zarar verecek kadar değişebilir sodyum içerirler, fakat fazla tuz içermezler. Bu tip toprakların çamur süzüğünün elektriksel iletkenlik (EC_e) değeri 25^oC de 4 dS m^{-1}'den azdır. Sodyumla doyma derecesi yüzde 15'ten fazladır. Bu toprakların pH değerleri genellikle 8.5-10.0 arasında değişir. Fazla tuzların bulunmayışı, değişebilir sodyumun hidrolize olmasına ve sonuçta, kısmen sodyum hidroksit ve bunun da karbondioksit ile tepkimeye girmesiyle sodyum bikarbonat ve sodyum karbonat oluşumuna neden olur. Böyle durumlarda toprakların pH değerleri 10.5'in üstüne çıkar.

Sodyumun artmasıyla kil parçacıkları dağılarak toprağın alt tabakalarına doğru taşınır ve orada birikirler. Bu yüzden sodyumlu topraklarda üst toprağın kaba bünye ve gevrek yapıda olmasına karşılık, bunun altında killerin birikmesi sonucu toprakta sütünvari veya prizmatik bir yapı gösteren geçirimsiz bir tabaka oluşur (Kelley, 1951). Bu topraklar çok düşük geçirgenliğe sahip olup geç tava gelirler.

12. SULANAN ARAZİLERİN DRENAJI

Sulama suyunun kullanımı iklim, bölge ve bitkilere göre büyük oranda değişiklik gösterir. Aşırı drenaj suyundan kaçınmak ve sulama etkinliğini arttırmak için dünyanın birçok bölgesinde çok yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Sulanan alanlarda kullanılan yüzey sularının tuzluluğu genellikle düşüktür. Drenaj sularının ve yeraltı sularının tuzluluğu ise genellikle daha yüksektir. Onun için toprak tuzlanmasının nedeni genellikle yüzey suları ile yapılan sulama değil, yüksek taban suyudur.

Kurak ve yarı kurak bölgelerde sulamanın yaygınlaşmasına paralel olarak drenaj sorunları giderek artar. Sulama suyu ile toprağa hem su hem de tuz eklenir. Eklenen tuz bitki kök bölgesinde zamanla birikerek bitkisel üretimde azalmalara neden olur. Tuz birikimini önlemek için, bitki su gereksinimine ek olarak, tuzları kök bölgesi altına taşıyacak bir yıkama suyuna gerek duyulur. Yıkama suyu bitki kök bölgesinde daha derinlere süzülürken, zamanla geçirimsiz bir kat üzerinde birikerek taban suyunu oluşturur. Taban suyunun oluşup yükselme hızı beslenmesine bağlıdır. Sulanan alanlarda taban suyunu besleyen kaynaklar tarla sulama randımanlarının düşüklüğü ve kanal sızmaları ile bazı bölgelerde sağanak yağışlar olabilir.

Kanal sızmaları toprak kanallarda büyük boyutlara ulaşabilir. Ülkemizde ve dünyada yapılan çalışmalarda söz konusu sızmaların oldukça büyük boyutlarda olduğu görülmüştür. Sızmanın büyüklüğü aslında toprak yapısı ile de yakından ilişkilidir.

Tarla sulama etkinliklerinin düşük olması ise taban suyunu besleyen temel nedenlerin başında gelir. Sulama sisteminin özellikleri, tarlaların sulamaya uygun bir şekilde hazırlanmaması, kullanılan alet-ekipmanlar ve çiftçilerin aşırı su kullanma eğilimleri ile sulama konusunda eğitimsiz olmaları yanında, su ücretlerinin bitki-alan

temelinde belirlenmesi gibi birçok etken aşırı su kullanımının nedenleri arasında sayılabilir.

Özet olarak kurak ve yarı kurak bölgelerde drenaj sorununun ana nedeninin sulama suyu olduğu söylenebilir. Yukarıda belirtilen nedenlerle derine sızan sular, zamanla arazinin çukur kısımlarında birikerek, bitki kök bölgesine kadar yükselir ve ürün azalmaları ile toprakların tuzlanmalarına neden olurlar. Ürün kayıpları sorunun niteliği ve niceliğine göre %100'lere ulaşabilir.

Ürün kayıpların başlamasıyla ilk zamanlar ekim nöbetine tuza dayanıklı bitkiler sokularak ürün azalmaları belli bir düzeye kadar önlense bile, köklü önlemler alınmadığı takdirde söz konusu alanlar zamanla tamamen verimsiz, çorak alanlara dönüşürler.

Günümüzde sulanan alanların drenaj gereksinimleri ile ilgili olarak kimse kuşku taşımamaktadır. Sulanan alanların drenajı sürdürülebilir tarım açısından olmazsa olmaz koşuludur. Diğer taraftan drenaj sadece tuzluluğun önlenmesi amacına yönelik olarak değil, aynı zamanda geçmiş dönemlerde değişik nedenlerle tuz etkisinde kalmış toprakların iyileştirilmesinin ve tarıma kazandırılmasının da ön koşuludur. Hiçbir toprak iyileştirme ve geliştirme çalışmasının etkili bir drenaj sistemi olmadan başarıya ulaşması söz konusu değildir.

Sulanan alanların drenajının önemi, onların sulama ile beraber planlamasını da beraberinde getirir. Ancak sulama sistemleri inşa edilirken, değişik nedenlerle drenaj sistemlerinin ele alınmadığına da rastlanmaktadır. Drenaj, ancak sorunun dayatması ile akla gelmektedir.

Başlangıçta çiftçiler, drenaj sistemi toprağa verdikleri suları hızlı bir şekilde topraktan uzaklaştırdığı için sulanan alanlarda bu sistemlere karşı çıkarlar. Bu nedenle sistemleri etkisiz hale getirmeye çalıştıkları görülür. Aslında, doğrusu, aşırı drenaj kurak bölgelerde sulama gereksinimlerinin artmasına neden olur. Böyle bir durumda kanal kapasitelerinin artırılması gerekebilir. Bu ise ek masraf anlamına gelir. Onun için kurak bölge drenajında, fazla su uzaklaştırılırken bitkilerin su stresi çekmeyeceği bir sistemin planlanmasına özen gösterilmesi gerekir.

Sulanan alanların drenajında fazla suyun kaynağı sulama sularıdır. Bazı durumlarda alana giren suların %50'sinden fazlasının kaybolduğuna rastlanır. Bu suyun, genel olarak, yarısı yüzey drenaj, diğer yarısı ise yüzeyaltı drenaj sistemleri

ile uzaklaşır. Sulanan alanlarda normal olarak pik dönemde giren su miktarı 1.0-1.5 L s^{-1} ha^{-1} (8-13 mm/gün), drenajla uzaklaştırılan su miktarı ise 0.25-0.40 L s^{-1} ha^{-1} (2.0-3.0 mm $gün^{-1}$) kadardır. Bu değerler sulama etkinliğine bağlı olarak bir miktar artar veya azalabilir.

Kurak bölgelerde yağışlar şiddetli fırtınalar şeklinde olup, yarattıkları yüzey drenaj gereksinmeleri sulama kayıplarından çok daha fazladır. Bu nedenle çoğu kez yüzey drenaj sistemleri tasarımlamasında yalnızca yağışlar ölçüt olarak alınır. Ancak böyle bir durumda bu tip yağış olaylarının ne sıklıkla gerçekleştiği, ortaya çıkardığı hasarın belirlenmesi gerekir. Tipik kurak ve yarı kurak bölgelerde sulanan alanların çoğunda yüzeyaltı drenaj sistemleri kurmanın amacı toprakta tuz denetimi sağlamak veya uygun su ve tuz dengesi oluşturmaktır.

12.1 Drenaj Uygulamaları ve Tasarımlama Ölçütleri

Drenaj su tablasını denetleyerek tarımsal alanlarda tuzlanmayı ve suya boğulmayı önler. Özellikle entansif tarımda bu çok önemlidir. Çok tuzlu taban suyu meyve bahçeleri için uygun değildir. Drenaj sistemlerini tasarımlama ölçütü olarak çok yıllık bitkilerde Avustralya'da sulama ve yağışlardan sonra su tablasının sulamadan 7 gün sonra 1 metre derinliğe düşürülmesi hedeflenir (Christen ve Ayars, 2004). Bu çok sığ su tablasının denetimi için geliştirilen bir ölçüttür. Böyle bir tasarımlama sonunda inşa edilen sistemlerde yılda 50-200 mm dren akışı olmaktadır.

Drenaj tasarımlama ölçütleri basınçlı sulama sistemleri ve artan sulama etkinliklerine göre yeniden gözden geçirilmelidir. Günümüzde geliştirilen sulama standartlarını ve yönetimini temel alarak oluşturulan tasarımlama ölçütleri suya boğulma ve düşük sistem maliyeti ile daha düşük dren boşalımından daha çok, tuz denetimini hedeflemelidir.

İyi yönetilen damla sulama sistemlerinde, belki doğal drenaj, yeterli drenajı sağlayabilir. Ancak, yine de, yağışlı kış dönemleri için bazı drenaj önlemleri yararlı olabilir. Ancak bu, yöredeki bitkilerin duyarlılığına ve ekonomik kayıplara bağlıdır.

Sulanan alanlarda bitkileri su stresine sokmadan, drenaj suyunu minimize eden, ama aynı zamanda toprakların tuzlanmasına neden olmayan ve özel bitkileri koruyan yüzey altı drenaj sistemlerinin tasarımlanmasına özen gösterilmelidir.

12.2 Drenaj Yönetimi

Eğer drenaj sistemlerinde gerekli denetim yapıları yoksa herhangi bir yönetim işlevi söz konusu değildir. Yükselen taban suyu, sistemin kapasitesine bağlı olarak belirli bir sürede drenlerle uzaklaşır. Özellikle su tüketiminin yüksek olduğu dönemlerde drenaj suları sulamada kullanılır. Sulanan birçok alanda drenaj sularının yeniden sulamada kullanılmasının hem drenaj suyu hacmini azalttığını ve hem de sulama etkinliğini arttırdığını göstermiştir. Bu yüzden drenaj sistemlerinin yönetilebilir şekilde tasarımlanıp inşa edilmesi gerekir.

12.2.1 En iyi yönetim uygulamaları

Yüzey altı drenaj sistemleri düşük sulama etkinliklerinin ortaya çıkardığı sorunları çözen bir iyileştirme yöntemi olarak görülmemelidir. Ayrıca toprak profilindeki madensel tuzları harekete geçiren ve bunları büyük miktarda sulama suyu ile beraber ırmaklara taşıyan bir sistem olarak ta görülmemelidir. Yeni sistemler su tablasını bitkilerin kullanacağı bir potansiyel kaynak olarak görüp, suyu bitkilerin kullanımı için profilde tutacak şekilde tasarımlanmalıdır. Dren boşalımlarını denetlenemediği horizontal YAD sistemleri sığ taban suyunu bitkilerin kullanımına fırsat vermeden profilden çabukça uzaklaştırarak sulama ve yağıştan sonra bitki kök bölgesinin hızla kurumasına ve sulamanın daha az etkili bir hale gelmesine neden olmaktadırlar.

Bunu önlemek için yeni drenaj sistemlerinin tasarım ve yönetiminde bazı değişimlerin yapılması gerekir. Drenaj sistemleri bitki kök bölgesi altından olabildiğince az tuzu harekete geçirecek şekilde tasarımlanmalıdır. Bu bitki kök bölgesinin mümkün oldukça küçük olması anlamına gelir. Aynı zamanda denetim yapıları ve geri besleme mekanizmaları göz önüne alınmalıdır. Drenaj tasarım ölçütleri son yıllarda arazi kullanımı ve su yönetimi değişimleri ışığında yeniden değerlendirilmelidir.

12.3 Drenaj Suyunun Tuzluluğu

Drenaj suyunun gerçek tuzluluğu profilde drenlerin altında veya üstünde depolanan tuz yüküne, dren derinliğine, dren aralığına, aküferin tuzluluğuna, yer altı su akışına ve su tablasını besleyen sulama yönetimine bağlıdır. Birçok drenaj sisteminde drenaj suyu başlangıçta tuzludur. Zamanla kararlı bir şekilde tuzluluk azalır. Bu drenaj suyunun bir daha kullanılmadan atıldığının gösterir. Eğer drenaj suyu sulamada yeniden kullanılırsa o zaman drenaj suyu tuzluluğu zamanla artar. Bu durum yer altı suyunun sulamada kullanıldığı düşey drenajda da olabilir. Drenaj miktarı azaltılabilir, ancak tamamen durdurulması olanaksızdır.

Su akış yollarının potansiyel derinliği sadece dren derinliğinden etkilenmez, aynı zamanda büyük oranda dren aralığından da etkilenir. Daha geniş dren aralığı daha derin su yolu yaratır. Teorik olarak bir yüzey altı akış drenaj sisteminde en derin su akış çizgisi drenin altında dren aralığının 1/4'üne, dolayısıyla 40 m aralıklı bir sistemde su akış yolu 10 m derinliğe ulaşabilir.

12.4 Drenaj Suyunun Kalitesi

Düşey drenaj suları oldukça karışıktır. Yatay drenaj sularına göre borulu veya kil künk drenler genellikle 3 m'den daha derin olmayıp, drenaj suları ile sulama suları birbirine karışır. Düşey kuyulu sistemler genellikle 6-10 m derinliktedir ve drenaj suyunun tuzluluğu yer altı suyunun tuzluluğuna bağlıdır.

Aküferin tuzluluğu zamanla değişebilir. Drenaj suyunun tuzluluğu da bazı durumlarda aküferin suyu, taze su ile yer değiştirir ve kalitesi iyi olabilir. Ancak bazı durumlarda yıkama suyu tuzlu olabilir ve aküferin su kalitesi bozulabilir. Daha tuzlu sular aküfere girebilir. Yeraltı suyunun sulamada kullanılması aküferin tuzluluğunu etkilemez.

12.5 Drenajın Etkinliği ve Denetimli Drenaj Sistemleri

Drenajın etkinliği derine süzülmenin dren akışlarına oranı olarak tanımlanabilir. Tüm dren akışlarının daha büyük bölümünü çevreden gelen sular oluşturduğunda düşük drenaj etkinliğinden söz edilir. Düşük drenaj etkinliğine sahip sistemlerde boşalan suyun tuzluluğu bazı elementlerin konsantrasyonları derine

süzülen suyunkinden daha yüksektir (Grismer, 1989). Bu yüzden drenaj sistemlerinin planlanmasında çevrenin hidrojeolojik ve jeolojik koşullarının göz önüne alınması önemlidir.

Kurak bölgelerde su tüketiminin pik düzeylere çıktığı dönemlerde aşırı drenaj su yetersizliğine neden olabilir. Bu gibi durumlarda denetimli drenaj sistemleri önerilmektedir. Kruse ve ark. (1985), mısırın tuzlu yer altı suyundan (6 dS m^{-1}), derinliği 0.6 m olduğunda su ihtiyacının %55'ini karşıladığını, taban suyu derinliğinin artmasının verimi azalmasına etkisi, taban suyu tuzluluğundan daha fazla azalttığını göstermiştir.

Bitkilerin gelişme dönemleri yeraltı suyu potansiyelini iki yolla etkiler. Bitkiler erken gelişme dönemlerinde tuzluluğa, geç gelişme dönemlerine göre daha duyarlıdırlar, (Maas, 1986). Bu bitkinin geç gelişme dönemlerinde daha tuzlu suyu alabileceği anlamına gelmektedir. Ayrıca, köklerin suyu maksimum bir şekilde alabilmesi için taban suyuna yakın olması gereklidir. Geç gelişme dönemlerinde bitki kökleri daha uzun olacağından, yer altı suyundan daha fazla yararlanabilecektir.

Su kalitesi ve sulama yönetimi bitkinin sığ taban suyundan yararlanma potansiyeli üzerine önemli bir etkiye sahiptir. Bitkiler kök bölgesinden tuzlu koşullarda suyu alabilmeleri için daha yüksek potansiyele gerek duyarlar. Eğer kök bölgesinde yeterince su varsa ve bu koşullar devam ettiği sürece yer altı suyundan daha az su alınacaktır. Sulama aralıklarının arttırılması ile yüksek taban suyundan su alımı artabilir. Yaprak su potansiyeli bir gösterge olarak kullanılarak sulama aralıkları arttırılır. Böylece taban suyundan yararlanma düzeyi arttırılabilir (Kite ve Hanson, 1984).

Birleştirilmiş drenaj yönetiminde, gelişme döneminin sonlarına doğru su tablası düzeyinin belli bir derinlikte tutulması gerekir. Bu, planlama da kullanılandan daha yüksek su tablası düzeyinin sağlanması için sistem akışlarının veya dren aralıklarının denetimini beraberinde getirir. Bu, Fouss ve ark. (1990)'nın belirttiği yağışlı bölgelerdeki alttan sızdırma tekniğine benzer. Kurak bölgeler de bunu yapmak zordur. Çünkü drenler eğim yönünde döşenirler ve bu durumda yükselen taban suyu düzeyi, dren başlangıcında sondan daha az etkili olur. Bu durumlarda, su tablasının tarla içinde geniş alanlara yayılması ve kullanımını engellenir. Yeni sistemlerde dren lateralleri arazi eğimine yaklaşık dik, kolektörler (toplayıcılar) ise eğim yönünde

döşenir ve uzunluk boyunca birkaç yerde denetleme yapıları konur. Sınırlara yerleştirilen kontrol yapılarıyla tarla engellemeleri en aza indirilir.

Ayars ve McWhorter (1985), drenaj planlaması bitkilerin taban suyundan yararlanmaları göz önüne alınarak yapıldığında, drenaj sisteminden oluşan toplam akışın %60 azalma göstereceğini, bitkilerin suyu kullanımı göz önüne alınınca daha geniş dren aralıkları hesaplanacağını ve böylece bitkilerin suyu kullanımı nedeniyle drenaj katsayısını önemli düzeyde azalacağına değinmektedirler.

Doering ve ark. (1982), sığ drenaj fikrini önce çıkarmışlardır. Onlara göre sığ drenaj yarı kurak bölgelerde bitkilerin kaliteli taban suyundan yararlanmasını arttıracaktır. Benz ve ark. (1987)'rına göre ise, bu fikrin gerçekleştirilmesi drenaj suyunu azaltarak su kullanım etkinliğini artıracak böylece su ve enerji tasarrufu sağlayacaktır.

Çıkışların denetlendiği yeni sistemlerle bu uygulama ile maksimum etkiye ulaşılır. Dren derinliğinin ve aralığının azaltılması taban suyu düzeyinin bütün yetişme dönemi boyunca toprak yüzeyine daha yakın olmasını sağlayacaktır. Aynı zamanda daha sığ drenler bitki kullanımı için daha fazla su depolanmasına neden olacaktır. Eğer drenler derine döşenirse, su tablası hızla bitkinin yararlanamayacağı derinliğe düşecektir.

Drenaj suyunu azaltmak için, alternatif bir öneri Manguerra ve Garcia (1997) tarafından getirildi. Buna göre drenler 2.1 m derinliğe döşenerek arka arkaya drenajlı ve drenajsız dönemin getirilmesidir. Buna göre, yıkamadan sonra drenler kapatılarak taban suyu düzeyinin önceden belirlenen bir yüksekliğe ulaşması veya toprak tuzluluğunun ürün azalmasına neden olmayacak bir düzeye yükselmesine kadar drenaja izin verilmeyecektir. Bundan sonra drenler açılarak drenaja izin verilerek yıkama işlemi olacak, böylece işlem yinelenecektir. Bu işlemin etkili olabilmesi için drenaj sistemi özel olarak buna göre hazırlanmalı ve su tablası tarlanın her tarafında eşit olarak yükselmelidir.

Alternatif drenaj tasarımı ve yönetimlerinin sulama uygulamalarına etkisi üzerine bir çok araştırma yapılmıştır. Ayars (1996), bir tarla denemesinde sığ su tablası ve sulama yönetiminin birleştirilmesi ile yüzey altı drenaj sistemlerinden boşalımın önemli düzeyde azaldığını ve su kazanımı sağladığını gösterdi. Sığ su tablası sağlamak için dren laterallerine savak ve valf koymuştur.

Bitkilerin yüzlek-sığ taban suyundan yararlanmasını arttırmak için su tablası derinliği ve tuzlu suya uyarlamak için su kısıntısı programları uygulanmıştır. Bu çalışmada, taban suyu düzeyi 1.5 m derinlikte tuzluluğu 4-5 dS m^{-1} olan koşullarda pamuk yetiştirilmiştir. Tam su uygulaması 510 mm olarak hesaplanmış ancak kısıntılı su programı ile 330 mm su uygulanmıştır. Kısıntılı su uygulamasına karşın bölge ortalamasından daha fazla, hektara 1500-2300 kg pamuk verimi elde edilmiştir. İzleyen yılda tarla üç su tablası düzeyine ayrılarak (yüzlek, orta ve derin) domates bitkisi yetiştirilrek, yüzlek taban suyu 1.5-2.2 m, orta 1.8-2.6 m ve derin 2.2-2.6 m olarak yapılmıştır. En yüksek verim 114 ton/ha olarak orta ve yüzlek taban suyu deneyinde elde edilirken, derin taban suyunda 63 ton/ha ürün elde edilmiştir. Yüksek taban suyu sulama suyu ihtiyacını 141 mm azalttığı belirlenmiştir.

12.6 Boru Drenaj Sistemi

Sulanan alanlarda tuzluluğun denetimi için kurulacak yüzey altı drenaj sistemleri, fazla suları ve yer altı suyunu boşaltırken, su tablası düzeyini bitkilere zarar vermeyecek ve kök bölgesine kılcal tuz akışını en az düzeye indirecek şekilde tasarımlanmalıdırlar. Yatay drenaj boru ve hendekler kullanılarak gerçekleştirilirken, bazı durumlarda kuyulu drenaj sistemleri kurulabilir.

Bu amaçla üç etkene dikkat edilmesi gerekir. Bunlar,

Sistem seçimi; tarla drenlerinin planları ve sistem tipinin belirlenmesi

Dren derinliğinin belirlenmesi; emici drenler, dren derinliğini belirleyen genel koşullara ek olarak kılcal tuzluluğu önleyecek kadar derinlikte olmalıdır.

Temel tasarımlama ölçütlerinin belirlenmesi, taban suyu düzeyini (H) denetleyecek drenaj katsayısının (q) belirlenmesi.

12.7 Dren Derinliği

Dren derinliğini etkileyen başlıca faktörler önceki bölümlerde açıklanmıştır. Kurak alanlarda temel amaç tuz denetimi sağlamaktır. Bölgesel drenaj derinliği sınırlayıcı bir etken olmasa bile, uygun olmayan toprak koşulları ve iş makinaları bazen dren derinliği için sınırlayıcı olmaktadır.

Kılcal tuzlanmayı önlemek için, dren derinliği minimum derinlik ölçütüne uymalıdır. Kılcal tuzlanma için kritik dönem sulamaların sona erdiği ve derine süzülmelerin durduğu dönemdir. Bu dönem sulamaların kesilmesi ile hasat zamanı arasındaki veya sulamaların kısmen uzunca bir süre kesildiği dönemdir. Sulamalarla yükselen su tablası, sulama mevsimi sonunda dren düzeyine veya temel drenaj derinliğinin 10-20 cm yukarısına kadar düşecektir. Su tablasının bu düzeyi, kritik su tablası (Dc) düzeyinden daha yüksek olmamalıdır. Doğal olarak bu, buharlaşma bölgesinin derinliğine bağlıdır. En kritik koşullar, nadas döneminde buharlaşma zonunun en sığ Dc≈Hc olduğu dönemdir. Bu durumda drenaj derinliğ (W) aşağıdaki şekilde hesaplanır (Smedema ve Rycroft, 1983).

Sızma olmadığında;

W>=Hc, (12.1)

çevreden sızma olduğunda;

W>=Hc +10-20 cm, (12.2)

Hc değerleri çoğu topraklar için 100-150 cm, çok ince kum veya siltli topraklar içinse 200 cm yeterli görülmektedir. Mısır'da Nil Deltasında yapılan çalışmalarda 120 cm dren derinliğinin yeterli olduğu bildirilmiştir (ILRI, 1994). Dren derinliklerinin daha fazla olması veya sığ döşenmesi yapılacak fiyat analizleri ile belirlenmelidir.

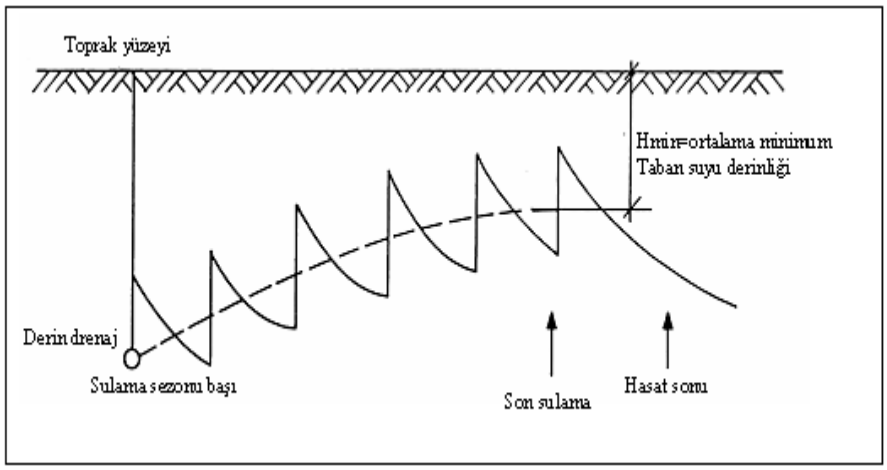
12.8 Dren Aralık Belirleme Ölçütleri

Sulanan alanlarda dren aralığı kararlı veya kararsız akış eşitliklerinden biri ile hesaplanabilir. Oldukça hayali durumlar göstermelerine rağmen en son eşitlikler gerçeğe çok daha yakındırlar, bunun önemi fiziksel olmaktan çok istatistikseldir. Bu ölçütlerin kullanımının geçerliliği kök bölgesinde tuzluluk düzeyi ve bitki verimleri ile iyi bir ilişkinin olmasına bağlıdır. Sulanan alanlarda tuz denetlemesi için, sulama dönemindeki ortalama dren verdilerini ve taban suyu düzeylerini yansıtan bir drenaj tasarımlaması kararlı akış drenaj eşitlikleri ile oldukça uygun bir şekilde yapılabilir. Bu formülasyon basit dren aralık eşitliklerini kullanma olanağı yaratır.

12.8.1 Su tablası derinliği (H)

Sulanan bir alanda sulama dönemi boyunca su tablasının izin verilen yüksekliği Şekil 12.1'de görülmektedir. Taban suyu düzeyindeki aşırı yükselmeler sulamaların arkasındaki kısa dönemlerde olmaktadır. Bu dönemlerde fazla suların aşağı doğru hareketi nedeniyle kılcal tuzlanma önemsizdir. Ancak taban suyu düzeylerinin uzun süre yüksek olması ürün veriminde azalmalara neden olacaktır. Onun için drenaj sistemi taban suyu düzeyi uygun bir süre içinde kök bölgesinin altına düşürülecek şekilde tasarımlanmalıdır.

Sulama dönemlerinde sulamaların arkasından taban suyu düzeyinin düştüğü ancak önceki düzeyine inmediği, dolayısıyla dönem ilerledikçe su tablasının yükseleceği varsayılmaktadır. Ancak uygulamada ikinci sulamaya kadar su düzeylerinin dren düzeylerine veya biraz üstüne kadar düştüğü görülmektedir. Bu bakımdan hidrolik yük (h) sulamanın hemen ardından birkaç gün (3-5 gün) için yükselen su düzeyi olarak ele alınmalıdır.



Şekil 12.1 Sulanan alanlarda su tablasının durumu

Verilen bir dren derinliği (W) için, kararlı koşullardaki dren aralık eşitliklerinin kullanılması halinde tasarımlama su tablası derinliği; eşitlikteki H değeri Çizelge 11.2'den alınarak h=W-H eşitliği ile belirlenir.

Anılan çizelgede görüldüğü gibi su tablası derinliği toprak bünyesi ile bitki çeşitlerinden etkileneceklerdir. Ancak burada unutulmaması gerekli nokta, toprak bünyelerinin değişmemesine karşın yetiştirilen bitki çeşidinin değişebileceğidir. Hali hazırda tarla bitkisi ekim alanlarının gelecekte meyve bahçesi olamaması için bir

neden yoktur. Bu bakımdan dren derinliğini belirlerlerken gelecek dönemlerdeki değişimlerin de göz önüne alınması gereklidir.

Çizelge 12.2 Sulanan alanlarda taban suyu tablasına ilişkin minimum su düzeyi derinlikleri (FAO, 1980)

Bitkiler	İnce bünyeli orta geçirgen topraklar	Hafif bünyeli toprakları
Tarla bitkileri	1.20	1.00
Sebze	1.10	1.00
Meyve bahçeleri	1.60	1.20

12.8.2 Dren verdisi (Tasarım Boşalımı) Q_t

Sulanan alanlarda yüzey altı drenaj sistemi tasarımlanırken kullanılacak drenaj katsayısı (q) tarla içi sulama etkinliklerine (e_a) veya yıkama gereksinimlerine göre hesaplanır. Bu bölgelerde genellikle sulama etkinlikleri çok düşük olup, kök bölgesi altına sızan sular yıkama gereksinimini fazlasıyla karşılar. Ayrıca yağışlar yıkamaya yardımcı olur. Bu bakımdan genellikle, yıkama gereksinimi bir ölçüt olarak alınmaya gerek olmaz. Kaldı ki, eğer sulama yıkama gereksinimini karşılamada yetersiz ise, bu durumda yıkama gereksinimini temel alan bir sistem tuz denetiminde de etkisiz kalacaktır.

Sulanan alanlarda drenaj katsayısı q verilen su dengesi eşitliği ile belirlenebilir.

$$q = (R + S_C + S_i - D_n) / T; \qquad (12.3)$$

eşitlikte; q dren verdisini, (mm gün^{-1}); R, derine sızmayı S_C, kanallardan sızmayı, S_i, drenaj alanına sızmayı, D_n, doğal drenajı, (mm dönem^{-1}); T, fazla suyun uzaklaştırıldığı dönemi, (gün), göstermektedir.

Ancak, tasarımlama boşalımı (q_t) hesaplanırken çok özen gösterilmelidir. Çünkü belirlenen değişkenlerin birçoğunun gerçek durumu yansıtıp yansıtmadığı kuşkuludur. Belki de, yağışlar ve alana giren sular gerçeğe en yakın değerler

olmasına karşın, kanal sızmaları, doğal drenaj ve aküfere sızma gibi değerlerin bir çoğu tahmini değerler olup gerçeği ne düzeyde yansıttıkları bilinmemektedir.

Kanal sızmaları kanalların yapısına uzunluğuna derinliğine, kanaldaki su hızına bağlı olarak değişir. Kanal sızmaları yerinde ölçülerek belirleneceği gibi daha basit olarak kaplamalı kanallarda %5 ile kaplamasız kanallarda %10-20 olduğu varsayılabilir.

Yeraltı suyunun dışardan drenaj alanına veya drenaj alanından dışarıya sızması, bölgesel yeraltı suyu eğimi ve özgül iletkenlik kullanılarak Darcy yasası ile kestirilebilmektedir. Ayrıca doğal drenaj, alana giren ve çıkan yüzey akış, yağış ve sulamalar ölçülerek model çalışmalarıyla belirlenebilmektedir.

Anılan değişkenler için daha önce dünyada ve ülkemizde benzer iklim koşullarında inşa edilen sistemlerin izlenmesi ve yerinde yapılan araştırma ve inceleme sonuçlarına dayalı olarak oldukça kullanılabilir veriler elde edilebilmektedir.

Çizelge 12.3. Sulanan alanlarda derine sızma değerleri, (FAO, 1980)

Sulama yöntemi	Sızmayı etkileyen koşullar	Sızma, tarlaya getirilen suyun yüzdesi olarak	
		İnce bünye orta geçirgen	Hafif bünye
Yağmurlama	Gündüz, orta şiddetli rüzgar	30	30
	Gece	25	25
Damla		15	15
Salma sulama	Bozuk yüzeyli	30	40
	Düzgün yüzeyli	20	30
Karık–Border	Bozuk kesimli	30	40
	Düzgün eğimli	25	35

Konya Ovasında kurulan yüzeyaltı drenaj sistemlerinde, tasarımlamada q değeri 3.0 mm gün^{-1} olarak alınmış, ancak Bahçeci ve ark. (2001)'nın yaptığı bir izleme-değerlendirme çalışmasında anılan değerin ilkbaharda yapılan buğday sulamalarında pik boşalımların zaman zaman anılan değerin üstünde olduğu (10-15

gün), ancak ortalama 2.0 mm gün^{-1} dolaylarında gerçekleştiği görülürken, sulamaların yağmurlama yöntemi ile yapıldığı şeker pancarı ve baklagil ekim dönemlerinde ise çok kısa süreli olarak bu değere ulaştığı, genellikle tasarımlamada kullanılan değerin altında gerçekleştiği belirlenmiştir. Dünyada bazı ülkelerde geliştirilen ve uygulanan q değerleri ise aşağıda verilmiştir.

Drenaj katsayısının hesaplanmasında kullanılmak üzere değişik sulama yöntemi ve değişik bünye koşullarına göre beklenen sızma değerleri çizelge 12.3' te verilmiştir. Anılan çizelge yardımıyla drenaj katsayısı hesaplanabilmektedir.

Sulamalarla derine sızan sular, sulamanın arkasından belli bir sürede dren akışları ile uzaklaştırılır. Dren boşalım dönemi (T) birkaç sulama aralığının ortalaması olarak alınabilir. Dren akışları sulama aralıklarında, doğal olarak kararlı bir şekilde olmayacaktır.

Çizelge 12.4. Dren derinliğine bağlı olarak etkili boşalım dönemlerinde yapılacak düzeltme (FAO; 1980)

Dren derinliği (m)	Toplam boşalma dönemlerinin yüzdesi olarak etkili boşalım dönemi
1.50	%50
2.00	%75
2.50	%100

Sulamanın hemen arkasından taban suyu düzeyinde de iniş ve çıkışlar, dren verdilerinde de hızlı bir artış ve sonrasında azalma olacaktır. Sığ döşenmiş drenlerde geri çekilme, derin döşenmiş drenlerden daha hızlı ve daha kısa sürede olacaktır. Taban suyu düzeyleri dren borusu düzeyine indiği için dren akışları bir sonraki sulamadan daha önce kesilebilecektir. Dren derinliğinin verdi üzerine olan bu etkisini göz önüne alarak etkili boşalım döneminin dren derinliklerine göre azaltılabileceği fikri ortaya çıkmıştır. Çizelge 12.4 bu düşünceye göre hazırlanmıştır.

Çizelge 12.5 Değişik topraklar için uygulamalarda rastlanan dren boşalım değerleri (FAO; 1980)

Düşük infiltrasyon kapasitesine sahip topraklar	q = 1.5 mm gün^{-1}
Yoğun tarım yapılan geçirgen topraklar	q = 1.5 – 3.0 mm/gün
Aşırı su kayıpları ve yüksek tuzlu su koşulları	q = 3.0 – 4.5 mm/gün

Sulanan alanlar için yapılan tasarımda dren verdileri, genel olarak yağışlı bölgelerdeki dren verdilerinden çok daha düşüktür. Doğal drenaj ve sızmaların önemsiz düzeylerde olduğu koşullardaki sulanan alanlarda yaygın olarak karşılaşılan dren boşalım değerleri Çizelge 12.5'te verilmiştir. Anılan çizelgede görüldüğü gibi q değerleri 1.5-4.5 mm/gün arasında değişmektedir.

Drenaj sistemi kurulacak sulanan alanlarda q değerleri başlangıçta yukarıda verilen eşitlik yardımıyla veya Çizelgeden alınarak başlangıç için sistem tasarımlanabilir. Ancak daha sonra belirlenecek bir pilot deneme alanında yapılacak gözlemlerle en doğru tasarımlama boşalımının (q) belirlenmesi gerekir.

Örnek

Tesviyesi düzgün olmayan bir arazide tarla bitkileri yetiştirilmekte ve karık sulaması ile 12 gün aralıklarla sulanmaktadır. Topraklar ince bünyeli olup, her sulamada 80 mm su verilmektedir. Dren derinliği 2.0 m ve sulamanın yoğun döneminde yağışlar önemsizdir.

Sulama nedeniyle derine	80*%30	24.0 mm-sulama
Sulama aralığı	12 gün	24/12=2.0 mm gün^{-1}
Kanallardan sızma	Tahmin	0.3 mm gün^{-}
Sızma veya doğal drenaj		-
Toplam		2.30 mm gün^{-}
Etkili boşalım zamanı	%75	q=2.30 / 0.75 = 3.07
Minimum su tablası derinliği H_{min}	H= 1.20	h = W - H = 0.80 m

c) Dren döşeme deseni

Dren döşeme deseni yüzey akışı ve aşırı suları toplayacak şekilde düzenlenir. Aşırı sular ve yağışlar tarlanın en düşük bölgesinde ki yüzey drenaj kanalları ile toplanırlar. Bunlar tipik V-biçimli geçilebilen hendekler olmalıdır.

Yüzey drenaj için aşağıdaki ölçütlere uyulması gerekir.

-En düşük eğim düzgün, temiz karıklarda %0.10-0.20, kaba bir şekilde düzenlenenlerde ise %0.20-0.25 olmalıdır.

-Yağışlardan ileri gelen akışlar karıkların güvenli kapasitelerini aşmamalıdır.

Etkili bir yüzey sulama için yapılacak tarla düzenlemeleri ve hazırlıklar yüzey drenajı için yeterli olacaktır.

Dren döşenmesine ilişkin genel kurallar ise;

Drenler genel eğim yönünde döşenir.

Minimum eğim %0.05'ten az olmamalıdır. Düz alanlarda uzun emiciler sorun yaratabilir.

Dren uzunlukları genellikle 250-300 m arasında olmalıdır. Ancak bu uzunluk sulama sistemi ve drenaj kanal sistemi ile sınırlandığından bileşik sistemlerde emiciler 350-400 m ye kadar ulaşabilir. Doğrudan açık drenaj kanalına bağlanan tekil drenler 700-800 m ye kadar çıkabilir. Bu durumda özellikle düz alanlarda eğim sorun olabilir.

d) Boru Çapı

Yağışlı bölgelerde veya kararlı akış koşullarında boru drenlerin çapları yüksek yağışlı dönemlerdeki dren verdilerinin ortalama değerleri göz önüne alınarak belirlenirler. Sulanan alanlarda dren boruları sulamaların hemen arkasından kısa bir süre için olan pik boşalımları taşıyacak şekilde planlanırlar. Anılan değerler h_{max} değerleri göz önüne alınarak hesaplanır.

Genellikle h_{max} = W-1/2 H_{min} kabul edilir ve h=h_{max} alınarak dren aralık eşitliği ile q hesaplanır. Dren derinlikleri W=2.0-2.5 m ve H_{min} =1.0-1.2'mdir. Bu uygulanan dren aralığı için çözüldüğünde kabaca boru çapı için = 1.5 x q_d elde edilir.

Tarla drenleri tasarlanırken bir toplayıcının etki alanının tamamının aynı günde sulandığı genel varsayımdan hareket edilirse, pik debiler çok yüksek olur. Bu durumda toplayıcıların veya uzun tekil drenlerin boru çapları çok yüksek olabilir. Halbuki, sulamalar nöbetleşe yapılır ve bir toplayıcının/emicinin etki alanının, tamamı aynı günde sulanmaz. Bir toplayıcının etki alanının 100 ha olduğunu ve 5 gün için sulanabildiğini göz önüne alırsak, günde 20 ha alan sulanacaktır. Böylece tüm alanın %20'sinden toplanan sular pik debiyi oluşturacaktır. Onun için toplayıcı kapasiteleri belirlenirken kullanılan drenaj katsayısının düzeltilmesi gerekir. Bu amaçla bir rehber olmak üzere Çizelge 12.6'dan yararlanılabilir.

Anılan Çizelgede görüldüğü gibi toplayıcının etki alanının bir günde sulanan kısmı %20-30 arasında ise, boru çapı belirlenmesinde kullanılacak $q = q_t \times 0.85$ alınarak hesaplanmalıdır. Ancak bu hesaplamanın yapılabilmesi için bölgede sulama ve drenaj sisteminin, seçilecek belli bir deneme alanında, belli bir süre gözlenmesi gerekir. Böylece bölge için gerçek boşalım değerleri saptanabilir.

12.9 Drenaj Sisteminin Tasarımlanmasında Modellerin Kullanılması

Toprak-su sistemi oldukça karmaşık olmasına karşın drenaj sistemlerinin tasarımlanmasında çok yalınlaştırılmış eşitliklerle uygulanabilir çözümler üretilmektedir. Toprak su sisteminde toprak özelliklerinin yatay ve düşey olarak bir örnek varsayıldığı alanlarda bile, bunların bir örnek olmadığı ve birbirlerinin katlarıyla açıklanacak boyutlarda farklılıklar gösterdiğine oldukça sık rastlanmaktadır. Diğer taraftan iklim koşulları zamanda değişiklikler göstermekte ve uzun dönem iklim koşullarını göz önüne almayan tasarımlar beklenen sonucu vermemekte, uygulamalarda kaçınılmaz olarak başarısızlıklar ortaya çıkmaktadır. Burada sözü edilen başarısızlık sistemden beklenen işlevin yerine getirilememesidir.

Su kaynaklarının giderek azalması, sulama ve drenaj sistemlerinin tasarımlama ve uygulamasının giderek artması nedeniyle etkili su yönetim sistemlerinin planlanması, günden güne daha da önem kazanmaktadır. Maksimum üretimin sürdürülebilirliği kurulacak sulama ve drenaj sistemlerin yüksek performansla çalışmasına bağlıdır. Bunu sağlamak için uzun yıllık dönemlerde ortaya çıkabilecek sorunların önceden kestirilmesi gereklidir. Bu bakımdan geleceğe yönelik

kestirimlerin yapılmasında bilgisayar benzeşim modellerinin kullanılması oldukça önemli olup, kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Çizelge 12.6 Sulanan alanlarda toplayıcı drenler için alan azalma faktörleri (FAO, 1980)

Bir toplayıcı etki alanının bir günde sulanan alan %'si	q_d
50-100	%100 (=q_d tarla drenleri için)
30-50	%90
20-30	%85
10-20	%80
<10	%70

Son yıllarda DRAINMOD, SALTMOD, DRAINSAL, LEACHM, MODFLOW, SWATRE, DrainCAD vb. gibi birçok faktörü içeren bilgisayar benzeşim modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller alternatif drenaj tasarımlarının kuramsal performansını değerlendirmede yararlı olmaktadır. Yukarıda sayılan modeller uygulanırken bunları yöre koşullarında uygulanıp uygulanmayacağının tarla denemeleri ile doğrulanması gereklidir. Bu amaçla bunlardan DRAINMOD Samsun–Çarşamba Ovasında uygulanmış, SALTMOD ise Konya-Çumra Ovası ile Şanlıurfa Harran Ovasında uygulanmaktadır. Ancak modellerle yapılan arazi denemeleri çok yoğun ölçüm ve gözlemler ile, konusunda uzman elemanlara gereksinim göstermesi nedeni ile, uygulanmalarında bir takım zorluklarla karşılaşılması her zaman söz konusudur.

Skags, (1990) tarafından geliştirilen DRAINMOD hümid bölgelerde iklim, toprak ve bitki verilerinin kullanılmasıyla, sulama ve drenaj sistemlerinin verimliliğini uzun döneme dayanarak belirlemek için geliştirilmiştir. Anılan modelle geçmiş yıllara ait iklim verilerinden ve drenaj sistemi kurulacak arazinin toprak özelliklerinden yararlanılarak bitki verimini en iyileştiren ve bu verimi sağlayan drenaj sistem parametrelerinin belirlenmesi olanaklı olmaktadır.

Tarımsal alanlarda mevsimlik su ve tuz dengesini temel alan SALTMOD ise Oosterbaan, (1998) tarafından geliştirilmiştir. SALTMOD ile sulanan alanlarda

değişik su yönetimi ve hidrolojik ve jeohidrolojik koşullar ve değişik bitki ekim desenleri altında toprak, taban suyu, drenaj suyunun tuzluluk durumu ve uygun taban suyu derinlikleri uzun dönem için kestirilebilmektedir.

Günlük verilerin kullanılmadığı bu yöntem, bir alanda bir mevsim ve sulama dönemi ve uygulanan ekim sistemine göre yüzey altı drenaj sistemi olan veya olamayan koşullarda uygulanabilir. Bu modelle değişik taban suyu düzeylerinin toprak tuzlanmasına etkileri, doğal drenaj, sulama etkinliklerini kestirilme olanağı sağlanmaktadır. Böylece elde edilen verilerden tasarımlamada güvenle kullanılacak dren derinliği ve drenaj katsayısı belirlenebilmektedir.

13. KUYU DRENAJ ve FARKLI DRENAJ ÖNLEMLERİ

13.1 Drenajda Pompaj

Yüzey veya yer altı sularının yer çekimi ile uzaklaştırılmasının olanaklı olnadığı koşullarda pompa istasyonlarına gerek duyulur. Onlar aynı zamanda taban suyunun yüksek olduğu bölgelerde kullanılırlar.

Yüzey drenaj pompa istasyonları:

1-Pompa istasyonları taban arazilerde veya taşkınlardan, su basmalarından korunan düz arazilerde, boşaltım noktasının yüksek olması nedeniyle cazibeli akışın olmadığı yerlerde kurulurlar. Bu tür arazilerde boşaltım noktası yüksek veya çıkış kapasitesi yeterli değildir. Suyun geriye akışını önlemek için geri akışı önleme yapısına gerek duyulur (floodgate). Pompa ile atılacak suyun miktarı, cazibeli akışla atılamayan suya göre değişir.

2-Yeterli eğimin olmadığı kıyı ovalarında araziler; seddelerle çevrilerek gelgitlerin etkisi önlenir. Pompa istasyonları suyu bir drenaj kuyusundan boşaltır. Pompaj miktarı gel-gitlere ve yapılara bağlıdır.

3-Yüzey akışın sulamada kullanıldığı alanlar, seddelerin olup olmamasına ve çıkış ağzı durumuna bağlı olarak arazi miktarı değişir.

4-Su tablasının yüksek düzeyde denetiminin gerektiği yerler, organik topraklar; bu yerlerde su tablası düşük olduğunda yükseltmek, yüksek olduğunda düşürmek gerekir.

Yüzeyaltı drenaj da pompa kullanımı:

-Drenaj suyunun sulamada kullanıldığı yerler, bir takım düz arazilerde yer altı suyu kaliteli olup sulamada kullanılabilmektedir. Böyle yerlerde pompa istasyonları drenaj ve sulama amaçlı olarak kullanılabilmektedir. Bu aynı zamanda taban suyu düzeyinin denetlenmesinde de yardımcı olmaktadır.

-Çıkış ağzı yüksekliğinin cazibeli drenaja izin vermediği alanlar, bir çok taban arazi ve doğal çıkış ağzının olmadığı kapalı havzalarda fazla suyun başka bir havzaya veya bir depolama yapısına boşaltılması gerekir. Bu işlemde pompa istasyonlarından yararlanılır. Dünyada ve ülkemizde bunun çok sayıda örneklerine rastlamak olanaklıdır.

Ülkemizde Konya-Çumra Ovasındaki fazla sular 1970 li yıllardan beri 3 pompa istasyonu ile 18 m yükseltilerek Tuz Gölü alt havzasına boşaltılmaktadır. Konya Çumra ovasından boşaltılan su miktarı yağış ve sulama durumuna göre, yılda yaklaşık 100-200 milyon metreküp arasında değişmektedir..

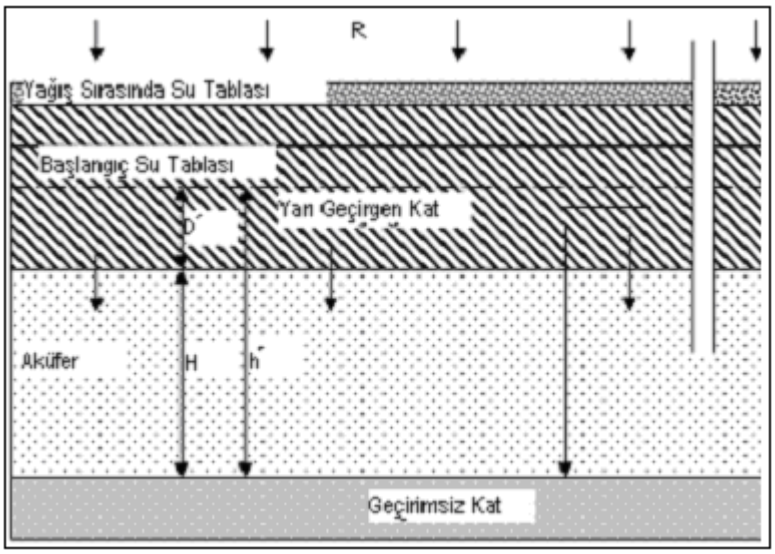
13.2 Boşaltıcı Kuyular

Artezyenik bir aküferin üzerinde bulunan alanlarda aküferin üzerindeki tabakanın yeteri kadar geçirimli veya yer yer kırılması halinde artezyenik basınç taban suyunu toprak yüzeyine iter ve böylece devamlı bir yüksek taban suyu sorunu doğar. Böyle bir taban suyunun normal drenaj ile boşaltılması dren aralıklarının ekonomik olmayacak şekilde sık olmasını gerektirebilir. Artezyenik aküfer drenlerin yerleştirilemeyeceği derinlikte bulunabilir. Pek ender olarak ve çok uygun koşullar altında artezyenik aküfere açılan boşaltıcı kuyuların derin kapalı drenlere bağlanmasıyla artezyenik basınç düşürülerek, taban suyu zararsız bir düzeye indirilmiş olur. Bununla beraber, genel olarak bir kuyu, artezyenik aküferden gerekli emici açıklığını sağlayacak düzeyde su boşaltamaz. Boşaltıcı kuyular ender hallerde kullanıldığından uygun sonuç alınabilmesi için etütler tam ayrıntılı ve çok dikkatli yapılmalıdır. Boşaltıcı kuyular planlanmadan önce artezyenik basınç belirlenmeli, basınç azalmaları ve alanları incelenmelidir.

Yüzey altı drenaj sistemi fazla suyu yerçekimi kuvvetiyle açık hendeklere veya değişik derinliklere döşenmiş boru drenlerle uzaklaştırır. Boru drenlerle toplayıcılara taşınan su serbest akışla herhangi bir boşaltım alanına taşınır.

Kuyu drenajda gerekli kanal uzunluğu diğer yüzey altı drenaj sistemlerine göre önemli düzeyde azdır. Çöküntülerden oluşan dalgalı arazilerde doğal çıkış ağızları yoktur. Onun için pompalanan su değişik kuyuların çıkış ağızlarına bağlanır.

Diğer yüzey altı drenaj sistemlerine göre daha derin katları drene edebilen kuyulu drenaj, su tablasını derinlere düşürerek daha fazla su depolama kapasitesi yaratır. Böylece kurak ve yarı kurak bölgelerde tuzların daha derinlere yıkanması sağlanır. Ayrıca aküferden pompalanan suyun kalitesi iyi ise sulamada kullanılır ve bu sitemin ekonomik olmasını sağlar. Kuyulu drenaj sisteminin istenmeyen yanları ise;



Şekil 13.1 Sulama suyunun veya yağışın üniform infiltre olduğu yarı kapalı aküfer

-Pompa kuyusunun inşa edilmesi işletilmesi ve bakımı diğer drenaj sistemlerine göre daha zordur.

-Yerleşim yerlerine yakın bölgelerde su seviyesini düşürdüğü için, içme suyu sağlanmasında sorun yaratacağından kuyulu drenaj yasaklanmış olabilir. Küçük alanlarda diğer yüzeyaltı drenaj sistemleri gibi ekonomik olmayabilir.

-Su tablası arazi yüzeyine kadar yükseldiğinde, özellikle gelişme döneminde, çoğu bitkilerin sudan zarar görmemesi için hızlı bir şekilde düşürülmesi ve bunun

için drenaj şiddetinin yüksek olması gerekir. Bu ise kuyuların sık açılmasını ve sürekli pompaj gerektirdiğinden sistemi daha pahalı kılar.

-Kuyulu drenajın başarılı bir şekilde uygulanması için aküferin hidrolik koşullarının uygun olması gerekir. Eğer aküfer yarı kapalı ise, üstteki yarı geçirgen katın geçirgenliğinin yeterli olması gerekir. Aküferin üzerinde düşük geçirgenliğe sahip bir toprak katının varlığı, kuyulu drenajın olabilirliğinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu yüzden hidrolik direncin belirlemesi gerekir.

Bazen direnç o kadar yüksek olabilir ki, açılan kuyular taban suyunun düşürülmesine etkili olamaz.

Kuyulu drenajın etkili olup olamayacağının belirlenmesinde kullanılan aküferin su iletkenliği, minimum kalınlığı ve özgül verim arasında ilişkiler Çizelge 13.1'de verilmiştir.

Artezyenik basıncın çok yüksek olduğu aküferlerde, aşırı sızma nedeniyle kuyulu drenaj ekonomik ve teknik olarak uygun olmayabilir. Şekil 13.1'de verilen kesitte görüldüğü gibi sabit beslenme koşullarında aküferin beslenme hızı, hidrolik iletkenlik ile düşük geçirimli katın kalınlığı ve başlangıç su tablası arasında Darcy yasasına göre aşağıda verilen eşitlikler yazılır (Bohemer ve Boonstra, 1994).

Çizelge 13.1 Aküferin minimum kalınlığı (McCready, 1978)

Ort. hidrolik iletkenlik ($m\ gün^{-1}$)	Aküferin gerekli minimum kalınlığı (m)	Özgül verim ($m^2\ gün^{-1}$)
43	14	602
26	25	650
17	40	680
13	60	780

Aküferin üstünde uzanan az geçirgen katta su tablası düşme hızı hidrolik yükle doğru, hidrolik dirençle ters orantılıdır. Bu katta su tablası düzeyi genellikle sığ olup 0.5 m ile 2- 3 m arasında değişir. Aküferdeki hidrolik yükseklik su tablasının altında veya üstünde olabilir. Hidrolik yük farklarının birkaç cm den 1-2 m'ye kadar

değişmesi olağandır. Yüksek artezyenik basınçlı alanların dışında bundan daha fazla yük farkları pek gerçekçi değildir (ILRI, 1994).

Yarı kapalı aküferlerde kuyulu drenajın etkili olabilmesi için aküferin üzerinde uzanan az geçirgen katın hidrolik direnci 1000 gün den daha küçük olmalıdır.

$$c=D'/K' \qquad (13.1)$$

$$v_z = \frac{K'(h'-h)}{D'} = \frac{h'-h}{c} \qquad (13.2)$$

Eşitliklerde v_z =düşük geçirimli katın düşme hızı (m/d), h'=aküferin üstündeki katta su tablası düzeyi (m), h= Hidrolik yük (m), c= düşük geçirimli katın hidrolik direnci (gün,d), K'= aküferin üstündeki katta hidrolik iletkenlik (m gün^{-1}), D'= düşük geçirimli katın hidrolik iletkenliği (m gün^{-1}).

Bazı koşullarda derin pompaj kuyuları bir drenaj sorununun çözümlenmesinde en uygun yöntem olabilir. Bazı hallerde bu kuyular bütün drenajı sağlayabilir. Bazı hallerde ise sadece özel bir sahanın kısmi drenajını sağlayabilir. Bu kuyulardan elde edilen su, tekrar kullanılmak üzere sulama kanallarına veya sahadan uzaklaştırılmak üzere drenaj kanallarına verilir.

Pompaj ile drenaj kalınlığı yeterli bir aküferin bulunduğu ve dolayısıyla alçalma eğrisinin fazla olduğu, kuyuların geniş etki alanına sahip olduğu koşullarda ekonomik olur. Kuyuların etki alanlarının geniş olması her kuyudan maksimum faydanın sağlanmasını ve böylece gerekli olan kuyu sayısının azalmasını sağlar. Pompajlı kuyular, artezyenik basıncın bulunduğu sahalarda çok etkili olurlar. Açık ve kapalı drenajın etkili ve ekonomik olmadığı hallerde geniş bir sahada artezyenik basınç pompaj kuyuları ile azaltılabilir. Pompaj için gerekli olan güç, bu tip drenajın ekonomik olup olmamasına en çok etki eden faktördür.

13.3 Temel Eşitlikler

Pompajla (kuyulu) drenajda aküferin sabit bir oranda beslendiği varsayılır (m/d). Onun için kuyuya akış eşitlikleri kararlı koşul eşitlikleri olarak verilecektir.

Kuyulardaki akış beslenme-boşalım bir birini dengeleyecektir. Kuyunun etkilediği alanın büyüklüğü etkilediği çap (r_e) olarak tanımlanacaktır.

Kuyular bütün alandaki su düzeyini düşürecek şekilde yerleştirilmelidir. Kuyuların yerleştirilmesi ile ilgili iki deseni göz önüne alan eşitlikler geliştirilmiştir. Bunlar; üçgen desen ve dikdörtgen desendir.

-Üçgen desen; hidrolojik olarak en arzu edilen bir desen olup, bir kuyu ile maximum alan drene edilir. Zayıf tarafı pompalanan suyu ana kanala taşımak için daha fazla toplayıcı drene gerek duymasıdır.

-Dikdörtgen desen; kuyular paralel toplayıcılar boyunca yerleştirilir. Bu durumda minimum toplayıcı drene gerek duyulur. Zayıf yanı ise komşu kuyularda fazladan su tablası düşmesine neden olmasıdır. Böylece daha yüksek pompalama masrafı ortaya çıkar.

13.3.1 Üçgen Desen

Kuyular üçgenin köşelerine yerleştirilir. Kuyu boşalımları komşu kuyuları etkilemez. Tek kuyu yöntemi uygulanır. Bir alanın drenajında aküferden boşalım ile beslenme arasında doğrudan ilişki vardır. Pompalama ile su düzeyinin düşmesi kuyudaki boşalım hızı ile aküferin kalınlığı ve geçirgenliği tarafından belirlenir. Bir kuyuda düşme ve beslenme hızı kuyunun pompa masraflarının belirlenmesinde önemli faktörlerdir.

13.3.2 Serbest-Açık aküfer

Üçgen bir desenle tarlaya yerleştirilen kuyuların etki alanlarının sınırları şekilde görüldüğü gibi birbirinden keskin bir şekilde ayrılır. Üst üste basma oranı oldukça küçüktür. Komşu kuyuların boşalımı ve su düzeyinin her kuyudaki düşüşü diğerini etkilemez.

Kuyulu drenaj yapılan bir alanda kuyunun boşalımı, aküferden sızma ile beslenmesi ve kuyunun etki alanı arasında doğrudan ilişkiler vardır. Pompaj nedeniyle su düzeyindeki azalma, boşalım hızı ile aküferin kalınlığı ve geçirgenliği tarafından belirlenir.

$$L=r_e\,(3)^{1/2} \qquad (13.4)$$

Sınırlanmamış bir aküferde keyfi olarak seçilen bir silindirden r uzaklığında kararlı akış aşağıda verilen eşitlikle belirlenir.

$$Q_r = \pi (r_e^2 - r^2) R \qquad (13.5)$$

r_e: Kuyunun etki alanı çapı (m), R; birim yüzey alan için aküferin beslenme hızı (m gün^{-1})

Darcy yasasına göre;

$$Q_r = 2 \pi rhk \, \partial h/\partial r \qquad (13.6)$$

k: Aküferin hidrolik iletkenliği m/d, $\partial h/\partial r$: Hidrolik eğim

Kararlı akış koşullarında kuyu boşalımı Q, etki çapı içerisindeki düşey beslenme hızına eşittir. Buradan;

$$Q = \pi r_e^2 R \qquad (13.7)$$

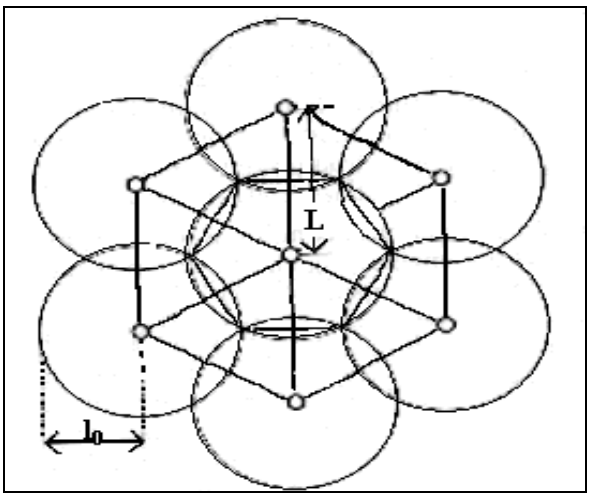
Gerekli düzenlemeler yapılarak eşitlikler birleştirilir.

$r_e/r_w > 100$ için,

$$\Delta h_r = \frac{2.3Q}{2\pi KH} \log \frac{r_e}{r_w} \qquad (13.8)$$

elde edilir

H: Pompaj öncesi sature aküfer kalınlığı (m), Δh_r: Pompaya doğru radyal akış (m), r_w : kuyu çapı (m)



Şekil 13.2 Kuyulu drenajda eşit aralıklı üçgen desen

Örnek soru:

Sulanan bir alanda derine süzülme kaybı 3 mm gün^{-1}, aküferin geçirgenliği, K_{akf}= 30 m gün^{-1} ve su taşıyan katın kalınlığı H=40 m olup, çapı 0.1 m olan 1000 m aralıklı kuyularla drenaj yapılacağına göre pompa hızını ve kuyudaki düşmeyi belirleyiniz.

L = $r_e \sqrt{3} \rightarrow$ üçgen desende etki çapı; r_e=1000/√3=578 m

Her kuyudaki boşalım miktarı;

Q = $\pi r_e^2 R$ =3.14 x $(578)^2$x0.003=3147 m^3 gün^{-1-}

Δh_r=(2.3x3147/2x3.14x30x40)xlog(578/0.1)

Δh_r=3.6 m

13.3.3 Dikdörtgen desen

Aralıkları B olan paralel hatlar üzerinde L aralığı ile açılan kuyularda boşalım aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenir. Belirli aralıklarla yüzey drenlerin bulunduğu yerlerde dikdörtgen desende bir L hattı boyunca B aralıkları ile kuyular açılır. Kuyu verimi ;

Q= R B L (13.9)

Olup, Q, boşalım hızı, (m^3 gün^{-1}) olup diğer simgeler üçgen desendeki eşitliklerde olduğu gibi alınarak yük kaybı aşağıdaki eşitlik 13.6 ile hesaplanır.

$$\Delta h = \frac{RB^2}{8KH} + \frac{2.3Q}{2\ \pi\ K\ \mathrm{H}} \log \frac{L}{\pi\ r_w} \qquad (13.10)$$

Örnek soru

3000 m aralıklı açık kanallar boyunca kuyular açılmıştır. K= 30 m/d, H = 40 m, r_w = 0.1 m olduğuna göre; kuyulardaki düşme ne kadar olacaktır.

L=Q/RB, L = r_e √3 → üçgen desende etki çapı; r_e = 1000/ √3 = 578 m

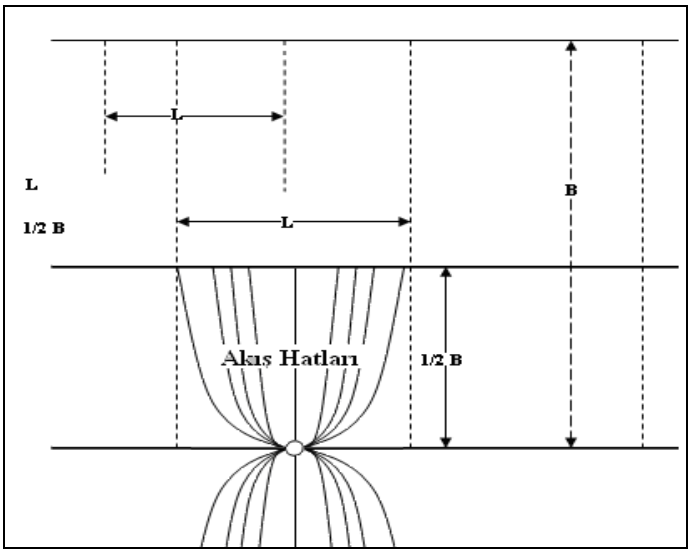
Her kuyudaki boşalım oranı

Q = π r_e^2R =3.14x$(578)^2$x0.003= 3147 m^3 $gün^{-1}$

L = 3147/0.003x3000 =350 m

Δh=0.003x$(3000)^2$/ (8x30x 40)+(2.3x3147/2x3.14x30x40)(log 350/3.14x0.1)

Δh=3.375+4=5.6+2.9= 8.5 m



Şekil 13.3 Dikdörtgen desende kuyu planlaması L<<B

13.4 Yeraltı Suyu Kalitesi

Kuyulu drenajda göz önüne alınması gereken üçüncü faktör yer altı suyu kalitesidir. Eğer pompalanan suyun kalitesi iyi ise, bu durumda bu su sulamada kullanılır. Kaliteli suyun ekonomik bir değeri vardır ve pompa masraflarını büyük oranda karşılar. Sulanan yarı kurak alanlarda su genellikle kıttır. Onun için kuyular daha fazla alanın sulanmasını sağlar.

Aküferden sulamada kullanılmak amacıyla su çekildiğinde ciddi sorulardan biri bitkilere verilen bu suyun kalitesinin tuzluluğunun zamanla değişmesidir. Yer altı suyunun taze akarsu ile karışması ile kuyu suyunun kalitesinin nasıl değişeceğinin belirlenmesi gerekir.

Kombine drenaj ve sulama sistemleri planlanırken göz önüne alınması gereken çok sayıda etmen vardır. Bunlar;

Yer altı suyunun tuz konsantrasyonu

Su tablası üstündeki toprak katlarının tuz konsantrasyonu

Kuyuların aralık ve derinlikleri

Kuyuların pompa hızı

Proje alanından uzaklaştırılacak su miktarı

13.5 Ağır Killi Toprakların Drenajı

Ağır killi topraklar çok düşük su iletkenliğine sahiptirler. Onun için böyle topraklarda dren aralıklarının çok dar olması gerekir. Çok dar dren aralıkları sistem maliyetini çok artıracağından, bu topraklarda drenaj sistemleri çoğu zaman ekonomik olmaz. Hidrolik iletkenlik bazen o kadar düşük olabilir ki, hiçbir yüzeyaltı drenaj sistemi ekonomik olmaz. Böyle durumlarda drenaj sistemi karıklardan ve küçük hendeklerden oluşan bir sistemle birleştirilir. Orta bünyeli topraklarda ise bazen suyun toprağa girmesi için hidrolik iletkenlik çok düşük olabilir. Bu durumda su arazi yüzeyinde göllenir. Yağışla göllenen su 2-3 gün içinde infiltre olamıyorsa yüzey altı drenaj sistemi işlevini yerine getiremez.

13.6 Ters Kuyular

Ters kuyular, suyun topraktan alındığı değil, aksine toprağa verildiği kuyulardır. Birlikte kullanıldığı drenaj sisteminde suyun boşaltıldığı çıkış yerini oluşturur. Sistemin yerine geçemezler. Ters kuyular drene edilecek toprak katının altında geçirgen bir tabakanın bulunması ve bu iki tabakanın arasında az geçirgen veya geçirgen olmayan, diğer bir tabakanın yer alması halinde uygulanabilir. Bu geçirgen tabakanın gerekli suyu depolayabilecek veya doğal bir çıkış yerine taşıyabilecek nitelikte olması gerekir.

Parçalanmış bazalt veya boşluklu kalker tabakalar buna en iyi örneklerdir. Kaba kum veya çakıl tabakalar, sınırlı hallerde iyi bir çıkış yerine sahip iseler işe yarayabilirler. Ters kuyular normal kuyular gibi açılır, ancak drenaj suyu kuyunun içine girmeden önce içerdiği siltin temizlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekir. Çökeltiler, aküferin filtre yeteneğinin azalmasına ve kuyu cidarlarının

geçirgenliğin zamanla azalmasına neden olur. Ters kuyunun ömrü suyun taşıdığı çökelti miktarı ile ters orantılıdır.

13.7 Organik Toprakların Drenajı

Organik toprakların drenajı, geçmişte su altında kalmış sulak alanların tarıma kazandırılması amacıyla yaygın olarak uygulanmıştır. Ancak ne var ki, sulak alanların bu şekilde ortadan kaldırılarak tarıma açılmasının, ekosistemi bozarak, yarardan çok zarar getirdiği görülmüştür. Bu yüzden organik toprakların drenajı konusunda ekosistemi bozmayan yaklaşımların kullanılmasına özen gösterilmesi gerekmektedir.

Drenaj toprakta oldukça karmaşık fiziksel ve kimyasal olayların ortaya çıkmasına neden olur. Bu olaylar ve değişimler organik topraklarda çok daha şiddetli bir biçimde görülür.

13.7.1 Drenaj ve toprak çökmesi

Toprakların, özellikle organik toprakların ve olgunlaşmamış ağır killi toprakların drenajı sonunda toprakta çökme meydana gelir. Çökme, toprağın yüzeyden aşağıya doğru hareketi olup birden fazla işlemi içerir. Bunlar;

Sıkışma-pekişme; toprak üzerine gelen dış yükler nedeniyle toprağın hacminin küçülmesi.

Birleşme; su ve hava toprak gözeneklerinden çıkar toprağın ağırlığı artar.

Çekme, büzülme; kılcal stres nedeniyle toprak hacminde azalma oluşması,

Oksitlenme; topraktaki organik karbonun oksitlenmesi ve karbonun CO_2'de dönüşümü ile atmosfere karışması sonucu toprak hacminde azalma,

13.7.2 Çökmenin boyutlarının belirlenmesi ve arazi ıslahı

Bu konu su ve drenaj projelerinde büyük öneme sahiptir. Kumlu ve killi toprakların olası çökmeleri standart toprak mekanik eşitlikleri ile hesaplanabilir. Ancak bu eşitlikler büzülme-çekme ve yeni iyileştirilen organik topraklar için uygun değildir.

13.7.3 Çökmenin drenajla ilişkisi;

Sıkışma ve birleşme insan faaliyetleri sonunda oluşur. Büzülme-çekme toprak fiziği ile ilgili bir işlem olup, yeni ıslah edilen toprağın olgunlaşmasının sonucu olarak bir daha geri dönmemek üzere toprağın hacminin azalmasına neden olur.

Büzülme ve çekmeden meydana gelen çökme toprağın nem içeriğine bağlı olarak buharlaşma ile nemin ayrılması sonucunda oluşur.

Oksidasyon organik topraklardaki biyokimyasal bir işlemdir. Mikroorganizmaların organik bileşikleri ve karbonu enerji kaynağı olarak kullanmaları sonunda ortaya çıkar. İşlevin ortaya çıkması ve hızı topraktaki hava ve su koşullarına bağlıdır.

Tarımsal arazilerde çökme bir seri işlemin sonucu ortaya çıkar. Bunların en önemlileri;

1. Toprak kil ve pit ise su altındaki arazilerde taban suyunun düşmesi ve drenajın sonucunda sıkışma ve pekişme ortaya çıkar.

2. Kil ve peat topraklarda derin katlardan su, gaz ve yağ çıkması (sulama ve diğer amaçlı), sonucu sıkışma ve pekişme ortaya çıkar. Su tablasının aşırı düşürülmesi sonucunda Kaliforniya da 9 m derinlikte toprak çökmesi olmuştur (Poland, 1984).

3. Killi veya organik topraklarda aşırı yüklenme sonucu alt topraklarda çökme oluşur. Kanal banketlerine yığılan topraklar çökme nedeni olabilir.

4. Drenaj koşullarının gelişmesi ile yumuşak sedimentlerin fiziksel olgunlaşması ile büzülme ve çekme olur.

5. Organik maddenin oksidasyonu sonucu toprak parçacıkları kaybolur. Böylece toprak hacminde bir azalma ve sonuçta çökme olur.

6. Yıkama sonucunda mineral bileşikler kaybolabilir. Ancak bu önemsiz düzeydedir.

Tarımsal arazilerde drenaj planlamalarında arazi kullanımı üzerine arazi çökmesinin etkileri olabilir. Arazi ıslah çalışmalarında ise çökme ana faktör olarak görülmelidir. Organik toprakların ıslahı her zaman oksidasyonla sonuçlanır.

Çökmenin miktarı projenin fizibilitesini belirler. Drenaj çökme oranı üzerine doğrudan etkilidir. Örneğin 0.50 m daha derin çayırlardan taneli bitkiye geçiş çökmeyi yılda 6 mm arttıracaktır (Glopper ve Ritzema, 1973).

Çökme toprak koşullarını değiştirir. Yeni drenajı yapılan killi topraklar yumuşaktır ve üzerinde canlı olmaz. Fiziksel olgunlaşma sonucu bu topraklarda yük taşıma kapasiteleri gelişecek ve çalışılan gün sayısı artacaktır. Ancak çekme ve büzülme su tutma kapasitesini azaltacaktır. Bu durum toprakların kuraklığa daha duyarlı hale gelmesine neden olacak ve sulama gerekecektir.

13.7.4 Drenaj ve inşaatlar

Çökme, ıslah edilen alanlarda arazilerin yüksekliklerini değiştirir. Drenaj sistemindeki su düzeyini etkiler. Yerçekimi drenajını olumlu veya olumsuz etkiler. Pompa istasyonlarının kapasitelerinin arttırılması gerekebilir. Çökme, arazi yüzeyini kısa mesafelerde değiştirdiğinden bu durum sulama ve drenaj sistemlerinin düzensizliğine neden olur. Çökmenin doğru kestirilmesinin önemi, Hollanda'da arazi ıslahının ilk yüz yılından sonra çökmenin 0.50-1.50 m arasında değiştiği görülmüştür (Ritzema, 1994).

Düşük yük kapasitesine sahip topraklarda yapılacak inşaatlar kazıklar üzerine oturtulmalıdır. Çökme bu kazıkların düzeyini bile değiştirebilir. Bu bakımdan bu tip alanlar için özel önlemler alınmalıdır.

Çökme miktarını ve düzeyini etkileyen faktörler Segeren ve Smith, (1980) tarafından aşağıdaki gibi bildirilmektedir.

Kil içeriği; sedimentlerdeki su içeriği onların kil içerikleri ile orantılıdır. Onun için killi sedimentler kumlulardan daha fazla su kaybeder. Dolayısıyla killi topraklar daha fazla çeker.

Tabakaların kalınlığı; toprağın değişik katlarından su kaybı derinlikle azalır. Kök sayısı ve su akımı da derinlikle azalır. Daha derin katlar kılcallık nedeniyle nem içeriklerini korurlar. Onun için çekmeden ve pekişmeden ileri gelen çökme derinlikle azalır.

Sıkışabilir kat kalınlığı; sıkışan katların kalınlığının artması daha büyük çökmeye neden olur.

Organik madde içeriği; organik madde artışı su içeriğini arttırır. Yüksek organik madde içeren mineral topraklarda büyük çökmeler ortaya çıkabilir. Bu topraklarda çökme, sadece oksidasyondan ileri gelen organik madde kaybıyla değil, aynı zamanda su kaybından ileri gelir.

Bitki çeşidi; bitkiler farklı su tüketim miktarlarına sahip olduğundan çökme üzerine etkileri de farklıdır. Bunun nedeni bitkilerin kök derinliklerinin farklı olması olabilir. Gelişme dönemi uzunluğu diğer önemli faktördür. Erken ekilen hububatlar yaz ortasında hasat edildiğinden çok yıllık yoncadan daha düşük su tüketimine sahiptirler

Toprak yoğunluğu; farklı gözenekliliğe sahip sedimentlerin çökme düzeyleri de farklıdır. Çünkü onlar farklı miktarda su kaybederler. Çöl ve deniz tabakasındaki topraklar, gel-git etkisinde deniz depozitlerinden daha düşük yaygınlığa sahip olup bunlarla çökme ve pekişme olmaktadır.

Tarla drenaj koşulları; zayıf drenaj koşulları çökmeyi önler, yüksek kapillarite stresi azaltır. Bu durumlarda çekme oranı iyi drenajlı topraklardan daha azdır.

İklim koşulları; kuru koşullar daha fazla su kaybına neden olur. Dolayısıyla çökme oranı daha yüksektir.

Zaman; pekişme ve çekme zamanın bir işlevidir. Çekme fiziksel olgunlaşmanın sonucudur. Çökme oranı zamanla azalır.

13.7.5 Çökmenin hesaplanması

Çökmenin belirlenmesi değişik amaçlar için gerekebilir. Ancak burada drenajla çökme arasındaki ilişkilere bağlı olarak çökmenin belirlenmesine ilişkin iki eşitlik verilmiştir.

Organik topraklarda çökmenin kestirilmesinde derin katlardaki topraklar için toprak mekanik yaklaşımları kullanılır. Oksidasyon ve büzülme-çekme için aynı yöntemler kullanılamaz.

Organik topraklarda çökmenin belirlenmesinde ampirik eşitlikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Segeberg (1960), üst topraktaki çekme-büzülme ve alt topraktaki sıkışmayı içeren bir eşitlik geliştirmiştir.

$$S = \frac{5+(1-\varepsilon)^{-1}}{100} x D_d \, x \, D_i^{0.707} \qquad (13.11)$$

S: Çökme (m)

ε: Başlangıç gözeneklilik

D_d: Drenlerin son derinliği (m)

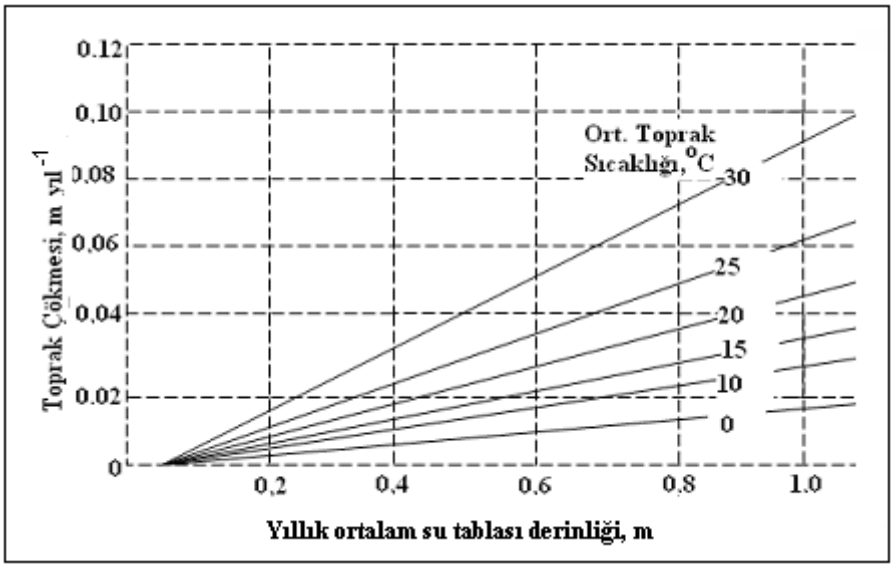
D_t: Organik toprak katının başlangıç kalınlığı (m)

Eşitliğin 3.0 m kalınlıktaki organik topraklar için iyi sonuç verdiği, daha derin topraklarda konsolidasyon teorisi eşitlikleri daha doğru sonuç verdiği için onların kullanılması önerilmektedir. Su tablası altında çekme-büzülme, sıkışma ile kaybı ve su tablası üstünde büzülmeyi veren bu eşitlik, sıcaklığı göz önüne almaz.

Toprak sıcaklığının etkisini Stephens ve Stewart (1977), test ettiler ve her 10^0C'lik sıcaklık artışının oksidasyonu iki katına çıkardığını belirlediler. Bunun üzerine Stephens ve ark., (1984) tarla denemeleri ve laboratuar deneyleri sonunda düşük az engebeli ağaçsız peat topraklar için ortalama bir su tablası derinliği ve 10 cm toprak derinliğinde ortalama bir yıllık sıcaklık için aşağıda verilen eşitliği geliştirdiler.

$$S = \frac{16.9 D_w - 1.04 x 2^{(T-5)/10}}{1000} \qquad (13.12)$$

Eşitlikte; S: Yıllık çökme (m) , Dw: Su tablası derinliği (m), T: 10 cm derinlikte yıllık ortalama sıcaklık (^{o}C)



Şekil 13. 5 Ortalama su tablası derinliği ve sıcaklığa bağlı olara çökme miktarı (Glopper ve Ritzema 1973)

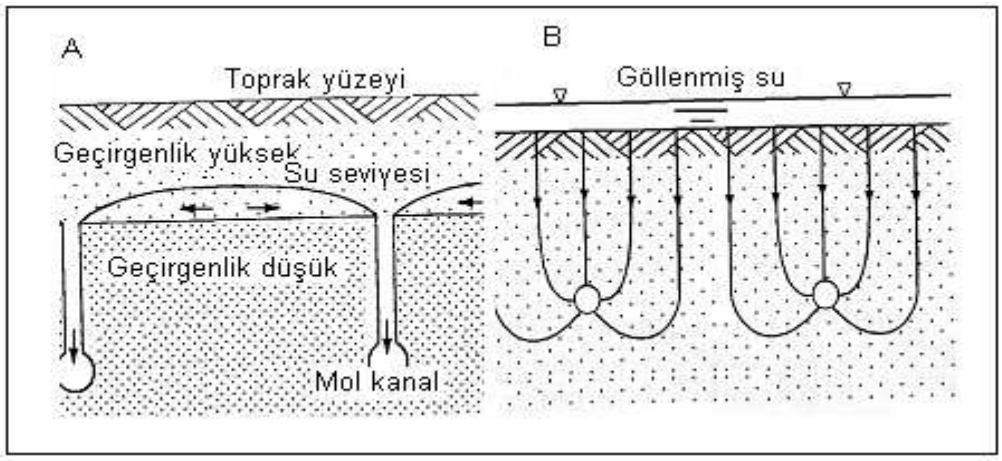
13.8 Mol (Köstebek) Drenaj

Hidrolik iletkenlikleri düşük ($k<0.01$ m gün^{-1}) olan ağır bünyeli topraklarda, taban suyu düzeyini uygun bir derinlikte denetleyebilmek için drenlerin çok sık (2-4 m) aralıklarla geçirilmesi gerekir. Bu koşullarda borulu drenaj sistemleri ekonomik olmaz. Onun için değişik tekniklerin kullanılması gerekir. Bunlardan biri yüzey drenaj, diğeri ise mol/mol drenajdır.

Mol drenler toprak altında dairesel kesitli, kaplanmamış kanallardan oluşur. Bunların en büyük yararı ucuz olmaları ve dolayısıyla ekonomik olarak yakın aralıklarla kolayca döşenebilmeleridir. Mol drenajı sınırlayan en önemli etken ise ömürlerinin kısa olmasıdır. Ancak yapılacak fayda-masraf analizleri ile kısa hizmet sürelerinde bile yararlı olabileceği görülmüştür.

Mol drenaj sisteminin başarısı kabul edilebilir bir dönem için mol kanallarına suyun girişi sırasında yapısının korumasına ve kanalların açık kalmasına bağlıdır.

Mol drenler tünek taban suyunun olduğu alanlarda, tabansuyu sorunu olan çeltik tarlalarında kurulmasının yanında, tuzlu ve sodyumlu toprakların iyileştirilmesi sırasında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

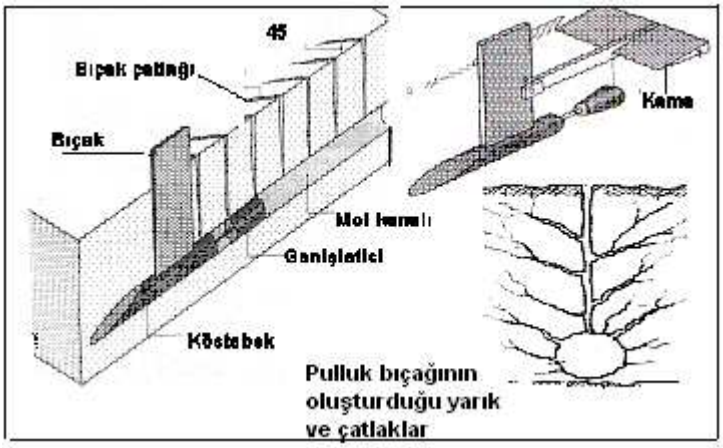


Şekil 13.1 Mol drenlere su akış yolları (ILRI, 1994) A) Tünek taban suyu, B) İyileştirme amaçlı mol drenaj

Mol drenler mol pullukları ile inşa edilirler. Mol pulluğunun toprağı yaran bıçak şeklinde bir bacak ve bunun en alt kısmına bağlı silindirik yapıda toprağı delen bir ayak (mol/mol) ile, bu ayağın arka kısmına bir zincirle bağlı daire kesitli silindir yapısında bir genişleticiden oluşmaktadır. Drenlerin çapı normal olarak 5-10 cm, organik topraklarda 15 cm, döşeme derinlikleri 40-60 cm arasında değişir. Sistemi kurmak için yüksek çeki gücüne sahip traktörler kullanılır. Bunlar yaklaşık saatte 5 km hızla çalışabilir ve günde 5-10 ha alana döşeme yapabilirler.

Mol drenajında, kanalın açılması sırasında, mol pulluğunun ve genişleticinin geçtiği yerlerde topraklar yanlara doğru itilirler. Çekici bıçak ise ilerlerken, toprakta gözenekliliği ve hidrolik iletkenliği artıran yarık ve çatlakların oluşmasını sağlar. Bu yarık ve çatlakların açısı, yatayla yaklaşık 45^0'dir. Eğer bu yarık ve çatlaklar mol kanalı ile birleşirse onun çabuk bozulmasına neden olurlar. Bu bakımdan mol kanalı bu çatlakların altına döşenmelidir. Bu döşeme derinliğine kritik derinlik denmektedir.

Bazen bu yarık ve çatlaklar yeterince oluşmaz. Bu durumda pulluk bıçağının yaklaşık orta kısmına, yüzeyi yere paralel, arkaya doğru kalınlığı artan kanat şeklinde kama adı verilen bir bıçak takılır (Şekil 13. 2a).



Şekil 13.2 Mol dreni en kesiti ve toprakta oluşan çatlaklar a-mol pulluğu, b- kanatlı mol pulluğu, c-mol kanalı ile yarık ve çatlaklar

13.8.1 Mol drenajının uygulanma koşulları

Mol drenlerin yapıları değişik nedenlerle kolayca bozulabilir. Bu bozulma sürecinin hızı mol drenlerin yarayışlı ömürlerini etkiler. Bu drenlerin ömürleri aşağıda sıralanan etkenlerle-yakından ilgilidir:

-Toprağın stabilitesi;

-Drenlerin döşenmesi sırasındaki toprak nem koşulları;

-Drenlerin tesisinde kullanılan yöntemler ve ekipmanlar,

-Dren çapı

-Drenlerin içlerindeki su akış hızları

-Yağış miktarı ve şiddeti

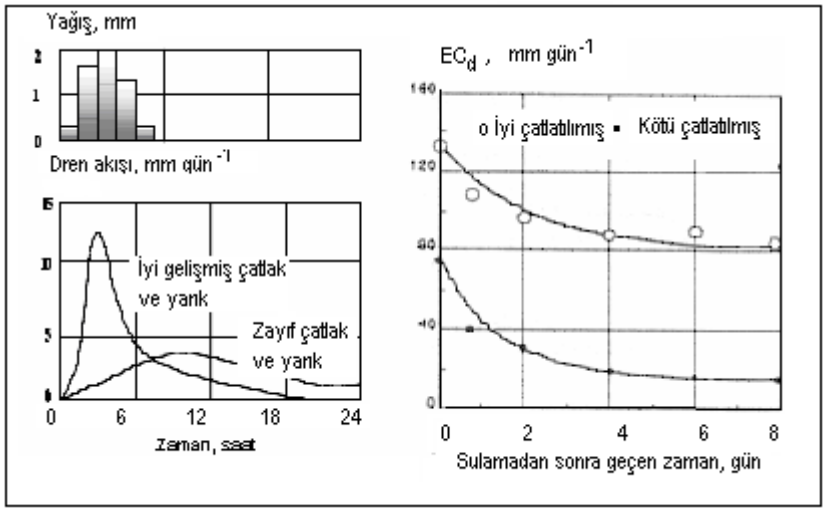
-Drenlerin uzun süre su altında kalma durumları

-Mevsimlik sıcaklık değişiklikleri

-Dren derinliği

Mol drenlerin tesis masraflarının düşük oluşunun sağladığı üstünlük, ömürlerinin kısa olması durumunda fazla bir değer taşımaz. Uygun koşullar altında inşa edildikleri takdirde ortalama 15 yıl kadar işlevi olan bu drenler, elverişsiz koşullarda döşenmeleri halinde kısa bir süre sonra işlev yapamaz duruma gelebilirler. Bu bakımdan bu tip bir sistemin inşasına karar vermeden önce mevcut koşulların dikkatle etüt edilmesi gerekir Uygun koşullar altında inşa edilen mol drenlerin

boşalımı, boru drenlerin iki-üç katına ulaşabilir. Mol drenlerin maliyetlerinin düşük oluşu ve bu işlemin basit ekipmanlarla gerçekleştirilebilmesi yöntemin çekiciliğini artırmaktadır.



Şekil 13.3 Toprakta oluşan çatlakların dren boşalımına etkisi (Cavealars ve ark., 1994)

Her şeyden önce sistemin tesis edileceği alandaki toprakların, içlerinde stabil kanalların oluşturulmasına elverişli nitelikte olması istenir, bu bakımdan ağır bünyeli (örneğin kil, siltli kil ve killi tın gibi) veya lifli bir yapıya sahip organik topraklar yeğlenir. Ayrıca toprakta taş, çakıl veya kum mercekleri gibi mol drenlerin yapılmasını ve ömrünü olumsuz yönde etkileyecek malzeme bulunmamalıdır. Mineral topraklarda drenlerin içerisinde yer alacağı toprak tabakasının kil içeriği % 30'dan az, kum içeriği %20'den çok olmamalıdır.

Toprakların mol drenaj için uygun olup olmadığına karar verebilmek için basit bir test karar vermede yardımcı olabilir. Toprak örneği, 7-8 cm çapında bir topak biçimi verildikten sonra içi su dolu bir kaba yerleştirilir ve, 12-14 saat süreyle kendi haline bırakılır. Bu süre sonunda örnekte herhangi bir bozulma görülmediği takdirde toprağın mol dren tesisine elverişli olduğu kanısına varılır. Toprak örneğinin bozulma derecesi, söz konusu toprakta bu drenaj yönteminin başarı olasılığı hakkında bir fikir verecektir (Gemalmaz 1993).

Organik topraklarda dren hattı boyunca farklı oturmalar nedeniyle mol drenler kısa bir sürede etkinliklerini yitirebilirler. Bununla birlikte bazı pit alanlarda künk drenlerin başarısız olmasına karşılık, mol drenlerden başarılı sonuçlar alınabilmiştir.

Lifli yapıya sahip organik topraklarda su tablası dren düzeyinin aşağısında iken tesis edilen mol drenlerin 5-8 yıllık bir ömre sahip oldukları saptanmıştır.

Drenlerin geçirilmesi sırasında toprağın sahip olması gereken nem durumu özel bir önem taşır. Döşeme sırasında öncelikle;

-Toprak yüzeyi, pulluğu çeken makinayı taşıyacak düzeyde kuru olmalıdır. Daha nemli alt toprağın, düzgün biçimli, çeperlerinde aşırı çatlaklar ve sıvanma bulunmayan bir mol dreni oluşturmaya elverişli ölçüde nemli olması gerekir. Bu plastik limite yakın bir nem düzeyidir. Daha kuru koşullarda döşeme halinde yarık ve çatlaklar hızlı bir şekilde birleşirler.

-Üst toprak tabakaları bıçağın açtığı yarık boyunca çatlakların oluşmasına olanak verecek kadar kuru olmalıdır. Aşırı toprak nemi kanal çeperinin sıvanarak tıkanmasına ve istenen çatlakların oluşmamasına neden olur; çok kuru toprakta aşırı çatlamalar dolayısıyla kısa sürede göçmeye yatkın çeperlerin ortaya çıkması sonucunu doğurur. Mol drenlerin en uygun döşeme zamanı hasattan hemen sonra üst toprağın kuru olduğu dönemdir (Gemalmaz, 1993).

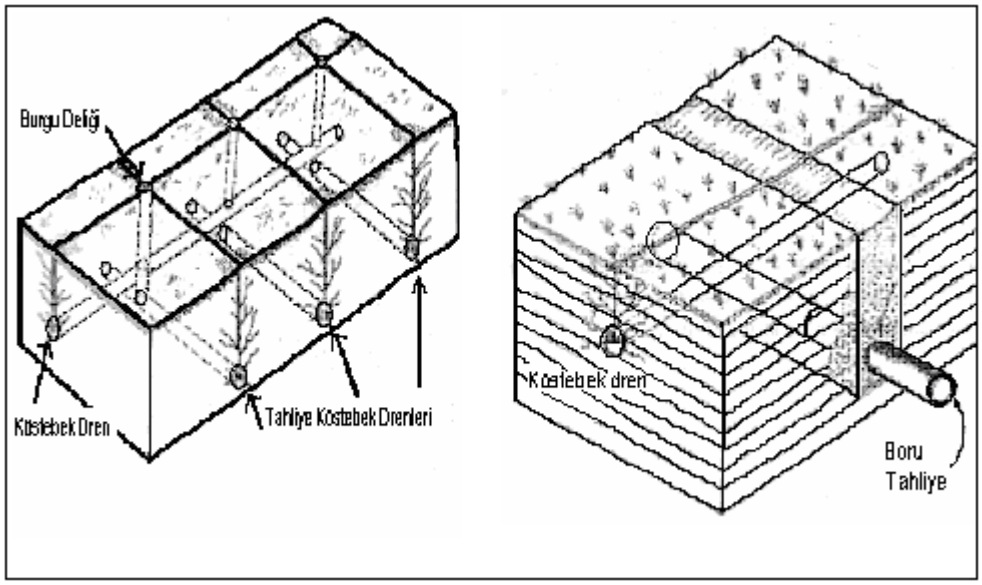
-Mol drenler mevsimlik donma-çözülme ile aşırı kuruma ile karşılaşmayacağı ve normal tarım alet ve makinalarının oluşturacağı basınçtan etkilenmeyeceği bir derinliğe döşenmelidir.

13.8.2 Mol drenlerin planlama esasları

Mol drenlerin derinlik ve aralıkları için genellikle herhangi bir hesaplama yapılmaz. Ucuz olan tesis masrafı bu amaçla bir etüt yapılmasını gereksiz kılmakta ve genellikle çok dar aralık değerleri seçilir. Bazı ülkelerde 15 m'ye ulaşan dren arlıkları olmakla beraber, uygulamada yaygın olarak kullanılan aralıklar 2-4 m arasında değişir. Dren derinliği ise, derinlik arttıkça çatlaklar, yarıklar artar. Ancak artan derinlikle beraber enerji masrafı da artar. Örneğin 60 cm derinlik için 30 BG, 90 cm derinlik için 70 BG'lik bir çeki gücüne gerek vardır. Derinlikler 40 cm den az olmamalıdır. Bazı ülkelerde 70-90 cm 'ye varan uygulamalar olmasına karşın, yaygın olarak uygulanan derinlikler 45-65 cm arasında değişir (Gemalmaz, 1993).

Mol pulluklarını çeken makinelerin çoğu yalnızca tarla yüzeyine paralel dren açabilmesine karşın, arzu edilen eğim, arazi yüzeyinin eğimi göz önünde

bulundurularak, çekim doğrultusunun eşdüzey eğrileriyle belli bir açı yapacak biçimde ayarlanmasıyla sağlanabilir.



Şekil 13.4 Mol drenler için tahliye seçenekleri

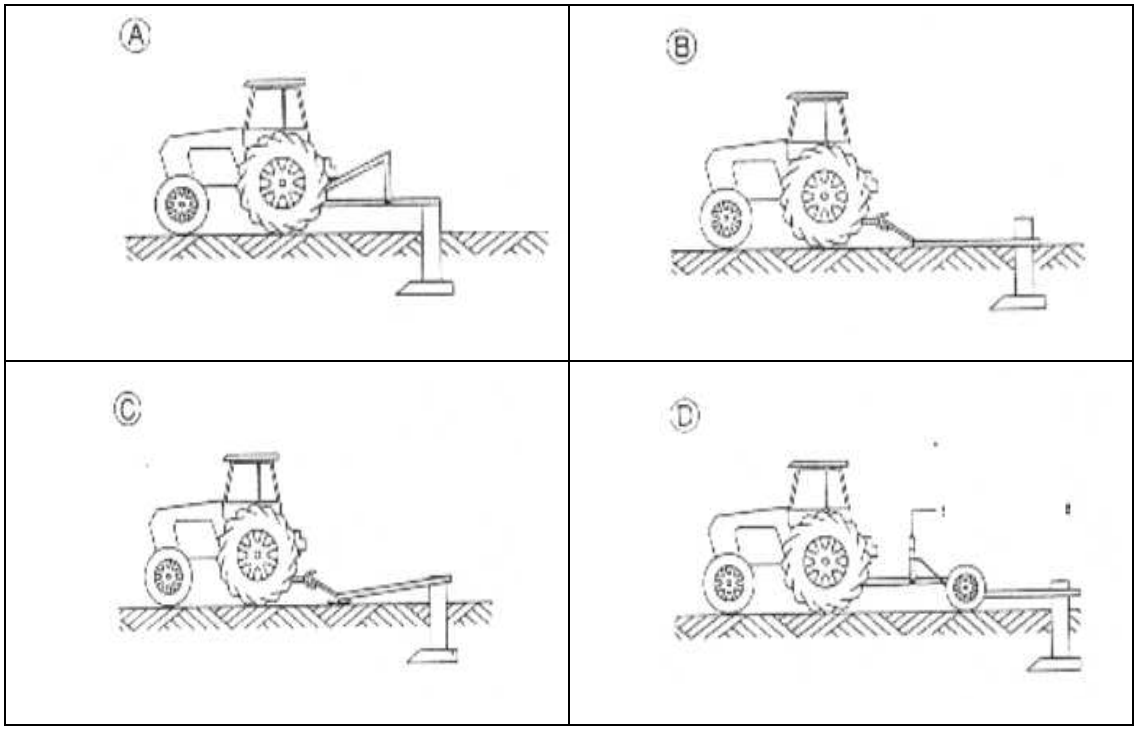
13.8.3 Mol drenaj sistemlerinin projelenmesi ve inşası

Mol drenlerin toplayıcıya doğru sürekli bir eğime sahip olmaları gerekir. Bu bakımdan arazi topoğrafyasının dren eğiminde değişmelerin ortaya çıkmasına neden olacak düzensizlikler göstermemesi istenir. Daha önce arazi düzeltimi yapılmış arazilerde bu gibi sorunlarla karşılaşılmaz. Ayrıca eğimsiz düz araziler de mol drenajına elverişli değildir; çünkü böyle durumlarda drenlere eğim vermek sorun olur. Elde bulunan makina ve ekipmanların çoğu bu işi başaramaz.

Mol drenler için boşaltım noktası mevcut koşullar dikkatle incelenerek en iyi seçenek saptanmalıdır. Çıkış noktası serbest ve sürekli bir boşalımı sağlayacak derinlik ve kapasiteye sahip olmalıdır. Drenler içerisindeki akışın aksaması, ya da drenlerin uzun süre suyla dolu kalmaları çeperlerin yumuşayıp gevşemesine ve sonuçta da göçmelere neden olur. Mol drenler için boşaltım noktası olarak açık hendekler, üstleri örtülü dren boruları veya daha derinden çekilmiş mol drenler olabilir. Bunların içinde en iyisi mol drenlerin dren hendeğine bağlanmasıdır. Böylece geniş tarlalarda daha kısa dren uzunluğu sağlanmış olur.

Önce yüzeyaltı drenaj sistemi döşenir, daha sonra mol/mol drenler bu dren hendeklerine dik olarak çekilirler. Bazı durumlarda dren hendekleri kum-çakıl materyalle doldurularak daha iyi hidrolik koşullar yaratılır. Geri doldurma malzemesinin kum çakıl olması geçirgenliği artırıp, yük kayıplarını en aza indirerek sistemin etkinliğini artırır.

Mol drenlerde suyun birikmesi ve kanal içinde uzun süre kalması kanal duvarlarını zayıflatır. Diğer taraftan hızlı akması da erozyona neden olur. Bu bakımdan kanalların eğimi ve bu eğimin sürekliliği önemlidir. Bazı mol pullukları arazi yüzeyindeki eğime paralel kanallar açabilmektedir. Bu durumda arazi yüzeyindeki eğim değişikleri kanallara da yansıdığı için kanal boyunca yükseklikler ve çukurluklar olacağından, bunların içinde su birikerek uzun süre kamasına ve kanalların bozulmasına, yıkılmasına neden olabilir. Anılan bu durumu önlemek için mol döşeme öncesi arazinin tesviye edilmesi gerekir.



Şekil 13.5. Mol drenaj döşenmesinde kullanılan pulluklar

Mol drenajda yaygın olarak uygulanan eğimler %0.2-3.0 arasında değişir. Eğimin %1'den küçük oluşu suyun daha uzun süre kalmasına neden olur. Eğimin %7-8'den fazla olması durumunda artan su akış hızları, erozyona, oyulmalara ve

sonuçta tıkanmalara neden olur. Bu bakımdan % 3-4'ten yüksek eğimlerden de kaçınmak gerekir. En uygun eğimin % 1-2 olduğu söylenebilir.

Drenlerin uzunlukları tarlanın boyutlarına ve boşaltım olanaklarına bağlıdır. Ancak uzunluk arttıkça daha kısa sürede bozulmalar olmaktadır. Mol drenlerin uzunlukları 200 m'ye kadar çıkmakla beraber, uygulamada yaygın olarak 20-80 m uzunluklara rastlanmaktadır. Dren eğiminin % 2-4 olması durumunda dren uzunluğu 100-120 m'yi, %1 ve daha küçük eğimler için 75 m'yi aşmamalıdır. Ancak uygun aralıklı boşaltıcı drenlerin olması ve %0.5-1 eğimle döşenen mol drenlerin, uygun topoğrafik koşullarda 600 m'ye kadar çekildiğine rastlanmaktadır.



Şekil 13.6 Arazide mol drenaj döşenmesi ve kumçakıl materyalle doldurulması

Mol drenlerin inşasında dört tip pulluk kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi pulluk bıçağı tekerlekleri arasındaki aksa, ikincisi arazi yüzeyine temas eden çekme

koluna bağlanmış tipler olup, bunların her ikisinde de köstebeğin toprak içinde izlediği yol arazi yüzeyine paraleldir. Çekme okuna bağlı olan pullukla diğerine göre daha düzgün eğimli dren döşemek olanaklıdır. Üçüncü grupta pulluklar bir çekiciye bağlanmıştır. Pulluk derinliğini hidrolik bir sistem denetlemektedir.

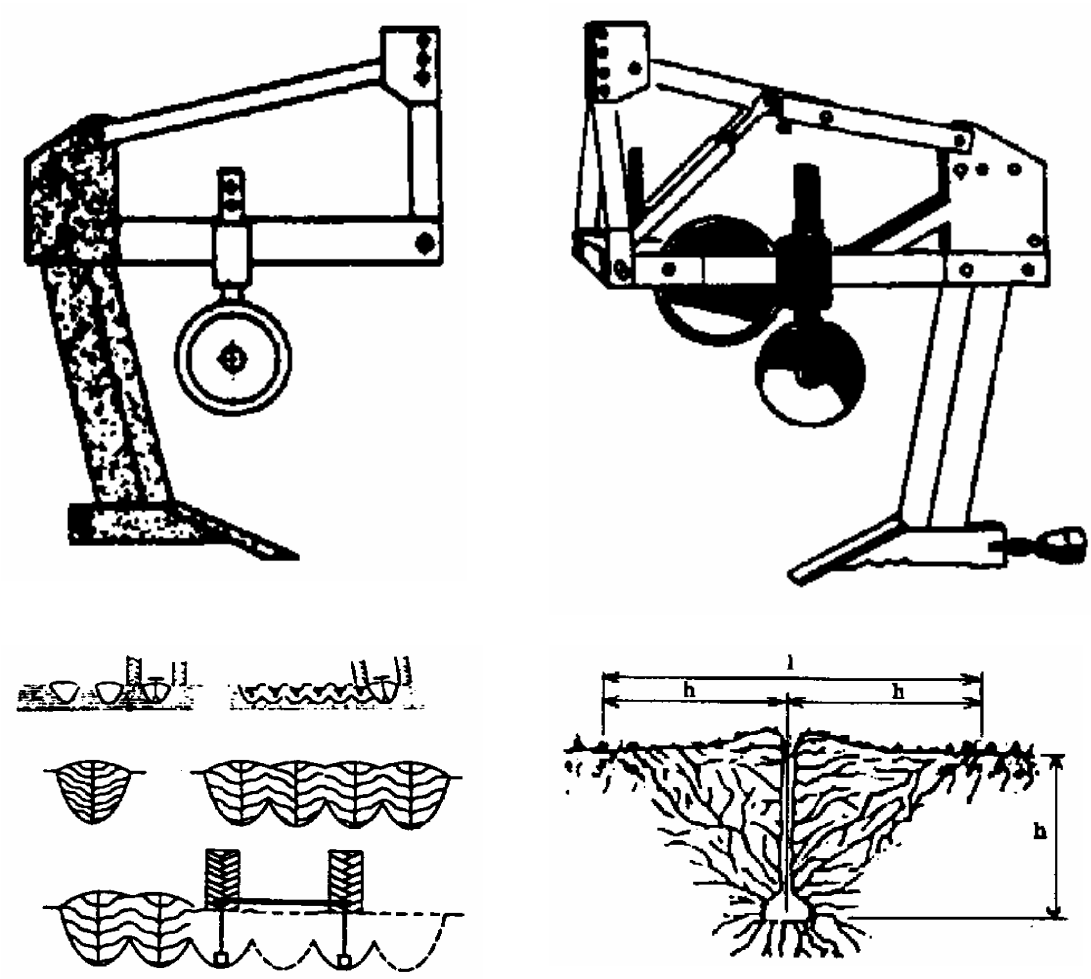
Değişk mol pullukları ve arazide mol döşeme işlemleri Şekil 13. 6 da görülmektedir.

13.8.4 Tamamlayıcı drenaj önlemler

Bazı durumlarda toprağın belli bir derinliğinde veya katındaki geçirimsizlik nedeniyle toprak altında veya yüzeyinde su uzun süre kalarak bitkilere zarar verebilir. Bu durularda toprak çatlatılması ve derin sürüm ve kumlama, organik madde karıştırma gibi önlemlerle sorun çözülmeye çalışılır.

13.8.4.1 Toprakaltı çatlatılması

Mol kanalları stabil bir yapıya sahiptir. Ancak bazı durumlarda sıkışan üst toprak 60-80 cm derinliğinde 75-100 cm aralıklarla derince sürülür. Böylece toprak yüzeyinde su birikimi önlenir. Bazı durumlarda uzun süre aynı derinlikte işlenen topraklarda pulluk tabanı adı verilen sert bir kat oluşabilir. Böyle geçirimliliği düşük bir duruma gelen kat daha yüzlek bir alt toprak sürümü ile parçalanarak geçirgenlik sağlanmış olur. Bu gibi durumlarda 50 cm aralıklı işleme yapabilen pulluklar kullanılır.



Şekil 13.6 Mol pulluğu ve dipkazan

Alt toprak sürümü, yer yer kum tabakaları bulunan ağır killi topraklarda mol kanalları yerine kullanılabilir. Alt toprak sürümünün etkili olması için çalışma derinliğinin kritik derinlikten az olması gerekir. Bu derinlik bıçağın genişliğinin çalışma derinliğine oranına bağlıdır.

Bıçağın kalınlığı toprağı 25-30^{o}'den az olmayacak şekilde kabartacak kalınlıkta olmalıdır. Bıçak inceldikçe güç gereksinimi azalmasına karşın toprağı gevşetmesi daha olacaktır. Yeterince toprak gevşetme olabilmesi için çizelin tabanına kanat takılmaktadır. Ancak bu durumda güç gereksinimi artmaktadır.

Yüzeyaltı tarla drenajı olmadığı durumlarda alt toprak sürülmesiyle kabaran toprak kısmında suların birikmesiyle göllenmeye neden olmaktadır. Onun için öncelikle düşey yönde su akışı sağlanmalıdır. Yüzeyaltı drenaj boru hatlarına dik

olarak yapılan toprak çatlatılması etkili olabilir. Derin sürüm ve toprak altı sürüm veya çatlatma işlemi beraberce yapılarak etkinliği artırılır.

Geçirimliliği düşük olan topraklarda organik madde ve ıslah maddeleri derin sürüm ve çatlatma ile beraber kullanılarak etkilikleri artırılabilir. Killi topraklarda organik madde ve kireç uygulaması bu toprakların strüktürünü gelişmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca sodyumlu toprakların yapısı jips uygulanılarak geliştirilebilir. Diğer taraftan organik maddece zengin kireçli toprakları sıkışmaya karşı daha dirençli olduğu bilinmektedir. Bütün bunlar toprakları su geçirgenliği ve infiltrasyon özelliklerinin gelişmesini sağlar.

Dip karıştırıcı aletlerin (dipkazan) diğer yararları aşağıda sıralanmıştır.
Özellikle toprak altında oluşan sert tabakanın kırılmasına yarayan aletlerdir. Dip kazanla toprak altı sertliğinin giderilmesi su yararları sağlar:
* Köklerin gelişmesi sağlanır.
* Toprak strüktürü iyileşir. Toprak altı gübrelenmesi yapılırsa kökler 60-80 cm'e kadar ulaşır.
* Dipkazanın toprağı gevşetmesiyle bitkinin gelişme alanı artar. Büyüme iyileşir, verim artar.
* Toprak sertliğinin kırılması ile drenaj iyileşir. Toprak altına suyun islenmesi sağlanır.
* Toprakta taban sertliğinin oluşması ile yağışlı mevsimlerde su yüzeyde birikir. Toprak altına geçemez.
* Kurak mevsimlerde taban sertliginden dolayı toprak altında var olan nem yukarı ulaşamaz, toprak çatlar.
Dipkazanlar isleyici organlarına göre ikiye ayrılır.

1. Sabit işleyici organa sahip olanlar

Bu dipkazanlar bir çatıya sabit olarak bağlanmış ve 1-4 adet isleyici organa sahip olup is derinlikleri 40-60 cm arasında değişir. Kabartma işlemi dipkazanın uç demiri ile doğru orantılıdır. Daha fazla alan kabartılmak isteniyorsa uç demiri değiştirilmelidir. Dipkazanın is derinliği ile is genişliği arasında bir ilgi vardır. Dipkazan is derinliğinin iki katı büyüklüğünde bir alanı kabartır. Dipkazan

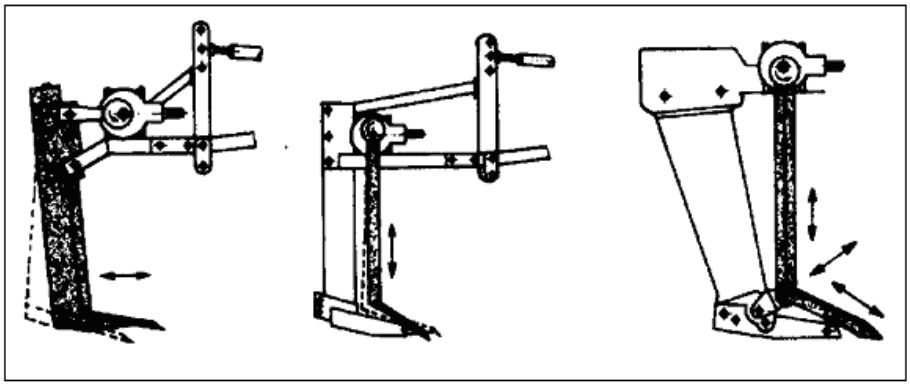
kullanılırken en önemli nokta toprağın kuru olduğu zaman dip kazanla çalışma yapılmasıdır.

Eğer toprak yas iken dipkazan çekilirse toprağa yalnız bir çizi açılır. Kabartma olmaz. Dipkazanla çalışırken açılan çizileri (kabartılan toprağı) tekrar çiğnememek için birer is genişliği atlayarak çalışılmalı veyahut çok gövdeli dipkazanlar kullanılmalıdır.

Dipkazanlardan moldren olarak faydalanılmak istenirse isleyici organın arkasına torpil takılır. Bu torpil ile toprakta drenaj boruları olusur. Böylece fazla su tahliye edildigi gibi ana drenaj hatlarına dik çekilirse fazla su tahliyesine de yardımcı olur. Bunun yanında toprak altını gübrelemek için gübreleme düzenli dipkazanlar da mevcuttur.

2. Titresimli _işleyici organa sahip olanlar

Titreşimli dipkazanlar hareketlerini traktör kuyruk milinden alan tiplerdir. Bu dipkazanlar sayesinde toprak daha iyi gevşetilir ve kabartılır. İşleyici organları çeşitli yöne hareket eden tipleri vardır. Daha derin isleme yaptıkları için (80-100 cm arasında) daha fazla güce ihtiyaç duyarlar. Ancak kuyruk mili gücünden faydalanıldığı için daha az çeki gücü ihtiyacı gerektirirler



Şekil 13.7 Titresimli isleyici organa sahip dipkazan

13.8.4.2 Mol drenaj araştırmaları

Mol drenaj sisteminin performansı ve sistemin döşenme ekipmanların özelliklerinin belirlenmesi gelecek için bir avantaj sağlayabilir. Sistemin boşalım özellikleri gözlem ve ölçmelerle belirlenebilir.

Yarık ve çatlakların gelişimi ile bunların bir şekilde bozulma ve kapanmasının inşaat zamanı ile ilişkisi kanalların gözlenmesi ile belirlenebilir. Gözleme ve izleme işlemi kanalların kazılarak açılması ile yapılabilir. Ancak bu durumda kanallar yıkılı bozulabilir. Bu bakımdan sistemin etkinliğini belirlemek için diğer bazı yöntemler kullanılabilir. Bunlardan biri mol kanallarının içine sokulan bir endoskopi cihazı ile kanallarda bozulma düzeyi belirlenebilir. Bu tür gözlemler için 10 mm çaplı plastik borular kullanılabilir.

Mol drenaj sisteminin etkinliğinin değerlendirilmesi akış hidrograflarının incelenmesiyle belirlenebilir. İyi gelişmiş yarık ve çatlaklara sahip mol drenaj sistemi pik hidrograflar geliştirir. Akış hidrografların düz olması yarık ve çatlakların zayıflığını ve kanalarda bir bozulma olduğunu gösterir. Hidrografın istene biçimi ise mol sistemi ile gerekli su akış yollarına bağlıdır.

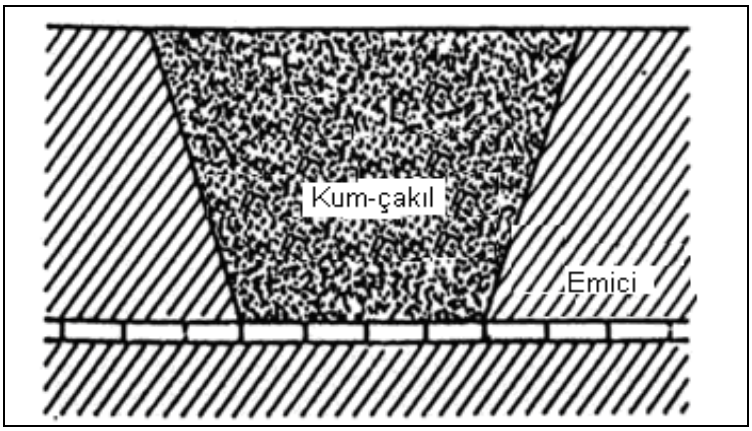
14. DRENAJ YAPILARI ve MALZEMELERİ

14.1 Drenaj Yapıları

Drenaj sisteminin inşa edilmesi sırasında yapılacak yapılar, sistemin tipine göre değişmekle beraber, yine de belli sayıda yapıdan söz edilebilir. Açık kanallardan oluşan bir drenaj sistemi toprak kanallar ve köprüler, alt ve üst geçitler, çok ender de olsa tüneller ve pompa istasyonları gibi yapılardan oluşur. Yüzeyaltı drenaj sistemleri ise emici ve toplayıcı drenlerin açık kanallara bağlantı veya çıkış yapıları, drenlere su giriş yapıları, silt bacaları, kontrol bacaları veya hava bacaları, bağlantı kutuları ve eğim kırıcı bacalar gibi yapılardan oluşurlar.

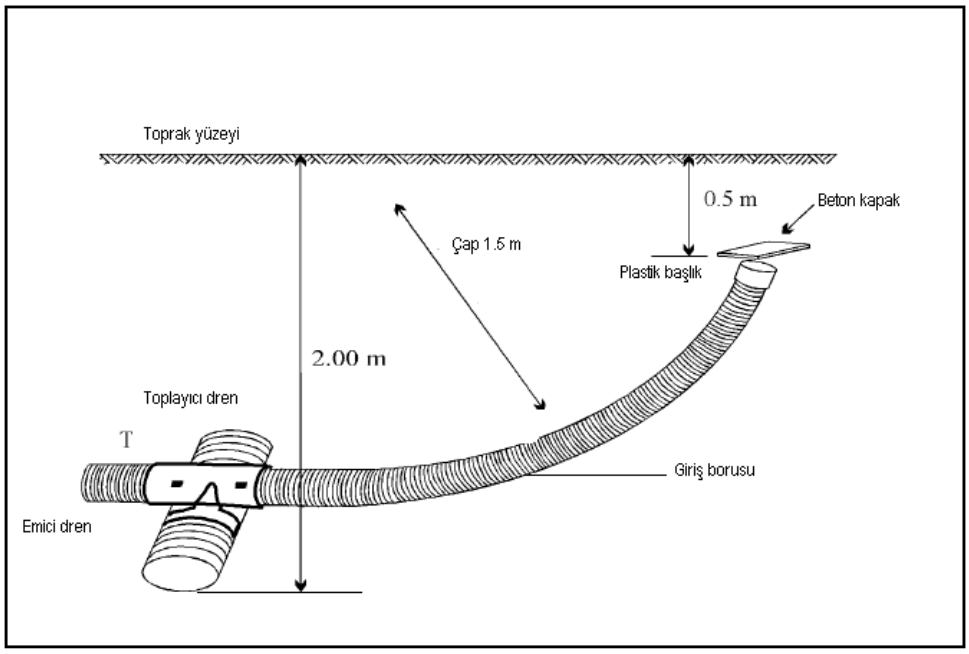
Sayılan bu yapılar sistemin etkinliğini artırmak, ömrünü uzatmak ve sistemin bakımında kolaylık sağlamak amacıyla yapılarlar.

Şekil 14.1'de emici boru drenine, yüzey sularının siltasyonu önleme amaçlı, kör giriş yapısının kesiti görülmektedir. Anılan şekilde görüldüğü gibi emici drenle toprak yüzeyi arasına yerleştirilen kum çakıl materyal borulara silt girişini önleyerek sistemin siltasyonla tıkanmasını önleyerek uzun süre güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır.



Şekil 14.1 Bir boru drenine yüzey su girişi sağlayan kör giriş yapısı

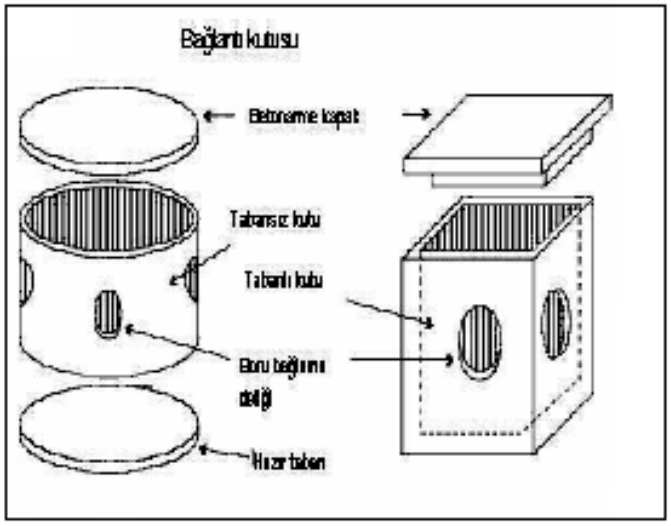
Emici drenin toplayıcı drene bağlantı şekillerinden biri 14.2'de görülmektedir. Bu şekilde bağlantılar daha kolay ve ucuz bir bağlantı şekli olup, emici dren üstte toplayıcı deren onun altında olmak üzere bir bağlantı parçasıyla birleştirilmektedir. Emici drenin giriş noktası kör tıpa veya bir beton kapakla kapatılarak boru içine silt ve toprak girişi önlenmektedir. Bu tür bağlantılarda silt birikimi için herhangi bir yer olmaması bu bağlantıların olumsuz yanları olarak görülebilir.



Şekil 14. 2 Emici drenin toplayıcı drene bağlantısı

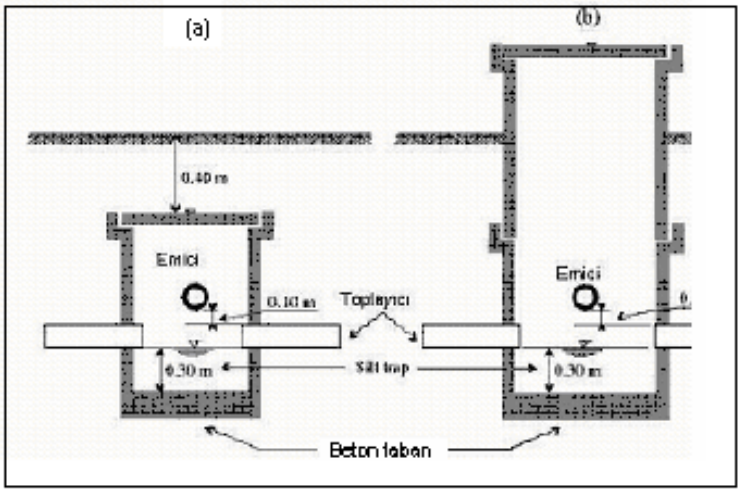
14.1.1 Bağlantı kutuları

Drenaj sistemlerinde bağlantı kutuları değişik şekillerde olmaktadırlar. Bunların bazılarında dren düzeyi altında silt birikmesine yarayan boşluklar bırakılarak silt birikmesine izin verilmektedir. Bağlantı kutuları dairesel veya dikdörtgen kesitli olabilirler (Şekil 14.3).



Şekil 14.3 Silindir ve dikdörtgen bağlantı kutusu görünümü

Bağlantı kutuları küçük çaplı emicilerin daha büyük çaptaki toplayıcılara birleştiği noktalarda kare veya dairesel kesitli beton tuğla veya briketten yapılan yapılardır. Boyutları sistem kapasitesine göre değişmekle beraber minimum genişlikleri Şekil 14.4a ve b'de görülmektedir. Bu tür bağlantı kutuları hazır beton yapılar olarak hazırlanmaktadır. Bağlantı kutuları toprak yüzeyinden 30 cm yukarıda veya toprak yüzeyinden en az 45 cm aşağıda olmak üzere inşa edilirler. Üzerleri açılıp kapanabilir betonarme bir beton kapakla kapatılırlar.

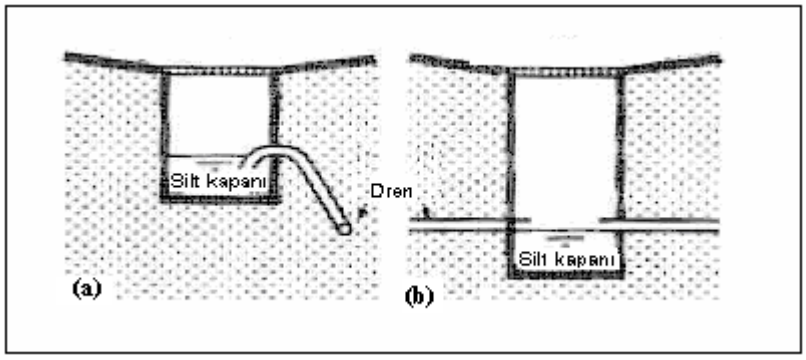


Şekil 14.4 Bağlantı kutusu en kesiti A-kapak toprak yüzeyinde, B-toprak altında

14.1.2 Silt bacaları

Eğimin düşük olduğu silt ve ince kumlu alanlarda borularda silt birikimini önlemek için inşa edilen bacalardır. Silt bacalarının tabanları boru hattının 60 cm kadar altına gelecek şekilde yapılarak siltin tabanda birikmesi sağlanır. Bacanın üst kısmı ise toprak yüzeyinde veya pulluk derinliğinin altında görünmeyecek şekilde toprakla kapalı olabilir. Baca tabanında biriken sedimentin belirli aralıklarla temizlenmesi gerekir (Şekil 14.5a, b).

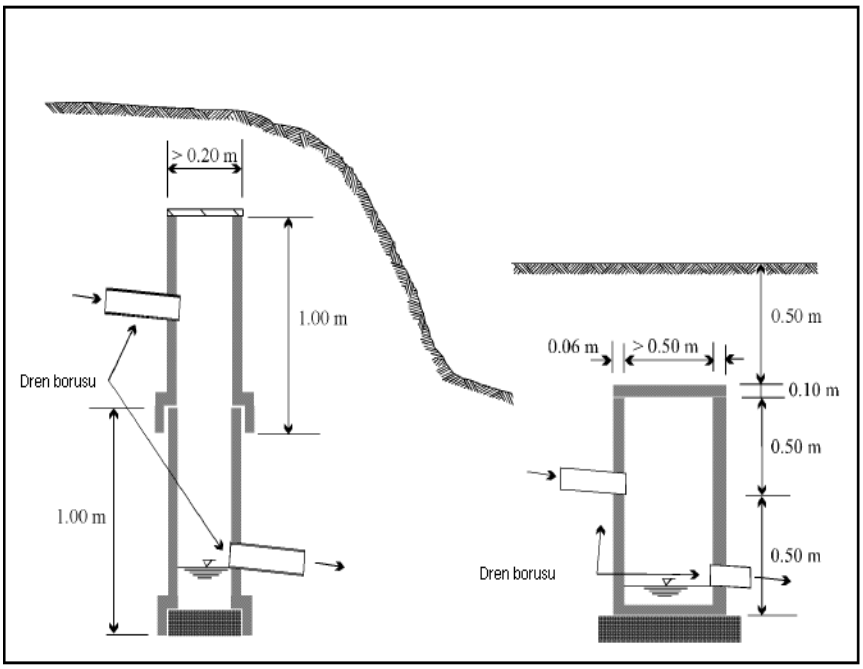
Açık girişlerin dren borularının sonlarına yapılması yeğlenir. Bunda amaç boruların siltasyon nedeniyle dolma olasılığını azaltmaktır. Bu yapılar toprak yüzeyine kadar çıkıyorlarsa demir ızgara ile korunurlar. Bu yapıların tabanında her zaman bir silt biriktirme bölümü bulunmalı ve bunların düzenli olarak denetlenip temizlenmesi gerekir. Yüksek siltasyon sorunu ile çok yaygın olarak kullanılmazlar. Yüzey suları daha çok açık drenaj sistemine boşaltılır.



Şekil 14.5 Yüzey suyu girişi sağlayan yapılar a- dren hattı yanında, b-dren hattı üzerinde

14.1.3 Eğim kırıcı bacalar

Eğimli arazilerde boru taban eğiminin düzgün bir şekilde eğimde sürdürülebilmesi için eğim kırıcı bacalara gerek duyulur. Eğimin fazla olduğu yerlerde veya düşük olduğu yerlerde bacaların buna göre tasarımlanmasına gerek vardır. Bunlar bir beton büzün dikey olarak beton bir yatak üzerine yerleştirilip boru giriş ve çıkışların Şekil 14.6'daki gibi yapılması gerekir.



Şekil 14.6 Eğim kırıcı baca

14.1.4 Tabansuyu düzeyi denetleme yapıları

Yüzeyaltı drenaj sistemi kurulu alanlarda, çeltik gibi fazla su tüketen bitkilerin yetiştirildiği iyi kaliteli taban suyu olan alanlarda özellikle yaz dönemlerinde su düzeyinin fazla derinlere düşmesi su gereksinimini aşırı düzeyde artırabilir.

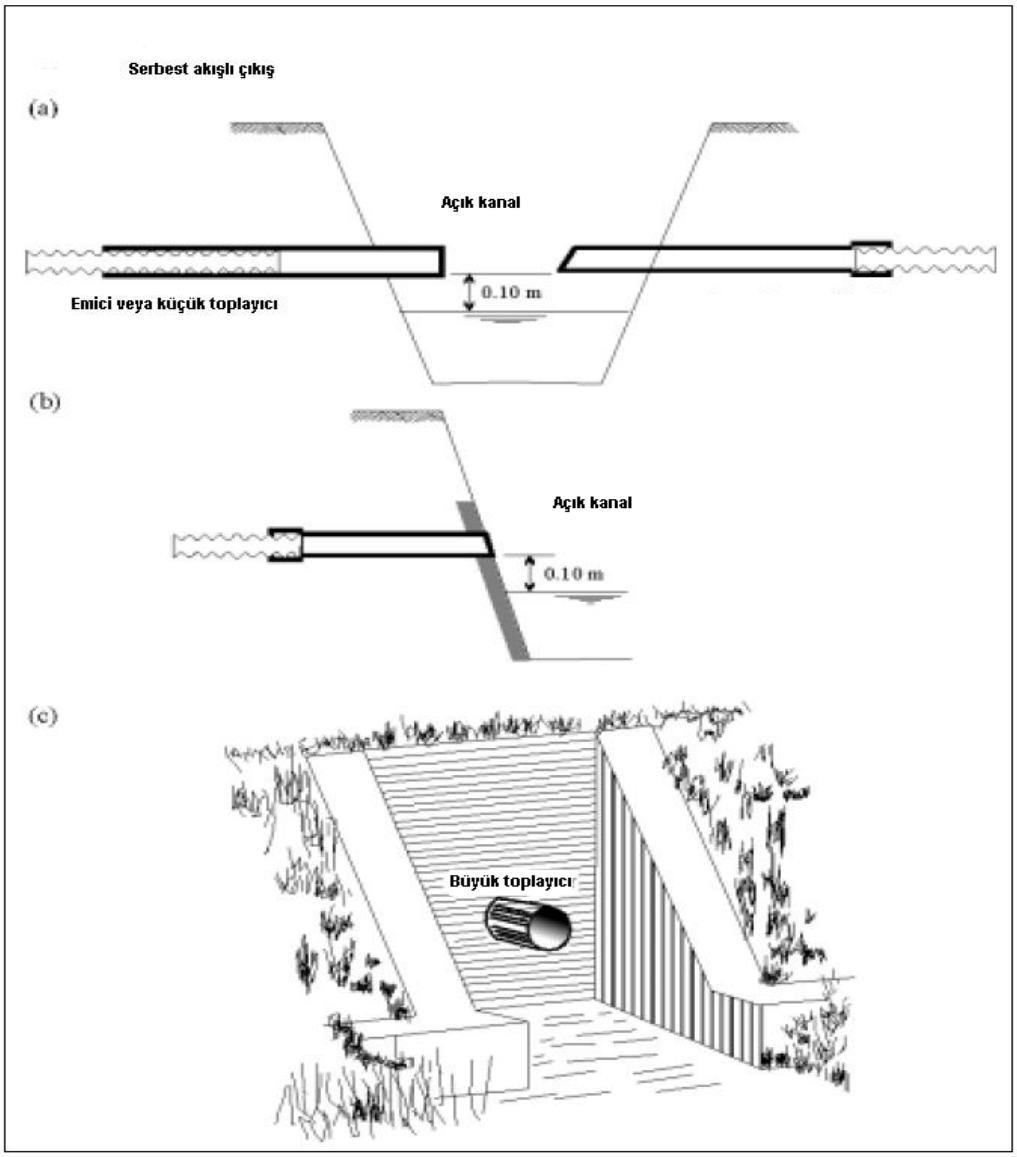




Şekil 14.17Emici ve toplayıcı çıkış yapıları

Belirtilen özelliklere sahip alanlarda toplayıcı çıkışlarına yakın bir noktada su çıkış düzeyini dolayısıyla taban suyu düzeyini denetlemek amacıyla yapılan yapılardır. Değişik şekillerde tasarımlanabilen bu yapılardan en ümit verici olanı

Şekil 14.7'a ve b'de üstten görünüşü ve dikey kesiti görülen yapıdır.



Şekil 14.7 Tekil dren borusunun açık kanala bağlantısı, a-Beton çıkış yapısı b-kanala doğrudan bağlanan boru, c- hazır boşaltım borusu d- madenden yapılmış çıkış borusu,

Bu bir bağlantı kutusu (manhole) içine yerleştirilen beton künkün ana toplayıcıya açılan deliklerin tıkanarak suyun bu künkün üst kısmından toplayıcıya akması sağlanmaktadır. Ancak bu yapıların çok özeli bir şekilde denetlenerek bakımlarını yapılması gerekir (Cavealars, 1994).

14.1.5 Çıkış yapıları

Borulu drenaj sistemlerinde emici drenler kapalı bir toplayıcı drene veya açık drenaj kanalına bağlanırlar. Kapalı toplayıcı hatlar da sonunda yine açık bir drenaj kanalına bağlanırlar. Emici drenlerin veya toplayıcı drenlerin açık kanala bağlandığı noktalar doğal ya da yapay etkilerle zamanla bozulabilirler. Böylece sistemin etkinliği azalabilir veya sitem çalışmayabilir.

Toplayıcının veya tekil bir emici drenin açık drenaj kanalına bağlandığı yerlerde Şekil 14.7a'daki gibi beton bir çıkış yapısı yapılması uygun olur. Ama bunlar sistemin maliyetini artırıcı unsurlar olduğundan bazen emici drenler Şekil 14.7b'deki gibi açık drenaj kanalına doğrudan bağlanabilirler. Ancak burada her iki şekilde de görüldüğü gibi çıkış yapıları veya borunun çıkış seviyesi kanal su düzeyinden serbest akış sağlayacak kadar yüksek olmalıdır

Şekil 14.7c'de ise yüzey akışın olmadığı açık kanallarda boru çıkışı 3-6 m uzunluğunda metal bir boru ile daha sağlam bir hale getirilmiştir. Çıkış ağızlarına bazen bir kapak takılır. Bunun nedeni kemirici hayvanların boru içine girmesini önlemektir. Son yıllarda plastik boru çıkışlarına hazır tahliye boruları takılmaktadır (Şekil 14.7d)

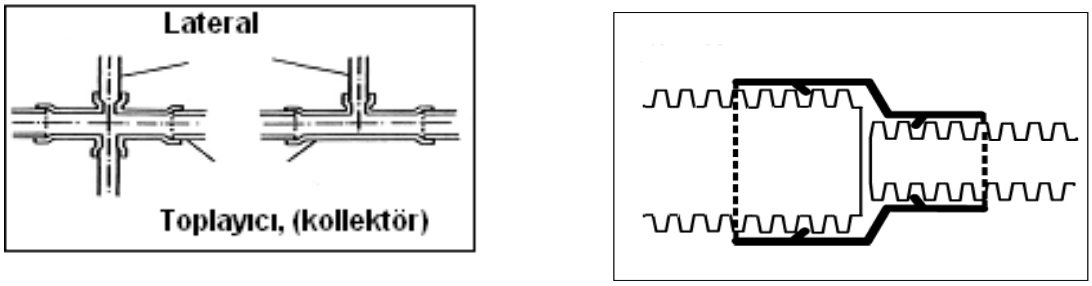


Şekil 14.8 Plastik dren borusu ve bağlantı partçası

14.2 Boru Bağlantıları

Bağlantılar genel olarak iki şekilde yapılır. Bunlardan biri kör bağlantı şeklinde, diğeri ise manhollerle yapılandır. Kör bağlantılarda emici dren toplayıcı boruya doğrudan bir T parçası ile bağlanır. Şekil 14.4'te emici ve toplayıcıların

bağlantı parçaları görülmektedir. Anılan şekilde görüldüğü gibi emiciler toplayıcılara tek veya çift taraflı olarak bağlanabilmektedir. Ayrıca bağlantı parçaları sadece dik olarak değil aynı zaman değişik açılarda da bağlanabilmekte, dolayısıyla bu duruma uygun parçalar üretilmektedir.



Şekil 14.9 Plastik dren borularının bağlantı parçaları ve çap değişimi bağlantısı

Şekil 14.9'da boru çapı değişimi olması halindeki bağlantı parçası görülmektedir.

Borular değişik şekillerde birbirine bağlanmaktadır. Bunlara ilişkin şekiller içten açılıp kapanan ve dıştan açılıp kanan bağlantı parçalarına ilişkin kesitler şekil 14.10a ve b'de görülmektedir.

Boru bağlantılarının değişik şekilleri Şekil 14.7'de gösterilmiştir. Bunlar a-çapraz bağlantı parçası, T-parçası, Y-parçası, b-çok boyutlu bağlantı parçaları, c-klip bağlantı şeklindeki dirsekli veya T-bağlantı parçası, şeklinde olabilmektedirler.

14.3 Drenaj Denetim Elemanları veya Yapıları

Özellikle sulama etkinliğini artırmak için geliştirilen kontrollü drenaj sistemlerinde bu yapılar giderek daha yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Çıkışlarında denetim yapıları olmayan yatay yüzeyaltı drenaj sistemlerinde, herhangi bir yönetim işlevi söz konusu olmamaktadır.

Drenaj denetim yapıları özellikle çeltik yetiştirilen bölgelerde drenaj sistemi ile su kaybını çok önemli ölçüde azaltmaktadır. Son zamanlarda, bu uygulamanın diğer ürünlerde de uygulanmasını önemli düzeyde su kazanımı sağlayabileceği düşüncesi giderek yaygınlaşmaktadır.

Denetim yapılarını en basit şekli toplayıcı çıkışının kör bir boru parçası ile tıkanmasıdır. Denetim yapıları açık kanalar üzerine inşa edilen savaklar veya

toplayıcı çıkışına inşa edilen yükseltici bir boru şeklinde de olabilmektedir. Drenaj denetim yapılarının değişik şekillerine ilişkin seçeneklerin kesitleri Şekil 14.8'de görülmektedir.

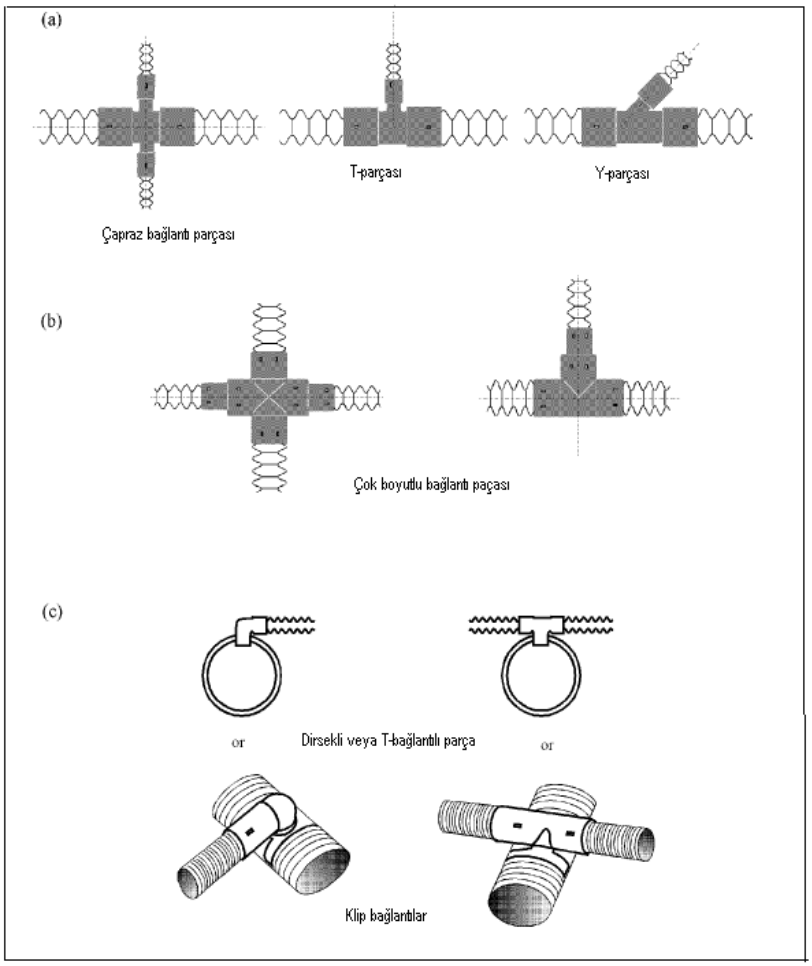
Anılan şekillerde görüldüğü gibi, drenaj borusu bir tıkaçla kapatılarak su çıkış seviyesi istenilen düzeyde yükseltilmektedir.

14.4 Pompa Birimi

Bir çok drenaj alanında kot yetersizliği nedeniyle drenaj sularının boşaltılması yerçekimi kuvvetiyle olanaklı olmaz. Özellikle kıyı ovalarında ve kapalı havzalarda bu duruma çok sık rastlanır. Drenaj atık suyunun boşaltım noktasının serbest akışa izin vermediği bu gibi arazi koşullarında pompa birimine gerek duyulur.

Pompa birimi değişik şekillerde olabilir. Aşağıda basit bir pompa birimi şekli verilmiştir (Şekil 14.13).

Bazı bölgelerde Ana drenaj kanalı su düzeyi ile tarla içi drenlerin su düzeyleri suyun serbest akışına izin vermez. Bu durumda tarla içi drenlerde su düzeyi yükselince, fazla sular pompa istasyonları yardımıyla ana kanala boşaltılır.

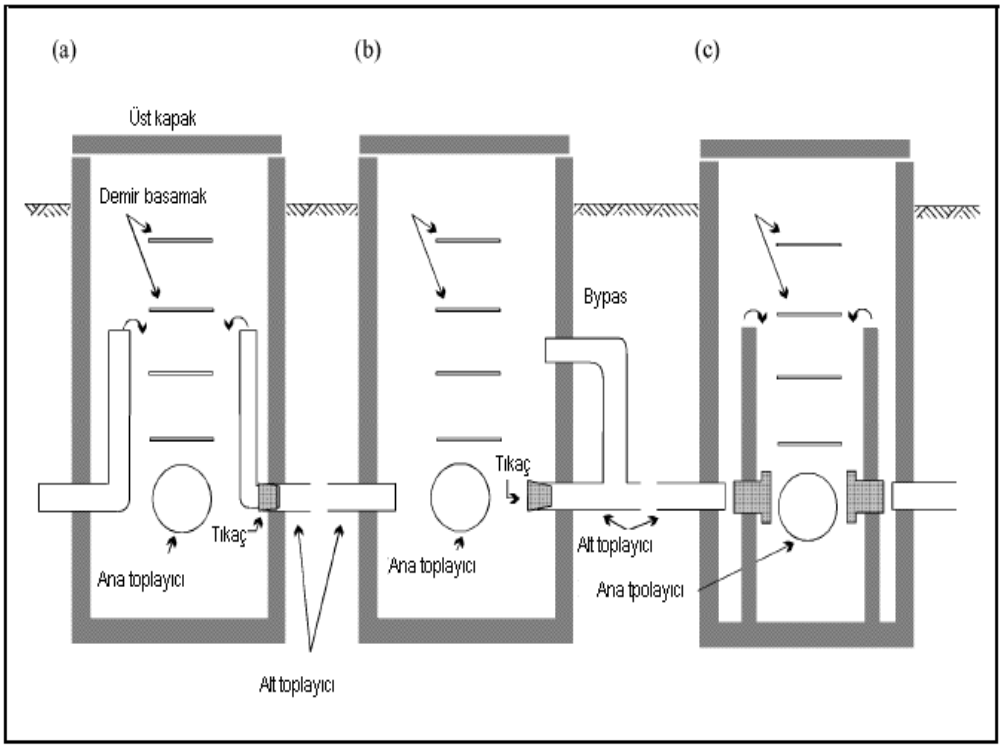


Şekil 14.11 Değişik boru bağlantı elemanları

Harran Ovasının drenajı böyle bir uygulama ile yapılmaktadır. Ana drenaj kanalının iki yanında su düzeyi daha düşük olan yedek drenaj kanalları tarla drenajını sağlamaktadır. Bu kanallarda su düzeyi ana kanaldaki su düzeyinden yüksek olduğunda fazla sular serbest akışla ana drenaj kanalına boşalırken, tersi durumda pompa ile boşaltılmaktadır.

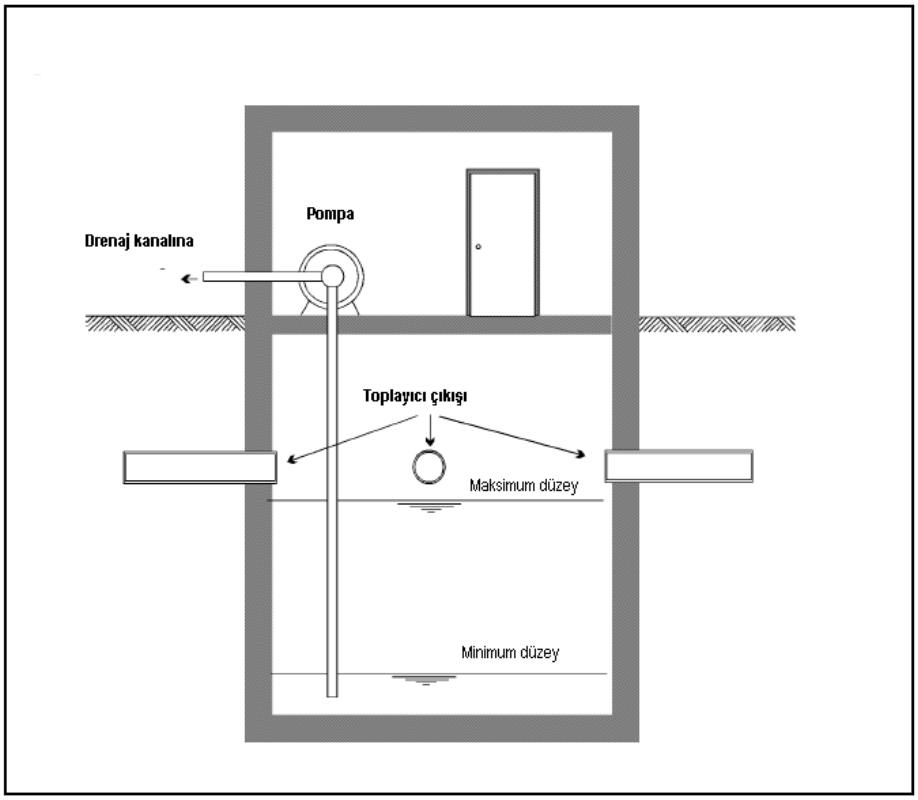
Ülkemizde birçok drenaj alanında bu amaçla pompa istasyonları yapılmıştır. Konya Ovası drenaj suları üç pompa istasyonu ile 18 m yükseltilerek 3.2 m çapındaki bir tünel yardımıyla Cihanbeyli ovasına ve oradan açık drenaj kanalları ile Tuz gölü havzasına boşaltılmaktadır. Her yıl 100-150 milyon m^3 su bu şekilde ovadan uzaklaştırılmaktadır. Bu yapılar tasarımlanırken yüzey akış suları da göz önüne alınmalıdır. Çünkü drenaj kanalları sadece yüzeyaltı drenaj sularını değil, aynı

zamanda havzadaki bütün fazla suların, evsel ve endüstriyel atıklarda dahil, boşaltılmasını sağlamaktadır.



Şekil 14.12 Kontrollü drenaj, (a) Dirsekli yükseltici, (b) By-paslı tıkaç, (c) Karmaşık yapılı sistem

Pompanın kapasitesi ve çalışma süresi atılacak su miktarına göre belirlenir. Bu yüzden fazla suyun doğru olarak hesaplanması gerekir. Bu işlemde havza için su dengesi oluşturulup fazla su belirlenir. Fazla suyun zamansal dağılımı, sıklığı ve taşkınların frekansı ve büyüklüğü pompa istasyonunun kapasitesini belirlemede kullanılan önemli parametrelerdir.



14.13 Pompa Biriminin kesit görünüşü

14.5 Drenaj Makinaları

Drenaj sisteminin inşasında kullanılan makineler sistemin tipine göre değişiklik gösterirler. Burada ele alınan makineler yatay borulu ve açık kanal sistemlerinde kullanılanlardır. Drenaj sistemi tarımsal topraklara bir takım hendek ve kanallar açarak boru ve zarf malzemesi döşemek, silt birikimini önleyen yapılar, yol geçitleri ve köprüler, pompa evleri gibi oldukça değişik yapıların yapılması ve malzemelerin taşınıp serilmesi işlemleridir.

Yüzey drenajı inşaatında ise, arazi düzeltimi için gerekli olan tesviye makinelerine, ekskavatörlere ve greyderlere gerek vardır. Ağır bünyeli topraklardaki mol drenaj işlemleri ve toprak altı çatlatılması için mol pulluğu, ve subsoiler gibi makinelere ve traktörlere gerek olmaktadır. Eğer kuyulu drenaj uygulanacaksa, bu durumda derin kuyu açan ekipmanlara gerek duyulmaktadır.

Genelleştirilirse, bir drenaj sistemi inşaatında kazıcı, taşıyıcı, düzeltici özellikleri olan makinelere gerek olduğu görülür.

Yüzey drenaj sistemi açık kanallar veya yüzey altı drenaj sisteminin inşa edilmesine göre bu makineler iki grupta incelenebiliriler.

14.5.1 Yüzey drenaj sistemi veya açık kanallarda kullanılan makinalar

Açık kanalların veya açık tarla drenlerinin inşa edilmesinde yapılacak kazı hacmi ve kanal derinliği ve ekonomik koşullar kullanılacak makine ve ekipmanın tipini belirlemekte etkilidir. Bu makinalar ripper, dozer, skreyper, greyder, diçer (kanal açma makinesi) ve kanal temizleme makineleri sayılabilir.

Ripper;

Sert ve donmuş zeminlerin kazılmasında kullanılırlar. Ripper önden girerek zemini kırar kırılan malzemeler diğer uygun bir iş makinesı ile yüklenir veya taşınır. Paletli bir çekicinin önüne dozer kalkanları yerine kazıcı ayakların takıldığı bir iş makinesidir. Greyder, dozer ve skreyperlerin çalışmasını kolaylaştırmak için toprağı gevşetmek ve toprağın kazılmaya karşı direncini azaltmak için kullanılırlar. Taşlı ve ağaç kökleri ile kaplı alanlar öce riperle gevşetilir. Kanalların ve hendeklerin açılmasından önce riper geçirmek çalışmayı kolaylaştırır ve iş verimini artırır**.**



Şekil 14.14 Ripper ve yükleyicili dozer

Dozer; toprağı kazmak ve küremek amacıyla üretilmiş lastik tekerlekli veya paletli iş makinasıdır. Kazı işlerinde yaygın olarak kullanılan dozerlerle toprak kazınarak kısa mesafelerde taşınmasını sağlarlar. Taşınmış toprağı seme hendek açma, çukurlar doldurma, toprak yığınlarını dağıtma, bitki örtüsünü temizleme gibi

işlerde kullanılırlar. Bazı dozerlerin arkasına kazıcı monte edilmiş olarak kazıcılı dozer şeklinde olabilirler.

Bir dozer, dizel olarak çalışan motor, palet veya lastik tekerler, özel kollarıyla ana şasiye bağlı kalkan (bıçak), kumanda yeri, kumanda kolları, hidrolik kaldırma kolları veya kaldırma halatlarından meydana gelmiştir. Dozerlerle yapılan çeşitli işler, dozerlerin önlerine takılan iç bükey biçiminde çelik levhalardan meydana gelen kalkanlarla olur. Kalkanlar, dozerlerin ve yapılacak işlerin özelliğine göre çeşitli şekillerde bulunmaktadır. Kalkanların taban ve uç kısımlarına aşınma ve darbe etkilerine dayanıklı alaşımlı çelikten yapılmış, civatalarla kalkanlara bağlanan çaklar takılır.

Skreyper

Toprakların kazılması, doldurulması ve taşınması işlerinde kullanılan makinelerdir. Arazi tesviyesinde özellikle derin kazı işlerinde ve büyük hacimli dolgu işlerinde kullanılırlar. Değişik tipte ve kapasitede yapılan bu makineler zemini karnındaki bıçak yardımıyla sıyırarak kazır ve kendi kedine yükler. Daha sonra taşınarak otomatik olarak boşaltır veya serer. Sulanan alanlarda arazilerin sulamaya hazırlanmasında, arazi düzeltiminde, şekillendirilmesinde dolayısıyla yüzey drenajında kullanılan bir makinedir.

Greyder

Kazı şekil verme, tesviye ve toprak serme işlerinde kullanılan makinalardır. Kazı kapasitesi küçük ancak tesviye yeteneği yüksektir. Drenaj sistemlerin döşenmesi sırasında lateral güzergahlarını tesviye edilmesinde kullanılırlar. Derin olmayan kanalların yapılmasında ve yolların kenar şevlerinin düzeltilmesinde veya toprak yolların tesviyesinde kullanılırlar.





Şekil 14.15 Greyder

Diçer Kanal açma pulluğu

Toprağı yırtarak ve devirerek kanal açmada kullanılan pulluk bir işmakinası veya güçlü bir traktör tarafından çekilir. Açılan kanal kesitleri üçgen veya yamuk şeklindedir. Toprak kanalların açılmasında yaygın olarak kullanılır. Uygun parçalar değiştirilerek istenilen kanal genişliği elde edilir.





Şekil 14.16 Kazıcı ve kanal açma pulluğu

14.5.2 Borulu drenaj sisteminin inşasında kullanılan makineler

Bunlar kesintili kazı yapanlar, sürekli kazı yapanlar (trençer) (Şekil 14.1) ve hendeksiz drenaj makinaları olarak sayılabilir. Heden kazıcı makinaların lastik tekerlekli, paletli, kovalı ve zincirli gibi bir çok değişik şekilleri vardır.

Kesintili kazı yapanlar özellikle taşlı alanlar için uygun olup genellikle ekskavatör olarak adlandırılırlar. Hızları yavaş olup bağlantı kutuları ve diğer

yapıların yapılmasında kullanılmaları daha uygundur. Büyük çaplı toplayıcı hatlar için hendekler da bu makinelerle kazılırlar.

Bu makinelerle düzgün bir yatak elde edilmesi oldukça zordur. Makine operatorü ne kadar deneyimli olursa, o kadar düzgün yataklı hendek açılabilir. Yine de her koşulda hendek tabanına kum-çakıl malzeme serilerek düzgün bir yatak elde edilir. Bu ise ek masraf anlamına gelir.

1-Kesintili kazı yapan makineler

Kesintili kazı yapan makineler özellikle taşlı araziler için uygundurlar Ekskavatör olara adlandırılır. Kazı hızları yüksek değildir. Ayrıca bu makinelerle kanal tabanları çok düz gün bir şekilde açmak zordur. Lateral drenlerin bu makinelerle döşenmesi uygu değildir. Ancak büyük çaplı boruların döşenmesinde uygun makinelerdir**.**

Ekskavatör, direk kazı makinesi olup, kazı işlerinin ana makinesidir. Hareket kabiliyetinin çok yüksek olması, kazı ve yüklemeyi aynı anda yapabilmesi nedeniyle en yaygın iş makinesidir.Ekskavatör yapılacak kazının amacına göre büyüklüğü değişir. Motor gücü, kova hacmi ve kazabileceği kazı derinliği ile orantılı olarak artar.Ekskavatör, genel olarak yapı temelleri, hendek kazıları, hareket sahası kısıtlı yerlerde direk kazıp yükleme gereken kazılarda, drenaj ve sulama kanalları kazılarında, hassas kazı ve kırma işlerinde, tünellerde kullanılır. Hareket kabiliyetinin çok yüksek olması, kazı ve yüklemeyi aynı anda yapabilmesi nedeniyle en yaygın iş makinesidir.

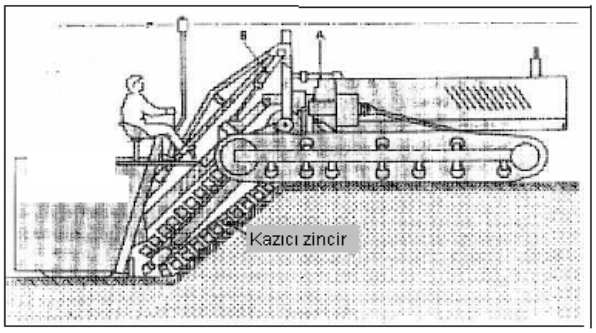




Şekil 14.17 Ekskavatör ve gradal (kanal temizleme makinası

2-Sürekli kazı yapan makineler

Bunlarla daha düzgün bir yatak elde edilir. Değişik kazıcı ağızlarına ve tekerleklere sahiptirler. Bazıları bir tamburanın etrafına monte edilmiş bıçaklarla toprağı kazarken bazıları dönen bir zincirdeki bıçaklarla kazı yaparlar.

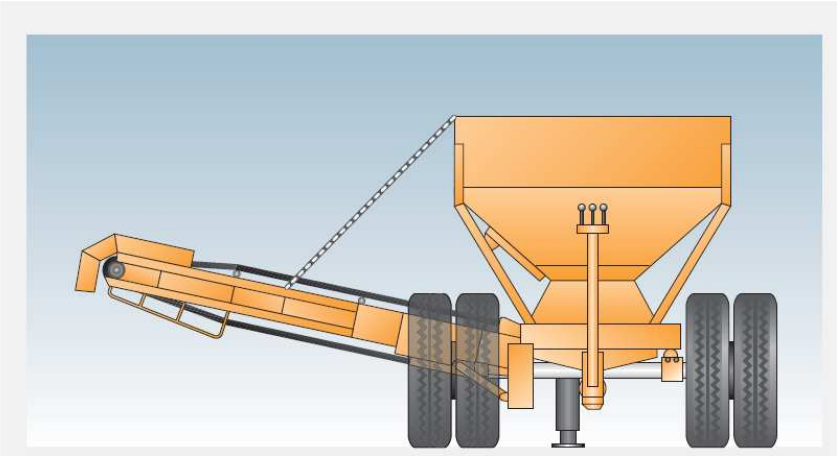


Şekil 14.18 Zincir kazıcılı bir trençerin yandan görünüşü

Bu makinler lazer denetimiyle otomatik olarak belli bir eğimde hendek açabilir ve eklenen düzeneklerle zarf malzemesini ve dren borusunu aynı anda döşeyebilirler. Oldukça karmaşık yapıda ve 400 Kw-saate ulaşan motor gücüne sahiptirler.

Toprağı kazan parçanın şekline göre kazıcı kovalı çark tipi, kazıcı kovalı zincir tipi makineler gibi tipleri vardır.

Döşeme derinliğine ve toprak yapısına makine gücüne ve diğer desteklere bağlı olarak boru döşeme hızları artar veya azalır. Desteklerin başında dren zarf malzemesi sağlanması



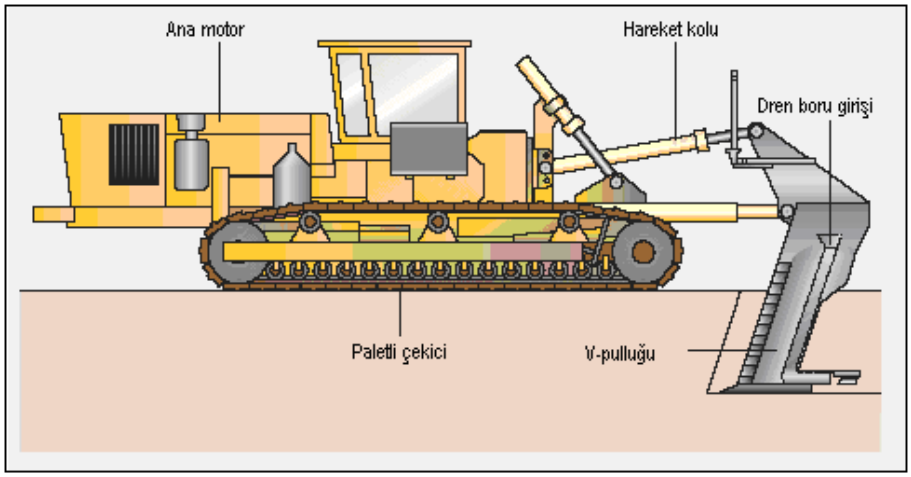
Şekil 14.19 Kum çakıl taşıyıcısı

gelmektedir. Kum - çakıl malzeme kullanılması halinde bu malzemyi taşıyacak bir kum çakıltaşıyısının da makine ile birlikte harekt etmesi gerekir. Ayrıca kum-çakılın ocaklardan inşaat alanına nakli de önemlidir.

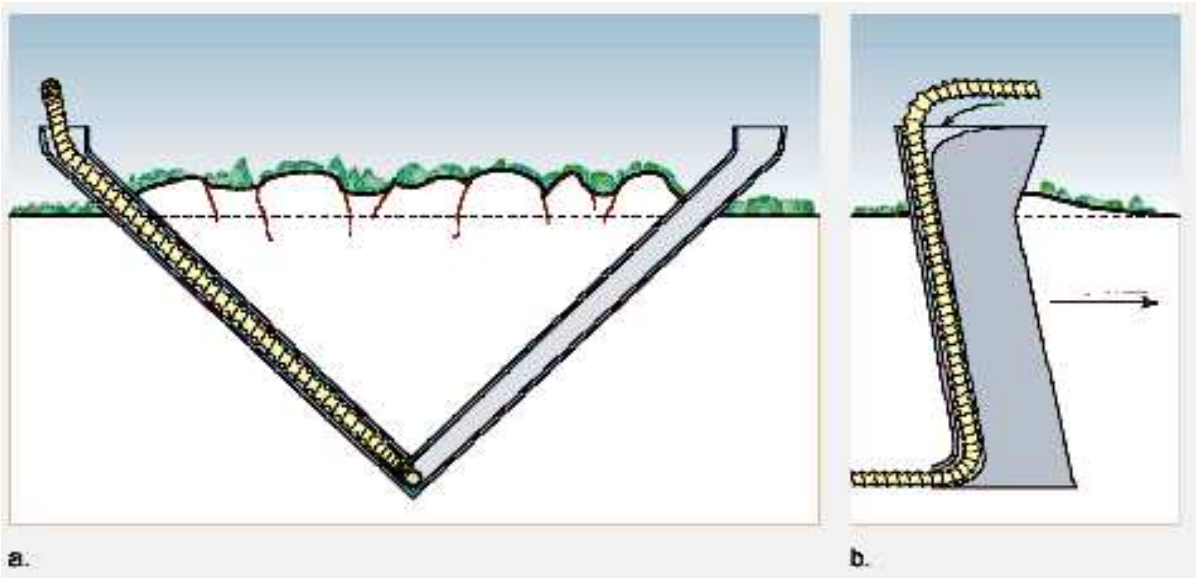
b-Hendeksiz drenaj makineleri (Trençles)

Bunların çalışma ilkesi mol drenlerin kararlı bir hale getirilme işlemidir. Bu makineler büyük bir bıçağın istenilen derinlikte çekilmesiyle oluşan boşluğa esnek dren borusunun döşenmesi şeklinde çalışırlar. Hendeksiz drenaj makineleri paletli başka bir çekici tarafından çekilirler (Şekil 14.19). Çekiciler gerektiğinde başka amaçlar için kullanılabilirler. Yüksek hızlarda çalışan bu makineler yüksek çeki gücüne gerek duyması ve dren çevresindeki toprağı sıkıştırması gibi istenmeyen yanları olarak karşımıza çıkarlar**.**

Bunların iki tipi vardır. Güçlü bir çekiciye bağlı bir düşey pulluk veya V-pulluğu (Şekil 14.20). Bu makinelerle istenen derinlikte bir delik açılarak dren borusu buraya yerleştirilmektedir. Bu makineler çok daha hızlı çalışmakla beraber, dren döşeme derinliğinin artması aşırı çeki gücü gerektirmektedir.



Şekil 14.20 Paletli çekici ile çekilen düşey pulluklu hendeksiz dren döşeme makinesı (trençless)



Şekil 14.20 Hendeksiz drenaj makinelerinin boru döşemesinin görünümü a) V-pulluk, b) düşey pulluk

Arazide dren döşeyen V-pulluklu bir dren döşeme makinesi Şekil 14.21 de görülmektedir. Hendeksiz drenaj makineleri ile döşemede zarf malzemesini döşenmesi sorun olmaktadır. Bu yüzden bu makinelerle zarf malzemesi sarılmış boruların kullanılması yeğlenmektedir. Ayrıca hendeksiz drenaj makinesi ile döşeme derinliği arttıkça ortaya çıkan aşırı çeki gücü dren derinliğini sınırlamaktadır.



Şekil 14.21 Düşey pulluk ve V-pulluklu hendeksiz drenaj makinesinin arazide çalışırken görünümü

14.6 Drenaj Sistemlerinin İşletme ve Bakımı

İşletme ve bakımdan sorumlu kuruluş sistemin inşaatına ilişkin bütün bileşenlerin doğru bir haritasına sahip olmalıdır. Ayrıca sistemin döşenmesi sırasındaki eğimleri, ana yapıları çıkış noktalarını varsa yüzey su girişlerini ve sitemin diğer tüm özelliklerini içeren haritaların olması gerekir. Tarla drenlerinin yerleri, toplayıcılarla bağlantı noktaları ve kör girişlerin yerleri ileride yapılacak temizleme işleri bakımından gereklidir.

İzleme üç şekilde ele alınır, inşaat sonrası denetim, olağan denetim ve tam baştan başa denetim.

İnşaat sonrası denetim sistemin standartlara uygun inşa edilip edilmediğini belirlemek amacıyla yapılır. Bu sistemi inşa eden yüklenicinin her aşamada ilgili kontrol mühendisi tarafından yapılan denetimidir.

Olağan denetimler istemin fonksiyonun yerine getirip getirmediğine ilişkin basit işletme bakım işleridir. Sistemin tamir–bakım ve temizleme gerektirip gerektirmediğini görmek amacıyla yapılanlardır.

Tam denetimde sistemin aksayan yanlarını önemli sorunları ortaya çıkarmak için yapılan alışagelmiş işlemlerdir. Bunun için bir izleme değerlendirme programı

yapılır ve gelecekte bölgede yapılacak drenaj projelerine esas olacak verilerin toplanmasına olanak sağlayacak şekilde ilkeler ve yöntemler geliştirilir.

Belirtilen özellikler plan ve projelerde bulunmasına karşın yine de inşaat sırasında yapılan değişik uygulamaların harita üzerinde gösterilmiş olması gereklidir.

15. DRENAJ SİSTEMLERİNİN İZLENMESİ BAKIMI

Bir drenaj sistemi döşendikten sonra, onun uzun süre işlevlerini yerine getirmelidir. Onun için teknik olarak iyi bir drenaj temeli üzerine kurulan sistemin düzenli olarak denetlenmesi, temizlenmesi ve gerektiğinde tamir edilmesi gerekir. İşletme bakım sorumluluğu iyi tanımlanmalı ve bunun için uygu bir bütçe olmalıdır. Büyük projelerde gerekirse işletme ve bakım sorumluluğu profesyonel şirketlere verilmelidir.

15.1 Dren Borularında Tıkanma Sorunları

Drenaj sistemleri çok değişik nedenlerle işlevlerini kaybedebilirler. Açık drenaj kanalarının şevlerinde oluşan çökmeler ve silt birikimi ile kamış ve otların gelişmesi zamanla sistemin işlevinin kısmen veya tamamen kaybolmasına neden olabilir. Bu

bakımdan kanalların her yıl bakımlarını yapılması otların temizlenmesi gerekir. Bunun için birtakım alet ve ekipmanlara gerek duyulur.

Yüzeyaltı drenaj sistemlerinin döşenmesi ile birlikte plan ve projelerinin ilgili birimlerde saklanması gerekir. Boru hatları ve yapıların yerlerini bulabilmek için bu planları ve haritaların özenle saklanması gerekir.

Açık kanalların bulunduğu sulanan alanlarda şevlerde kaymalar ve çökmeler, ayrını ve oyuntular oluşabilir. Bazı durumlarda bu kanalların şevlerini kuru kalmasını sağlayacak kuşaklama kanalları açılarak, kanalın etrafındaki su tablası düşürülerek şevlerin kuru ve stabil kalması sağlanır. Açık kanalların bakım ve onarılmasında diğer bir yöntem ise şevlerin kum çakılla kaplanması şeklinde olabilir. Eğer kanal kaplanacaksa kaplama kalınlığı kadar geniş açılmalıdır.

Yüzeyaltı kapalı borulu sitemlerin boru güzergahında çöküntüler olduğunda bu kısmın onarılması gerekir. Bu işlem için çöken kısmın açılarak, zeminin düzeltilmesi ve boruların değiştirilmesi gerekir

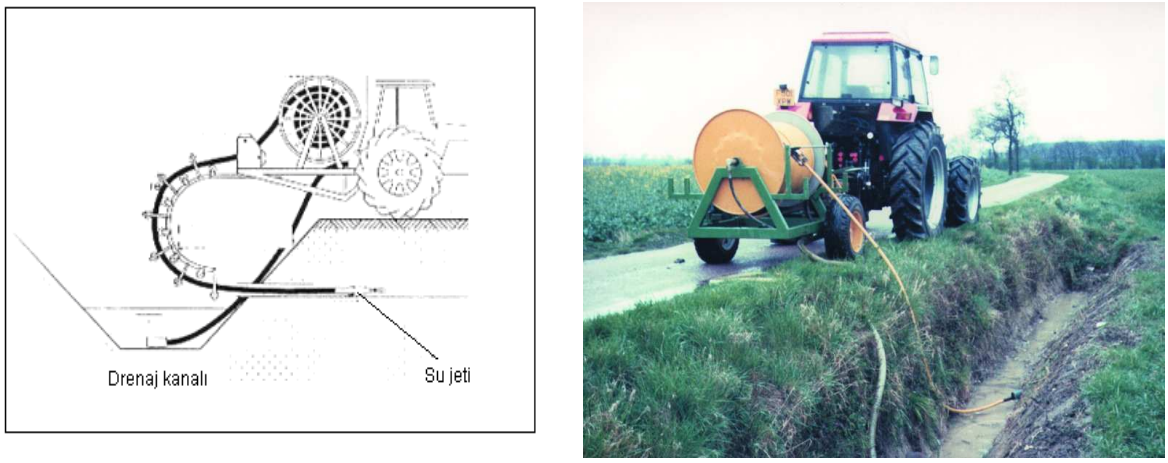
Kapalı ve borulu drenaj sistemlerinde sorunların başında, siltasyon nedeniyle taşıma kapasitelerinin azalması, boruların deforme olması sonunda tıkanma veya kimyasal çökelmeler ve yosunlar ve yabancı otların tıkanması şeklinde ortaya çıkar. Boru hatlarının kumlu topraklarda döşendiği yerlerde tesis edilen silt bacaları denetlenerek temizlenmelidir. Yanlış zarf ve filtre tasarımı siltasyon süresini kısaltabilir. Borulu sistemlerde çıkışlar temiz ve bakımlı olmalıdır. Çökelme ve yıkıntılar kanalı tıkayarak sistemin etkin çalışmasını engeller. Çıkışlar zaman zaman denetlenerek temizlenmelidir. Boru hatlarında oluşacak kırılma ve çatlaklar tamir edilerek sistemin çalışır halde tutulması gerekir.

Yüzey giriş ağızları bulunan noktalarda otların ve diğer biriken materyalin temizlenmesi gerekir. Tıkanma durumunda açılmalıdır aksi halde yüzeyde meydana göllenmeler meydana gelecektir. Dren çıkış ağızlarına kuru dönemlerde yaban hayvanları yuva yapabiliriler. Onun için bu kısımlara kapaklar ve tel kafesler konması yararlı olur.

Boru hatları çevredeki ağaç köklerinden zarar görebilirler. Ağaç kökleri boru hatlarını tıkayarak onları tamamen çalışmaz bir duruma getirebilir. Bu durumda arazide yüksek taban suyuna rağmen boruda akış olmaz ve sistem işlevini yerine getiremez. Özellikle boru hatlarına yakın ağaçların olduğu kısımlar kazılıp, kontrol

edilerek sistem bu kısımda yeniden döşenmeli ve ağaçlar kesilmelidir. Söğüt ve kavak ağaçlarının 30 m uzaklıktan sistemi tıkayabildiği belirtilmektedir.

Borulardaki siltasyonun giderilmesi için geliştirilen su jetleri ile basınçlı su püskürtülerek temizleme işlemi yapılır. Sisteme yerleştirilen silt kapanlarının dolması durumunda da bu yapılar açılarak denetlenmeli ve temizlenmelidir.



Şekil 15.1 Basınçlı su püskürtme aparatının şematik görünümü ve arazide çalışması

15.2 Demir Çökelmesi

Drenaj borularındaki su giriş açıklıkları zamanla bazı kimyasal maddelerin çökelmeleriyle tıkanarak işlevini kaybederek su geçirmez hale gelebilirler. Bu tür tıkanmanın en önemli nedenlerinde biri bazı demir bileşiklerin çökelmesi şeklinde olmakta ve buna demir ochre adı verilmektedir. Topraktaki serbest demirin drenlere ulaşmadan çökelmesi sorunu azaltabilme etkisine sahiptir. Toprağın kimyasal yapısı değiştiğinde toprağın pH'sı ve elektriksel potansiyeli de değişir.

1) Alt toprağın gevşetilmesi;

Su altındaki toprağın drenaj miktarı topraktaki mevcut gözeneklere bağlıdır. Toprakta bu anlamda iki çeşit gözenekten söz edilebilir. Birincil gözenekler toprak parçacıklarının oranına bağlı olarak değişirler. Bunlar daha büyük parçacıkların daha büyük gözeneklere sahip olduğu anlamına gelir. İkincil gözenekler ise toprağın yönetimine bağlı olarak değişen gevşeme ve basılmasına durumuna göre oluşanlardır.

Alt toprağı gevşetmenin amacı topraktaki oksijen miktarını artırarak demirin oksitlenmesini ve hareketsiz demir formuna dönüşmesini sağlamaktır. Demir kararlı bir formda yavaş bir şekilde yaşlanırken aniden su basmasıyla ters tepkimeler olabilir.

Toprakaltı çatlatılmasının etkili olabilmesi için toprağın kil içeriğinin %50 den fazla nem içeriğinin ise plastik aralığı altında olması gerekir.

Nemli ve yağışlı kışların olduğu bölgelerde toprak altı gevşetilmesi demirin drenlere girişini sadece yavaşlamasına yardımcı olacaktır. Ama tamamıyla önleyemeyecektir. Onun için yöntem tıkanma tehlikesini geçici olduğu belirlenen bölgelerde yararlıdır.

Alt toprağın gevşetilmesi sadece demirin çökelmesini sağlaması açısından değil aynı zamanda toprağın hidrolik koşullarının ve kök gelişmesinin iyileştirilmesini de sağlaması bakımından önemli bir işlemdir.

2) Yüzey kireçlemesi;

Demir düşük pH değerlerinde yüksek ph değerlerine göre daha hareketlidir. Çünkü daha düşük oksitlenme potansiyeline sahiptir. Bu bakımdan kireç formundaki Ca demirin oksitlenmesini teşvik eder. Yapılan testler ağır kireç uygulamalarını kireci hareketsiz hale getirdiğini göstermiştir. Tüm profildeki pH denetimi ve yapılan yeni kireç uygulamaları veya uygulama sıklığı yöntemin başarılı olmasında önemli bir yer tutar. Yağışlı bölgelerde yılda 0.8 ton ha^{-1} kireç kaybolduğunu göstermiştir.

Daha yüksek pH daha az çözünen demir anlamına gelir ve bu miktar genellikle yer altı sularında vardır. Etkili bir demir çökelmesi için pH'nın 8.2 ye kadar yükselmesi gerekir. Ancak Fosfor ve bazı diğer besin elementlerinin çökelmesine neden olması ve kireçleme masrafları yöntemin sakıncalı yanları olarak ortaya çıkmaktadır. Almanya'da yapılan bazı testlerden elde edilen veriler yüksek kireçlemenin geçirgenliğin azalabileceğini göstermiştir.

3) Dren hendeğinin kireçlenmesi

Buradaki yaklaşım bütün arazinin ağır bir şekilde kireçlenmesinin çok masraflı olması nedeniyle sadece hendeğin kireçlenmesinin demir çökelmesi üzerine

etkinliğinin belirlenmesinin araştırılmasını gündeme getirmiştir. Bu durumda gerekli kireç ihtiyacı tüm alana yapılan kireçlemenin %10 una kadar azaltılabileceğini ve başlangıçta tıkanmayı önlemesine karşın dren çevresindeki toprakta oluşan demir çökelmesi nedeniyle geçirgenliğin azalacağını göstermiştir.

4) Kaba filtre materyali

Kum çakıl, cam yünü, hacimli organik materyaller, sap saman gibi malzemeler eğer taban suyu drenlerin altında ise havadar bir ortam yaratırlar. Bir çok araştırmacı fitlere materyalinin geçirgenliğini 2-12 yıl arasında önemli düzeyde azaldığına değinmektedirler. Organik materyaller demir sülfat nedeniyle zamanla siyahlaşır ve geçirgenlikleri azalır. İnorganik filtreler ise demir hidroksit nedeniyle tıkanırlar. Kum çakıl materyal yıllar sonra kazılıp denetlendiğinde çok az demir çökeltisi biriktiğini göstermiştir.

16. DREN ZARFLARI

16.1 Giriş

Yüzey altı kapalı drenaj sistemlerinde yirminci yüzyılın son çeyreğine kadar drenaj borusu olarak kil künkler kullanılırken, plastik boru üretiminin yaygınlaşmasıyla, artık bu borular kullanılmaya başlanmıştır. Kil künkler, 1845'ten beri Hollanda'da, 1850'den beri ABD'de ve 1960 ve 1970'lerde ülkemizde drenaj sistemlerinde kullanılmıştır.

Yapılan araştırmalar sonucunda neredeyse hemen her yerde sediment sorunu olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, mühendisler drenlere sediment girişini önlemek için birçok koruma yöntemi uygulamaktadırlar. Drenlerin sedimentle tıkanmasını önlemek için bu güne kadar, üst toprak, saman, sap, mısır sapı, kumaş, deri, odun talaşı, kum çakıl ve birçok modern materyal kullanılmıştır.

Ülkemizde ise kapalı drenaj sistemlerinin tamamında dren zarfı olarak genellikle kum çakıl kullanılmaktadır. Kum çakıl ocaklarının proje alanına uzaklığına göre değişmekle birlikte, kum-çakılın zarf olarak kullanıldığı kapalı drenaj sistemlerinde, anılan malzeme proje maliyetinin %20-35'ini kapsamaktadır. Taşıma masrafları nedeniyle oldukça pahalı bir materyal haline gelen kum çakılın yerine başka bir materyalin kullanılması veya uygun toprak koşullarında hiç kullanılmaması gibi, proje maliyetini etkileyecek seçenekler tartışılmaktadır.

Dren borularının toprak altına döşenmesinde çeşitli makinaların kullanılmasıyla eşzamanlı bir şekilde, kum-çakıla seçenek olarak, organik (çeşitli bitkisel lifler) ve sentetik yapıda (petrol türevleri) olmak üzere iki ana grupta çeşitli zarf malzemeleri ortaya çıkmıştır.

Oluklu plastik dren borularına sediment girişini önlemek için kum-çakıl, ön sarımlı organik lifler, sentetik lifler, sentetik kumaşlar yaygın olarak kullanılan zarf materyalleri olmuştur. Drenajda kullanılan gözenekli sentetik materyallerin bir çoğu, dren zarfı olarak özellikle tasarımlanmıştır. Son yıllarda oluklu plastik boruların

etrafı, yapılacağı yerin toprak özelliklerine göre seçilen zarf malzemeleri ile sarılarak kullanıma hazır bir şekilde satılmaktadır.

İnce sedimentlerin dren borularına girmesini önlemek için bir zarfa gereksinim olmadığında bile, belli koşullar için hala bir zarf gereksinimi olabilir. Örneğin hidrolik gereksinimler ve yerleştirme koşulları zarf kullanımını gerekli kılabilir.

Zarf malzemelerinin taşınması, kullanılması, teminindeki devamlılık ve kolaylık ile malzemenin bir örnekliği, inşaat sektöründe de bazı talepleri gündeme getirmiştir. Bu nedenle şimdiye kadar bu tip malzemelerin kullanılmadan önce, ince taneciklerin dren borularına girmesini engellemede ki başarısı, gerek tarla ve gerekse laboratuarda denenmiştir. Elde edilen sonuçlar oldukça doyurucu olmasına karşın, kesin ve ayrıntılı sonuçlar için arazi denemelerinin on yıl sürdürülmesi gerekmektedir. Laboratuarda ise oldukça ekstrem koşullar altında kısa süreli denemeler yapılmalıdır (Dieleman ve Trafford, 1986).

Laboratuvar koşullarında yürütülen bir model çalışmalarının arazide yapılacak testlere göre daha hızlı ve ucuz olması nedeniyle yüzeyaltı drenaj sistemlerinde kullanılacak jeotekstillerin ıslanabilirlik, geçirgenlik ve siltasyona engel olma yetenekleri gibi özellikleri belirlenebilmektedir.

Widmoser (1968), dren borusuna giren suya karşı borunun direncinin düşürülmesi ve dren etkili yarıçapının arttırılmasıyla ilgili, kum tankında yaptığı çalışmalarda çok ince tabaka halinde bir zarf malzemesinin bile dikkate değer olumlu bir etki yaptığını, Robert ve ark. (1987), laboratuvarda yatay kum tankında ince kumlu tınlı bir toprakta herbir halka üzerinde çeşitli sayıda delik bulunduran borularla ve jeotekstiller kullanarak yaptıkları çalışmada, en büyük deşarj oranını jeotekstillerin kullanıldığı borulardan elde ettiklerini ve yine bu borularda en az siltasyonun olduğunu bildirmişlerdir.

Mavi, (2000), tarafından Samsun-Çarşamba Ovası koşullarında yapılan tarla denemesinde zarf malzemesi olarak iki çeşit jeotekstil ile kum-çakıl ve kaplamasız dren borusunu konu alan çalışmanın sonucunda; jeotekstillerin siltasyonu diğer iki malzemeye göre daha başarılı bir şekilde önlediğini belirlemişlerdir.

16.2 Dren Zarfının İşlevleri

Dren zarfı aşağıdaki işlevlerden bir veya bir kaçını yerine getirmek için dren borularının etrafına yerleştirilen gözenekli materyallerdir. İşlevleri aşağıda sıralanmıştır. Ancak bir dren zarfı bu işlevlerin bazen tamamını, bazı zamanlarda ise bir veya birkaçını yerine getirebilir. Bunlar;

(i) Filtre: Toprak ve dren arasındaki yüzeyi sınırlandırmak. Toprak parçacıklarını dren borusu içine girmesini önleyerek orada birikmesini ve borunun tıkanmasını önlemek,

(ii) Hidrolik: Borunun çevresinde nispeten yüksek geçirgenliğe sahip gözenekli bir ortam sağlayarak giriş direncini azaltmak,

(iii) Mekanik: Boruya pasif mekanik destek sağlamak ve toprak yükü nedeniyle boruların yaralanmasını ve çökmeleri önlemek,

(iv) Yataklama: Boruyu destekleyerek inşaat sırasında ve sonrasında sağlam bir temel oluşturup toprak yükü nedeniyle düşey yer değiştirmeleri önlemektir.

(v) Hidrolik yarıçap: Filtre işlevi, bozulmuş toprağın stabil/kararlı hale gelmesi için geçecek yeterli süre olabilir. Çünkü dren borusunu döşemek için kazılan toprağın yapısı bozulur ve böylece kararsız bir yapı oluşur. Bu yapının kararlı bir hale dönüşmesi için geçen sürede organik zarflar kullanılabilir. Uygun bir şekilde tasarımlanmış kum ve çakıl zarflar hidrolik ve filtre işlevlerinin yanında, mekanik ve yataklama işlevlerini de yerine getiriler.

Zarflar yapıldıkları materyallere göre sınıflandırılırlar. Granüle, organik ve sentetik dren zarfları bütün sedimenti drenaj suyundan uzak tutmak üzere tasarımlanmazlar, tasarılanmamalıdırlar.

16.3 Zarflar İçin Gereklilik

Öncelikle drenaj alanında bir zarf materyaline gerek olup olmadığına karar verilmelidir. Bunun için drenaj alanındaki toprakların dren döşeme derinliliklerinden alanı örnekleyecek sayıda toprak örnekleri alınarak, gerekli analizler yapılmalıdır.

Zarf planlamasında toprağın bünyesi göz önüne alınır. Açıkça söylemek gerekirse ince ve kaba bünyeli topraklar için bazı kurallar verilebilir. Ancak orta bünyeli topraklar için bazı belirsizlikler söz konusudur.

Bir drenin zarf gereksinimi öncelikle drenaj sisteminin planlandığı bölgedeki toprağın özelliklerine ve karakteristiklerine bağlıdır. Halihazırda dren zarf gereksinimini belirleyecek genel bir rehber mevcut değildir. Şimdiye kadar bir bölgede elde edilen deneyimlerin diğer bir bölgede kullanımına ilişkin uygulamalara rastlanılmamıştır.

Kil içeriği %25-30 dan fazla olan ince bünyeli topraklar da ıslak koşullarda döşeme yapılmadığı takdirde, bunların yüksek bir stabiliteye sahiptirler. Kuru koşullarda veya hendeksiz drenaj makinesi (trençles) ile döşeme de bu topraklarda zarf gerekmez.

Kaba bünyeli topraklarda her zaman silt ve ince kum taneleri bulunduğundan kararlı değildirler. Bu topraklarda hem geri doldurma işlemi sırasında, hem de boru altındaki bozulmuş alt topraktan borulara her ince kum ve silt girişi olabilir. Onun için bu topraklarda her zaman boru etrafına sarılmış sürekli bir zarfa gerek duyulur. Amaç sadece filtrelemedir. Çünkü bu topraklarda giriş dirençleri yüksek değildir.

Orta bünyeli topraklarda ise durum biraz daha karmaşıktır. % 10-15 kil içeren kaba bünyeli topraklarda, eğer döşeme kuru koşullarda yapılırsa geri doldurma toprağı kararlı kalacak ve iyi bir geçirgenliğe sahip olacaktır. Bu durumlarda zarf olmazsa bile bir sorun olmayacaktır. Ancak boru döşemesi ıslak koşullarda yapılırsa hem sedimantasyon ve hem de yüksek giriş dirençleri görülebilir. Onun için bu topraklarda zarf gereklidir. Muhtemelen geri doldurma toprağı sorun yaratacaktır, Ancak bozulmamış toprak yeterince kararlı kalacaktır. Bu topraklarda geri doldurma toprağı birkaç yıl sonra kararlı bir hale geleceğinden organik bir zarf uygun olabilir.

Kil içeriğinin %5ten az olduğu orta bünyeli topraklarda geri doldurma toprağı ve büyük bir olasılıkla boru altındaki bozulmamış toprak kadar kararsızdır. Ayrıca geri doldurma sırasında toprak parçacıklarının yeniden dizilmesi geçirgenliği azaltabilecektir. Bu yüzden bu topraklarda borunun etrafını tamamen saran filtre ve hidrolik fonksiyonlara sahip zarf materyaline gerek vardır.

Dren zarf gereksinimini belirlemenin en iyi yöntemi drenaj alanındaki topraklarda tarla test hatları inşa etmektir. Ancak bu pahalı ve zaman alıcı bir iştir. Planlama dahil en az 3-5 yıl alır. Genellikle bu tür pilot alanların kurulmasındaki gecikmeler karar vericiler için çok geç olabilir. Onun için ilk etüt aşamasında uygun derinliklerden alınan toprak örneklerinde belirtilen analizlerin yapılması gerekir.

Toprak bünye üçgeni başlangıçta oldukça yararlı olabilir. Şekil 16.3'te verilen bünye üçgeninde görüldüğü gibi dünyanın birçok yerinde %40'tan fazla kil içeren topraklarda siltasyon riski olmayacağı, onun için, sadece hidrolik koşulları iyileştirmeye yönelik zarf kullanılmasının uygun olacağı belirtilmektedir (ILRI, 1998).

16.3.1 Dren çevresindeki toprakta oluşan olaylar

Dren döşenmesinin hemen arkasından toprakta bazı değişmeler olur. Bunlar

-Drenlerin hendek kazıcıyla (trençer) döşenmesi halinde;

-Geri doldurulan toprağın yapısında yüksek düzeyde bozulma,

-Görünüşte profilde bir bozulma olmamış olsa da, hendek kenarları boyunca sıkışma, yapışma ve gözenek sisteminde bozulma,

Bazı durumlarda trenç hendeği içinde boşlukların oluşması,

-Drenlerin hendeksiz drenaj makinesi (trençles) ile döşenmesi halinde ise;

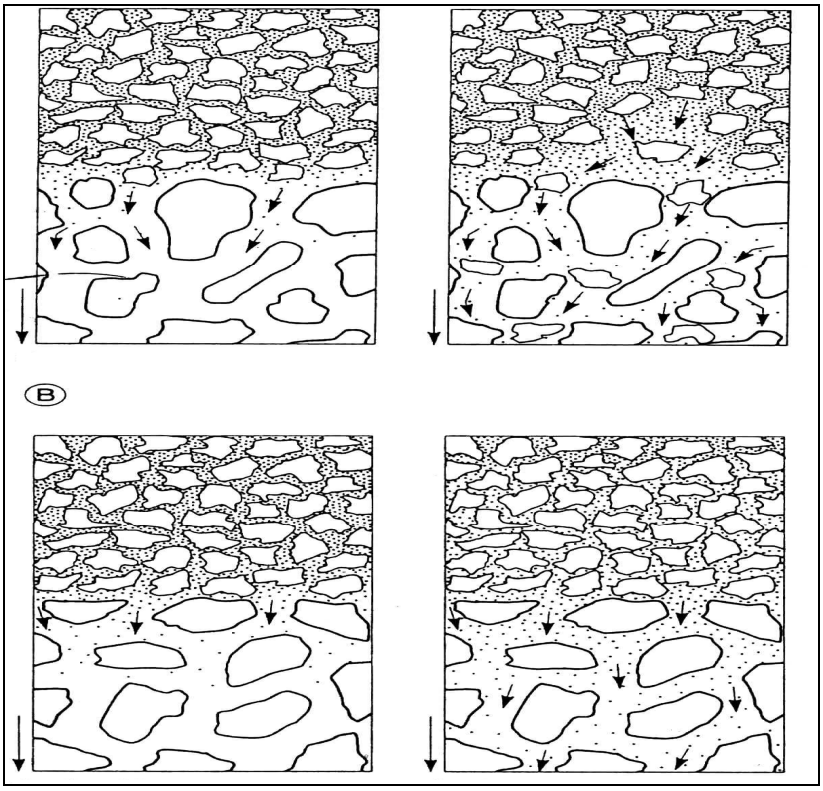
- Borular kritik derinliğin üstüne döşenirse boru çevresinde toprak kabarır ve yukarı doğru kalkar.

-Borular kritik derinliğin altına döşenirse çevredeki toprak sıkışır.

-Ancak bu durum değişken olup zamanla oluşacak fiziksel olayların bir kısmı yararlı, bir kısmı ise zararlı olabilir.

Başlangıçta kabaran toprağın zamanla oturması ile toprak hacminde, dolayısıyla gözenek hacminde bir azalma oluşur. Bu durum geçirgenliğin azalmasına neden olabilir. Diğer taraftan toprakta oluşan oturma işlemleri sonucunda gözenek sistemindeki gelişmeye bağlı olarak geçirgenlik artabilir.

Dren borusuna suyun akışı sırasında toprak parçacıkları su ile hareket edebilir. Dren borusunu döşemek için açılan hendeğe geri doldurma sırasında daha gevşek bir yapı ortaya çıkar, Toprağın kararlılığı bozularak toprakların suya dayanımı azalır. Hendeğe dolan su boru içine akarken (Şekil, 16.1A, B) iki durum söz konusu olur.



Şekil 16.1 Dren borusu çevresinde toprak parçacıklarını hareketi (FAO, 1994)

-Toprak yeterince kil içermiyorsa bütün küçük toprak parçacıklarının su akış hızına bağlı olarak boru içine doğru hareket etmesiyle oluşan kontakt erozyonu kararlı yapının zayıflamasına, veya toprakların parçalanıp ufalanmasına ve zamanla toprakta çökmelere neden olur.

-Sadece küçük ince parçacıklar yıkanır, büyük parçacıklar ise arkada kalır. Bu doğal filtreleme sonunda zamanla boru çevresindeki toprak yapısı zayıflarsa, daha sonraki aşamalarda erozyon söz konusu olur.

16.3.2 Toprak stabilitesini etkileyen faktörler

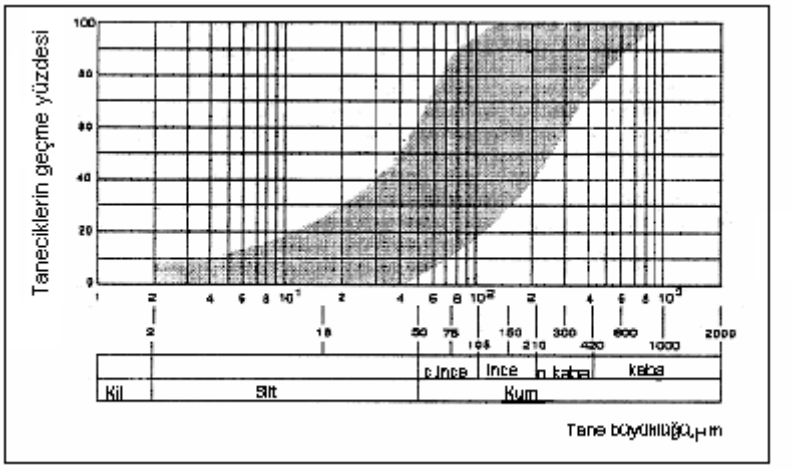
-Toprak bünyesi; temel toprağının bünyesinin sorun yaratıp yaratamayacağı büyük önem taşımaktadır. Toprak bünyesi toprağın suya dayanımı hakkında önemli ip uçları verir. Sorunlu topraklar genellikle düşük kil ve yüksek düzeyde silt ve ince kum içerirler. Eğer bir toprağın tane dağılım eğrisi Şekil 16.2'deki gölgelenmiş alana düşüyorsa sorunlu toprak olması söz konusudur. Birçok toprakta düşük kil içeriği nedeniyle bunlarda suya dayanımı sağlayacak kohesif kuvvetler yetersizdir.

-Toprakta çalışma; kazıma ve geri doldurma**,** toprağın suya dayanımını azaltır. Bu durum özellikle uygun olmayan koşullarda yapıldığında etkisi daha büyük ve uzun süreli olur

-Nem koşulları; yüksek nem koşullarında topraklarda çalışma toprağın suya dayanımı üzerine şiddetli bir olumsuz etkiye sahiptir.

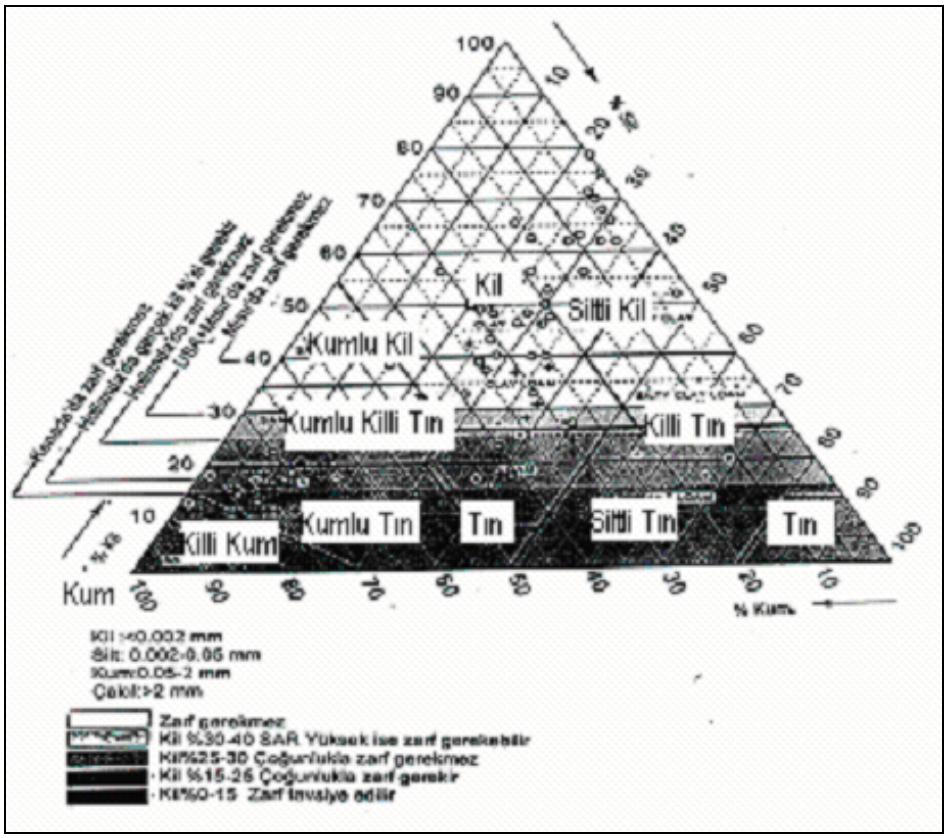
-Sodyumluluk; düşük tuz içeriği ile beraber yüksek değişebilir sodyum suya dayanımı azaltır.

-Zaman; eğer toprak kararlılığında azalmalar olmuşsa, kurumasına izin verilmeli, böylece toprak zamanla kararlı bir duruma geçer.



Şekil 16.2 Yüzeyaltı drenajında zarflar için sorunlu toprakların tane dağılım eğrisi (Cavealars, Vlotman, Spoor 1998).

Diğer taraftan toprakların bünyesi, jeolojik yapısı, olgunlaşma düzeyi ve dren zarfından beklenen işleve bağlı olarak zarf gerekliliği ve yerine getirmesi beklenen işlevler Çizelge 16.2'de verilmiştir. Anılan çizelge başlangıç için genel bir rehber olarak kullanılabilir. Bu çizelgede toprakların kil içerikleri yanında, olgunlaşma düzeyleri ve jeolojik kökenleri de göz önüne alındığından daha ayrıntılı bir inceleme gerekliliği ve sonuçta daha doğru bir karar verme olanağı elde edilmiş olur.



Şekil 16.3 Toprak bünye üçgenin dren zarf gerekliliğinde gösterge olarak kullanılması

Zarf gerekliliğine ilişkin genel kurallar;

- Dren döşeme derinliğinde açılan taban suyu gözlem kuyularının duvarlarında hızlı bir şekilde çökelme ve yıkılma oluyorsa zarf döşenmesi kaçınılmazdır.
- Kohezyonsuz kumlu topraklarda zarf kesinlikle gereklidir.
- Ilıman bölgelerde, dren döşeme derinliğinde %20-30 kil içeren topraklarda ve uygun döşeme koşullarında veya çamur içine boru döşenmemesi koşuluyla zarfa gerek yoktur.
- Plastisite indeksi en az 12 olan topraklarda siltasyon eğilimi yoktur. Böyle topraklarda SAR göz önüne alınmadan zarfa gerek yoktur.

Kil içeriği %20-40 arasında olan topraklarda zarf gerekliliği ESP'ye bağlıdır. Sulama suyunu SAR değeri büyük oranda yeraltı suyundan etkilenir. Sulama

suyunun SAR_{iw} ve EC_{iw} değerleri dispersiyon sorunlarına neden olabilecek durumdaysa zarf döşenmesi önerilir.

Çizelge 16.1 Toprak özelliklerine göre zarf gerekliliği ve uygun zarf çeşidi (Ritzema, 1994)

Temel toprağın kil ve silt % si **	Jeolojik yapı	Açıklama	Zarfa ilişkin özellikler***	İşlev	Materyal			
					Kum-çakıl	Hacimli		İnce*
						Organik	Sentetik	
Kil>%25	Allüvial/ deniz kökenli	Olgun	Kalıcı yüksek K	-	ZARF GEREKMEZ			
		Olgunlaşmamış	Kalıcı, düşük K	Hidrolik	+	+	+	-
Kil>%25 ****		Olgun	Geçici, Yüksek K	Filtre	+	-	+	+
		Olgunlaşmamış	Geçici yüksek K	Filtre+ Hidrolik	+	-	+	-
Kil<%25 Siltl<%10	Deniz kökenli	d_{50}<120	Geçici, Yüksek K	Filtre	+	-	+	+
Kil<%25 Silt<%10	Rüzgarla taş. materyal	d_{50}>120	Baş.geçici yüksek K	Filtre-geçici	+	+	+	+
Kil<%25 Silt>%10	Akarsu ile taş, buzul kökenli		Baş.geçici Düşük K	Filtre-geçici	+	+	+	-

*+ uygun, - uygun değil

** dren düzeyindeki toprağın bünyesi kil< 2μm silt 2-50 μm

***yüksek hidrolik iletkenli K>=0.25 m/gün, düşük K<=0.05 m/gün

****dren düzeyinin üstünde daha hafif bünyeli katlar (kil<%25)

-
-

- Eğer düşük kaliteli yeraltı suyu kılcallıkla yükselirse dispersiyona neden olur. Bu durumda drenaj olsa da olmasa da yıkama suyunun verilmesi anahtardır.
- Sulanan alanlarda dren döşeme derinliğinde toprakların kil içeriği %40'tan fazla ise SAR değerine bakılmaksızın zarfa gerek yoktur.

16.3.3 Toprağın suya dayanıklılığı

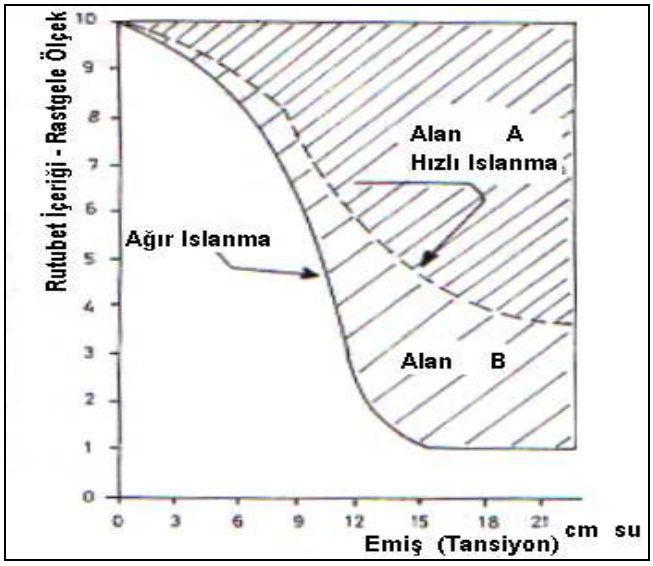
Suya oransal dayanıklılık, havada kurutulmuş torağın, hızlı ıslanmaya karşılık, ağır bir biçimde ıslanması durumunda oluşan çökme ve dağılma düzeyinin oranlanması ile değerlendirilmektedir. Çökme, suyun, su ile açığa çıkan toprak özellikleri üzerine etkisi ile belirlenmektedir. Yöntem ilk kez Childs ve Youngs tarafından tanımlanmıştır (FAO, 1976).

Bu yöntemde açıklıkları 2 mm olan elekten geçen ancak 1 mm eleğin üzerinde kalan toprak örneğinden 20 cm^3 alınarak iki Haines aygıtına yerleştirilir.

İki toprak örneğinden biri yavaş diğeri ise oransal olarak daha hızlı ıslatılır. Islatma işlemi, yavaş yapılan örnek tablasının 10 cm emiş yapan aygıtta 24 saat süre ile yavaş yavaş ıslatılmakta ve toprak tamamen nemlendikten sonra 20 saniye su içinde kalacak şekilde su düzeyi yükseltilir.

İkinci örnek suya boğulu duruma gelince 10 cm'lik emiş tansiyonuna bırakılır.

Hızlı ve yavaş ıslanmış bu iki örnekte emiş yavaş yavaş 0 dan 25 cm yükseltilerek drene olan su hacimleri ölçülür. Değişik emişlere karşı iki örneğin nem içeriği oransal bir ölçekte çizilir (Şekil, 16.4).



Şekil 16 4 Toprağın suya dayanıklılık sınama sonuçları (FAO, 1976)

Böylece hızlı ve ağır ıslanmalarda elde edilen sonuçlarla çizilen eğrilerin üstünde kalan alanlar birbirine oranlanır (A/B). İki alanın birbirine eşit olması A/B=1, tümüyle suya dayanıklı A/B=0 tümüyle suya dayanıksız bir toprak anlamına gelir (FAO, 1976).

Eğer toprak tamamıyla suya dayanıklı olursa ağır ve hızlı ıslanma sonuçlarında çizilen eğriler birbirinin aynısı olur. Suya dayanıklı toprağın siltasyonu önleme için zarfa gereksinimi yoktur.

16.4 Zarf Gereksinimi Belirleme Yöntemleri

Dren zarfı gerekliliğini belirlemeye yönelik olarak bir takım yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

16.4.1 Kil ve SAR yöntemi

Literatürde tarla denemelerine ilişkin veriler olmamasına karşın yöntem 1995'de rapor edilmiştir. SAR>8-12, kil %>40 veya % kil<% 25. Bu aralıkları veren hiçbir rapor yoktur. Toprağın EC değeri de önemli rol oynar fakat bu tam olarak belirlenmemiştir.

16.4.2 Kil yöntemi

Hollanda ve Mısırdan rapor edilen sonuçlarda kişisel deneyimler esas alınmıştır. Bu yöntemle ilgili çok az veri olup, 1980'li yılların başlarından ortalarına kadar takdim edilen literatürlerde veri setleri olmayıp, kıt ve sınırlı değerler vardır. Kurak iklimlerde topraklar, nemli iklimlere göre daha az stabildir. Toprak stabilitesinde kil içerikleri yalnız başına yeterli bir indikatör olmayabilir. Sonuç olarak HFG yöntemi ve SAR göz önüne alınarak karar geliştirilmelidir (ILRI, 1998).

16.4.3 PI Yöntemi

Literatürde 1976'dan beri az veri olması rağmen, (PI) plastisite indeksi uygulamaları için sınırlama belirtilmemiştir (Dieleman ve Trafford, 1976).

16.4.4 Cu yöntemi

Çok az tarım toprağı 12'den daha büyük üniformite katsayısına (Cu) sahiptir. Cu değerleri genellikle literatürde rapor edilmemiş olup, 1976'dan beri fazla veri yoktur (Dieleman ve Trafford, 1976).

16.4.5 HFG yöntemi

HFG: $0.02<Ks<4.5$ m gün^{-1} değerleri ile sadece Utah State ve Michigan Üniversitelerinde test edilmiştir. Kurak bölgelerde kullanıma uygunluğunu belirlemek için Mısır'da yapılan uygulamalar henüz sonuçlanmamıştır (ILRI, 1998).

Stabil olmayan topraklara döşenen drenaj boruları için gerekli olan zarf materyalini belirlemede HFG yönteminin bir gösterge olarak kullanılabileceği belirtilmektedir (Amer, 2001). Toprağın HFG değeri akan suyla harekete geçen toprak parçacıklarının eğimidir. Bu parametre permeametre seti ile doğrudan belirlenebilir veya toprak özelliklerin kestirilebilir. Sodyumlu topraklarda EC ve kalsiyum içeriğine bağlı olarak yüksek bulunmaktadır. Kumlu topraklarda hidrolik iletkenlik, kalsiyum karbonat ve silt içeriği ile sülfat-oksit anyonlarıyla ilişkili olmak üzere yüksek bulunmaktadır.

HFG yöntemi, kil etkileriyle birlikte ele alınır ve toprağın doygun hidrolik geçirgenliğini ve plastisite indeksini kapsar (K_s, eğer tarla ölçümlerini temel almışsa,

veya K_c, eğer hesapla elde edilmişse). Bu yöntemin global kullanım potansiyeline sahip olduğu bildirilmektedir. Ancak dünyada yaygın olarak test edilme gereksinimi vardır.

Genellikle kil yöntemi toprak bünye üçgeni ile beraber kullanılarak zarf gereksinimi hakkında ilk göstergelere ulaşılabilir. Toprak kimyası ve su kalitesi verileri, yüksek SAR değerlerinin dispersiyon sorunlarına neden olup olmayacağını gösterir. Plastisite indeksi (PI) ve üniformite katsayısı yalnız başına kullanılmazlar. Bir yöntem bir kez kullanıldığında, geriye dönmeye gerek olmaması için, Şekil 16.5'te değişik yöntemler sıraya koymuştur. Fakat yine de bunun doğrulanması gerekir. Çünkü yöntem daha önce hiç uygulanmamıştır.

Vlotman ve ark., (1998) zarf ve filtre belirmede kullanılan yöntemleri karşılaştırmak için Mısır ve Pakistan'dan elde edilen veri setlerini kullanmışlardır. Ancak çalışma sonunda yöntemlerin hiçbirisi yalnız başına zarf gereksinimini belirlemede yeterli olmamıştır.

16.5 Zarf Materyali Seçimi

Bir kez zarf gereksinimi belirlendiğinde, toprak ve zarf yüzeyleri arasındaki iyi hidrolik koşulları yaratma görüş noktasından, bundan sonra hangi materyalin kullanılacağı göz önüne alınarak karar verilir. Toprak zarf yüzeyleri arasındaki çıkış gradienti hakkındaki detaylı hesaplamalar yapmak yararlı olabilir. Eğer bu varsa, iyi su geçişini sağlayan zarf seçilmelidir. Geleneksel olarak zarfsız boru çevresindeki giriş deliklerinin oranı %1-2'dir. Fakat bu değerlerin (Van Someren, 1972) %5'e ve Framji, (1987) %9'a kadar yükselebileceğini bildirmişlerdir. Delik boyutları Avrupa ve Asya'da tipik olarak 0.8-3.0 mm iken, ABD'de 250 mm'den daha büyük boru çaplarında 10 mm kadar olabilmektedir.

Bir zarf borunun etrafına sarıldığında, duvarlardaki kritik ortak yüzey değişir. Bu durumda çıkış gradientinin hesaplanmasında zarfın delik alanı önemli olur (Vlotman, 1998). Deliklilik oranı kum-çakıl zarfların %30-40, örgülü sentetiklerin % 6-12 ve örgüsüz sentetiklerin %50-85 arasında değişir. Ön sarımlı gevşek materyaller (PLM), örgüsüz sentetiklerin gözenekliliğine yakın değerlere sahiptirler. Burada unutulmaması gereken test koşullarının 2 Kpa olduğudur. Gözeneklilik ve aynı

zamanda materyalin kalınlığı, dren derinliği 1.2-3 m olduğunda orijinal değerler %50 kadar azalabilir.

Başlangıçta zarf materyali tipi seçilirken tasarım ölçütleri gerekli değildir. Fakat bir seri genel ölçüt göz önüne alınmalıdır. Bunlar;

-Materyalin varlığı ve olası fiyatı,

-Beklenen işlev (hidrolik, filtre, yataklama, yüklenme),

-Taşıma karakteristikleri,

-Biyokimyasal kirlilik tehlikesi, toprağın olgunlaşma işlemi, organik madde, kireç içeriği ve PH'sı,

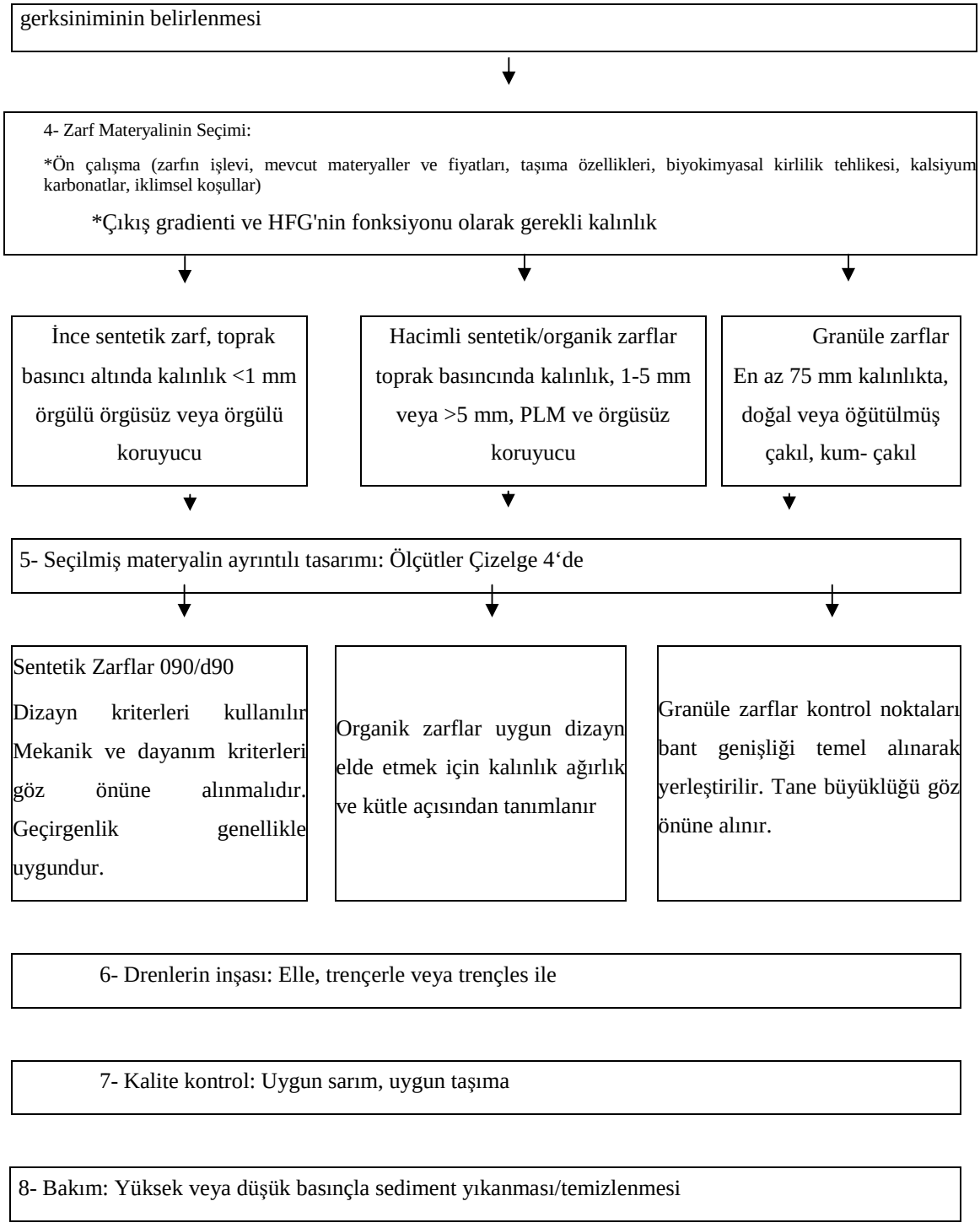
-İklim koşulları,

-Gerekli kalınlık

Şekil 16.3 arzu edilen uygun hidrolik koşulları yaratmak için minimum zarf kalınlığının hesaplanmasını göstermektedir. İşlem ince bir zarf varsayımıyla başlar, bu bir sentetik materyal olabilir. Ancak toprak zarf yüzeyleri arasındaki çıkış gradientine ve HFG'ye (hydraulic gradient failure) bağlı olarak bir zarf 30-50 mm den, daha fazla bir zarf kalınlığının (egemen toprak basıncında) gerekliliğini bulabilir. Böyle durumlarda yerel koşullarda kum-çakıl zarflar arzu edilen ekonomiyi sağlayabilir.

Çizelge 16.2. Dren zarf tasarımı ve inşasında işlem basamakları (Vlotman, 1998).

1- Proje öncesi, toprak etüdü(temel toprağın) -Dane dağılımını belirlemek için toprak örneklemesi -% C, plastisite indeksi (PI), hidrolik iletkenlik (K_s) -ECe, SAR değerleri -Fe ochre, $CaCO_3$
↓
2- Sistem tasarımı: Dren aralığı+derinliğin bir fonksiyonu olarak hidrolik iletkenlik ve drenaj katsayısı
↓
3- Drene edilecek toprağın bir fonksiyonu olarak bir ya da daha fazla sayıda gösterge testi ile zarf



16.6 Zarf Tasarımı

Dren zarfının tasarımı, her üç ana materyal için, toprak parçacık boyutlarıyla karşılaştırılan bir materyalin delik açıklıklarının seçilme işlemidir. Dren zarflarının uygulamasının bu aşamasında en olası kullanılacak materyali biliriz. Bu kalın veya

ince materyal, granüle ve sentetik veya belki de geçici kullanım için organik materyal olabilir.

Daha ileriye gitmeden önce, dren derinliğindeki toprağın özelliklerinin bilinmesine gereksinim vardır. Drenaj öncesi araştırma ve etütlerinden yeterli veri toplanmış olmalıdır. Eğer böyleyse, yapılmış olan elek analizlerinden yarı-logaritmik kağıtlara birikimli tane büyüklüğü dağılım eğrileri çizilir. Sonuçta toprak tane büyüklük eğrisi bandı elde edilir. Böylece filtre ve tutulma ölçütleri için daha ince sınır, temel-toprak bant genişliğini, tatmin edici geçirgenlik için daha kaba sınırı kullanırız.

Dren zarflarının tasarımında da iki yaklaşım vardır. Biri laboratuar gözlemleriyle belirlenen ölçütlerin kullanılabileceği, diğeri tarlada ve laboratuvarda yapılan denemelerden ölçütlerin elde edileceğidir. İkisi arasındaki fark laboratuvar gösterge deneylerinin her materyal ve her durum için yapılabileceğidir. (Vlotman, 1998). Halbuki genelleştirilmiş ölçütler daha ileri laboratuvar testleri yapmadan bir rehberlik verir.

16.6.1 Granüle zarf materyallerin tasarımlanması

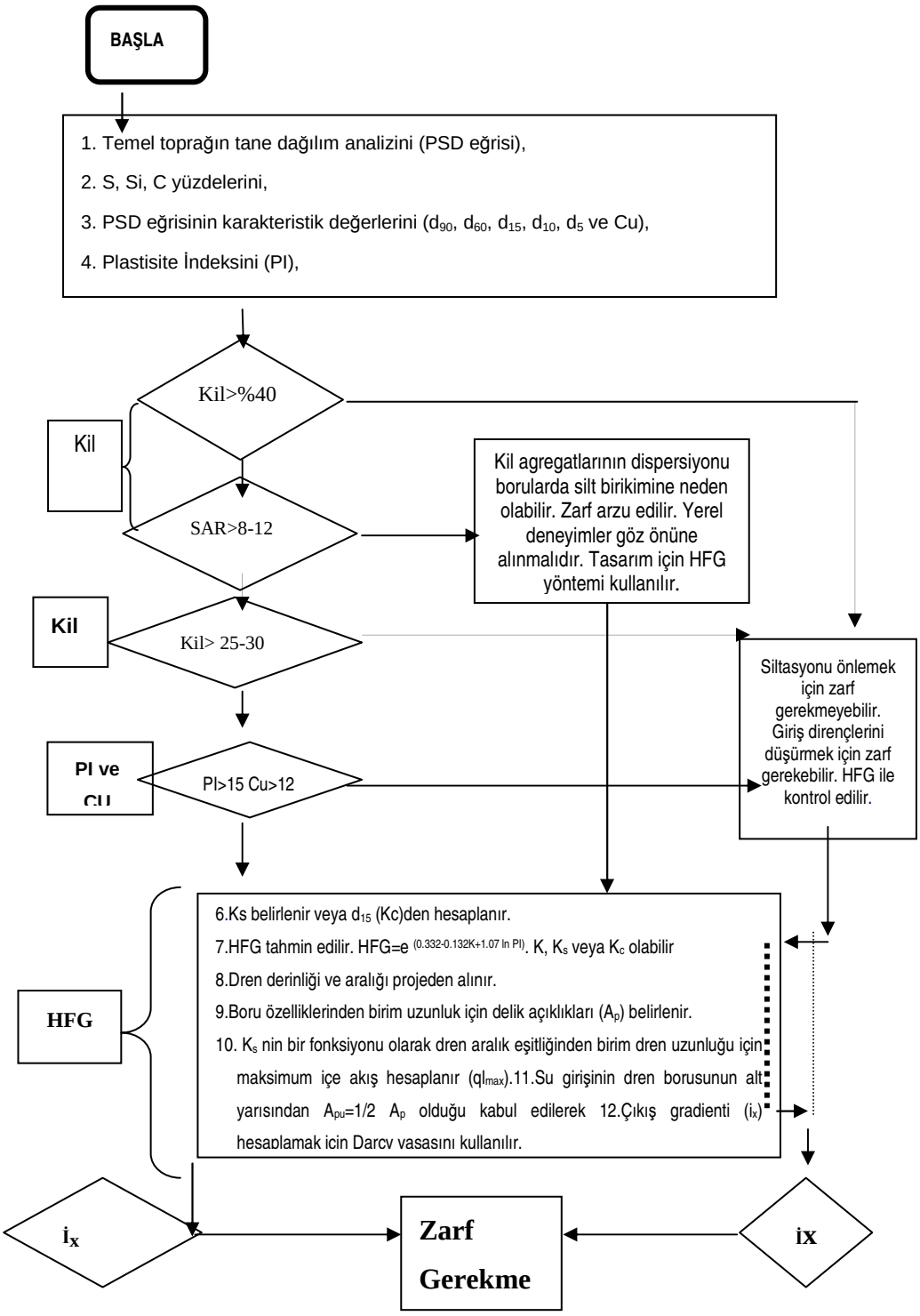
Toprağın bir filtreye gereksinim duyup duymadığına karar verebilmek için tane büyüklüklerine ilişkin dağılım eğrilerinin çizilip incelenmesine gerek vardır. Dieleman ve Trafford (1976)'un bildirdiğine göre bu anlamda ilk filtre ölçütleri Terzaghi (1941) tarafından verilmiştir. Bu alanda çalışan birçok kişi Terzaghi'yi izlemiş ve değişik ölçütler geliştirmişlerdir. Bunlardan van der Beken (1968) tarla drenajına, Spalding (1970) ise yol drenajına ilişkin ölçütleri ve yöntemleri geliştirmişlerdir. Anılan yöntemde, drenaj alanından alınan yeterince temel toprağı örneğinin mekanik analiz sonunda eklemeli tane dağılım eğrileri çizilir. Elde edilen değerler üzerinde aşağıda belirtilen işlemler yapılır.

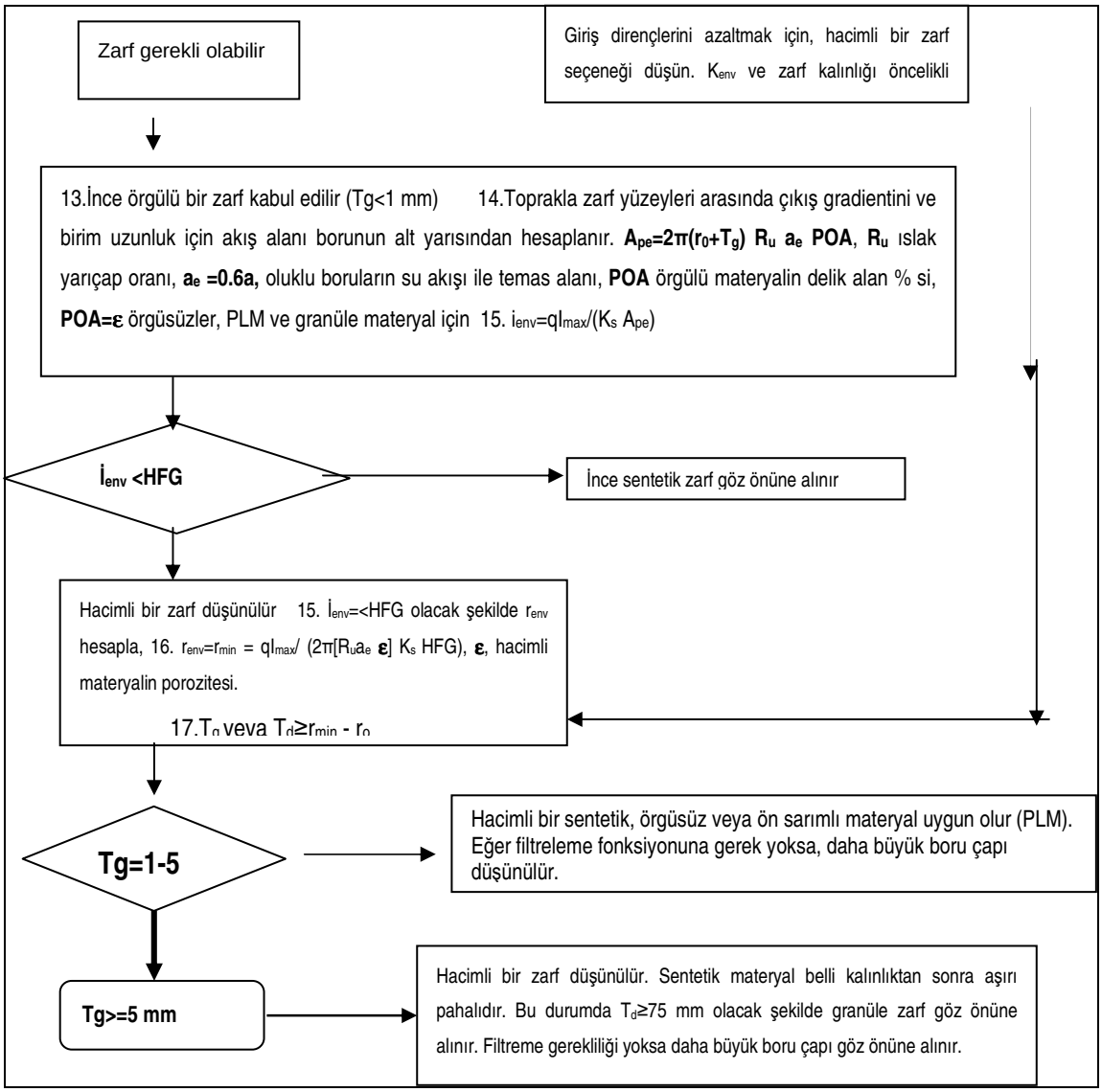
ABD Toprak Muhafaza Servisi filtre ölçütleri üzerinde yapılmış araştırmaları gözden geçirmiş ve aşağıdaki önerileri yayınlamıştır (USDA, 1971).

16.6.2 Diğer ölçütler

Granüle, organik ve sentetik (jeotekstil) olmak üzere üç çeşit dren zarfı vardır. Dren zarflarının granüle filtrelerin tasarımı için onbeş ölçüt seti vardır. Organik dren zarfları için daha az ölçüt, sentetik dren zarfları ve filtreleri için yirmi bir ölçüt seti vardır ve bu sayı her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle Vlotman, (1998) tarımsal drenajda kullanılmakta olan dren zarf tasarımlarından kullanılabilir olan bütün ölçütleri gözden geçirip değerlendirmişlerdir.

Buna göre temel toprağı malzemesinin % 50'sinin küçük olduğu çap değerinin 12 ve 58 ile çarpımı filtre malzemesinin % 50'sinin alt ve üst sınırlarını verir;


BAŞLA
1. Temel toprağın tane dağılım analizini (PSD eğrisi),
2. S, Si, C yüzdelerini,
3. PSD eğrisinin karakteristik değerlerini (d_{90}, d_{60}, d_{15}, d_{10}, d_5 ve Cu),
4. Plastisite İndeksini (PI),
Kil>%40
Kil
SAR>8-12
Kil agregatlarının dispersiyonu borularda silt birikimine neden olabilir. Zarf arzu edilir. Yerel deneyimler göz önüne alınmalıdır. Tasarım için HFG yöntemi kullanılır.
Kil
Kil> 25-30
Siltasyonu önlemek için zarf gerekmeyebilir. Giriş dirençlerini düşürmek için zarf gerekebilir. HFG ile kontrol edilir.
PI ve CU
PI>15 Cu>12
6.Ks belirlenir veya d_{15} (Kc)den hesaplanır.
7.HFG tahmin edilir. HFG=$e^{(0.332-0.132K+1.07\ln PI)}$. K, K_s veya K_c olabilir
8.Dren derinliği ve aralığı projeden alınır.
9.Boru özelliklerinden birim uzunluk için delik açıklıkları (A_p) belirlenir.
10. K_s nin bir fonksiyonu olarak dren aralık eşitliğinden birim dren uzunluğu için maksimum içe akış hesaplanır ($q_{l_{max}}$).11.Su girişinin dren borusunun alt yarısından A_{pu}=1/2 A_p olduğu kabul edilerek 12.Çıkış gradienti (i_x) hesaplamak için Darcy yasasını kullanılır.
HFG
i_x
Zarf Gerekme
ix



Şekil 16.5 Zarf gereksinimini belirlemede ve tasarımlamada işlem basamakları (Vlotman, 1998).

$$\frac{F_{50}}{T_{50}} = 12 - 58 \qquad (16.1)$$

Temel toprağı malzemesinin % 16'inin küçük olduğu çap değerinin, 12 ve 40 ile çarpımı filtre malzemesinin % 15'inin alt ve üst sınırlarını verir.

$$\frac{F_{15}}{T_{15}} = 12 - 40 \qquad (16.2)$$

Bu işlem sonunda elde edilen değerler tane dağılım eğrileri ile birlikte çizilir. Zarf malzemesi olarak düşünülen kum çakıl ocaklarından alınan örneklerin tane dağılım eğrileri belirlenen alt ve üst sınırların dışına taşmıyorsa filtre malzemesi olarak kullanılır.

Ayrıca aşağıdaki ölçütlerin göz önüne alınması gerekir. Filtre malzemesinin % 15'inin tane çapı, temel toprağının % 85'inin tane çapının 5 katından daha fazla olmamalıdır;

$$\frac{F_{15}}{T_{85}} \leq 5 \qquad (16.3)$$

$F_{100<=}$38 mm ve $F_{90<=}$ ve F_{85}>=boru delik genişliğinin yarısı olmalıdır. FAO (1980)'da ise ince parçacıkların denetimi nedeniyle F_5>= 42 mm olması önerilmektedir.

Hem temel toprağının, hem de filtre malzemesinin az çok üniform bir derecelenmeye sahip olması durumunda filtre stabilite oranının 5'ten küçük olması genel olarak uygundur. Böylece temel toprağının ince tanelerinin filtre malzemesi içerisinden yıkanarak geçmesi önlenmiş olacaktır. İçerisinde organik ve yabancı madde bulunmayan sert ve temiz kum-çakıldan oluşan iyi bir filtre malzemesinin tane dağılımının Çizelge 3'te verilen tane dağılımına yakın bir dağılım göstermesi gerekir. Çizelge 16.3'de kum çakıl filtre malzemesinin tane çapları ve elekten geçme yüzdeleri verilmiştir (Gemalmaz ve ark. 1992).

Çizelge 16.3 İyi bir filtre malzemesinin tane dağılımı

Standart elek no		Elekten geçen malzeme %
İnç & no	mm	
2 inç	50.8	100
4	4.76	95-100
16	1.119	45-80
20	0.297	10-30
100	0.149	2-10
200	0.074	0-5

Bir örnek olması bakımından Çumra Ovası drenaj alanında ayrı yerlerden alınan drenleri çevreleyen temel toprağının mekanik analiz sonuçları Çizelge, 16.4'te zarf malzemesi olarak kullanılan kum-çakıl filtrenin mekanik analiz sonuçları ise Çizelge 16.4'de verilmiştir.

Görüldüğü gibi, filtre malzemesinin maksimum büyüklüğünün 3.81 cm'yi aşmadığı, filtre malzemesinin %5'inden fazlasının 200 no'lu eleğin altına geçmediği,

yani 0.074 mm'den küçük olmadığı, kum-çakıl filtre malzemesinin tane dağılımının Çizelge 16.2'de verilen tane dağılım sınırlarına yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 16.4. Temel toprağı mekanik analiz sonuçları (Bahçeci ve ark., 2001)

Elek Açıklığı		Örnek 1		Örnek 2		Örnek 3		Örnek 4	
No	(mm)	Elek üstü (%)	Elek üs. Eklenik (%)	Elek üstü (%)	Elek üstü Eklenik (%)	Elek üstü (%)	Elek üstü Ek .(%)	Elek üstü (%)	Elek üstü Eklenik (%)
No 4	4.760			0	0	0	0	0	0
No 10	2.000	0	0	0.8	0.8	4.1	4.1	0.5	0.5
No 20	0.841	1.3	1.3	1.4	2.2	3.3	7.4	1.2	1.7
No 40	0.420	1.8	3.1	3.5	5.7	4.1	11.5	8.2	10.0
No 60	0.250	3.6	6.7	7.1	12.8	4.7	16.2	12.8	22.8
No100	0.149	13.2	19.9	14.1	26.9	13.6	29.8	25.0	47.8
No200	0.074	25.7	45.6	22.9	49.8	20.1	49.9	27.6	75.4
	0.050	5.6	51.2	8.7	58.5	5.2	55.1	11.1	86.5
	0.030	11.2	62.4	11.8	70.3	10.2	65.3	6.0	92.6
	0.002	37.6	100	29.7	100	34.7	100	7.4	100

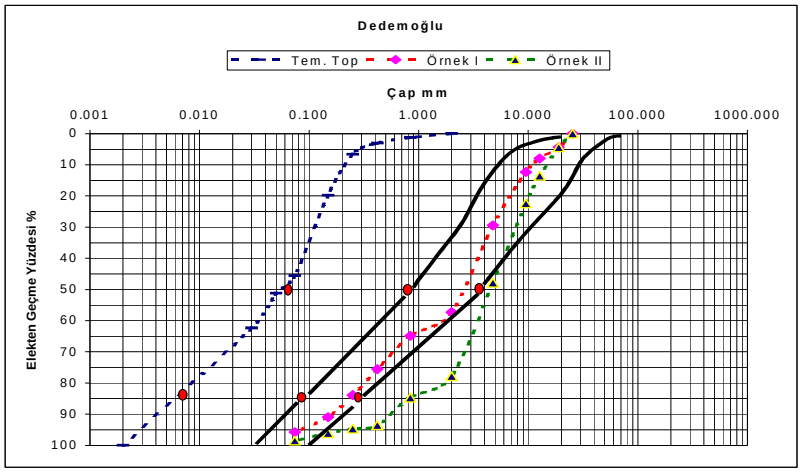
Çizelge 16.4'te görüldüğü gibi temel toprağının 4.76 mm'den büyük tanecikler içermediği, yani tüm temel toprağı malzemesinin 4 no'lu eleğin altına geçtiği görülmektedir. Bu nedenle temel toprağı mekanik analizi malzemenin tümüne uygulanmıştır.

Çumra Ovasında iki yerden alınan temel toprağı ve kum-çakıl zarf malzemesi ile ilgili tane dağılım grafikleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 1 nolu kum çakıl zarf malzemesinin tane dağılım eğrileri, temel toprağına ilişkin tane dağılım eğrisinden elde edilen filtre alt ve üst sınırlarını belirten eğrilerinin alt ve üst sınırları arasında kalmıştır (Şekil 16.6). Ayrıca Çizelge 16.6'daki temel toprağının ve Çizelge 16.4'deki kum-çakıl zarf malzemesinin mekanik analiz sonuçları dikkate alındığında, kum çakıl malzemenin tane dağılım eğrileriyle temel toprağın tane dağılım eğrilerinin birbirlerine yaklaşık olarak paralel olduğu görülmektedir. Bu alan için seçilen filtre ve zarf malzemesi ölçütlere uygundur. Granüle dren zarfları için önerilen ölçütler Çizelge16.6'da verilmiştir.

Çizelge 16.5 Filtre malzemesi (kum-çakıl) mekanik analiz sonuçları (Bahçeci ve ark., 2001)

Elek Açıklığı		Örnek I		Örnek II	
İnç-No	(mm)	Elek üstü (%)	Elek üstü Eklenik (%)	Elek üstü (%)	Elek üstü Eklenik (%)
1	25.400	0	0	0	0
¾	19.050	4.3	4.3	4.4	4.4
½	12.700	3.6	8.0	9.1	13.5
3/8	9.510	4.3	12.3	8.9	22.4
No 4	4.760	17.1	29.4	25.4	47.8
No 10	2.000	27.9	57.3	30.0	77.8
No 20	0.841	7.6	64.9	6.8	84.6
No 40	0.420	10.7	75.6	8.9	93.5
No 60	0.250	8.3	83.9	1.1	94.6
No 100	0.149	7.1	91.0	1.4	96.1
No 200	0.074	4.8	95.7	2.5	98.5

Temel toprağının %15'nin 12 ve 40 ile çarpılarak filtrenin bulunan alt ve üst sınırı temel toprağının %50'sinin 12 ve 58 ile çarpılarak filtrenin bulunan alt ve üst sınırı bulunur.



Şekil 16.6 Konya-Çumra ovası drenaj alanı ile zarf malzemesinin tane dağılım grafiği

Bazı durumlarda dren döşenme sırasında bozulan toprakların kararlı bir hale gelmesi için geçici bir süre için organik malzemeler kullanılabilmektedir. Bu durumda dren döşeme derinliğindeki toprakların organik malzemenin çürümesi için geçen sürede kararlı bir hale gelerek uygun koşulların oluştuğu varsayılır.



Şekil 16.7 Ön sarımlı kaba materyal

Son zamanlarda önsarımlı plastik borular drenajda yaygın olarak kullanılmaktadır. Önsarımda kullanılan materyaller sentetik lifler (jeotextil) veya cam yünü gibi malzemelerdir. Bu malzemelerin kullanımına ilişkin kimi örnekler ve borularda siltasyon Şekil 16.4'de görülmektedir.

Çizelge 16.6 Granüle dren zarfları için önerilen ölçütler (ILRI,1998)

Kontrol noktasının tanımı	Ölçüt	Uyarılar
Kaba materyal için bant genişliği		
1.Filtre, tutulma ölçütleri	$D_{15c}<7d_{85f}$	
2.Dane dağılım eğrisi rehberi	$D_{60c}=5*D_{15c}$	
3.Ayrışma ölçütüi	$D_{100}<9.5$ mm	
İnce materyal için bant genişliği		
4a. Hidrolik ölçütler	$D_{15f}>4*d_{15c}$	
4b. Dane dağılım eğrisi rehberi(band genişliği)	$D_{15f}>D_{15c}/5$	
5. Hidrolik ölçüt	$D_{60f}>D_{60c}/5$	Temel:Cu≤6 ve bar
6. Dane dağılım kriterleri (band genişliği)		genişlik
7. Tutulma kriterleri	$D_{85} > D_{delik}$	oranı ≤5
		$D_5>0.074$ mm
		Oran ≤5 PSI
		eğrisinin
		% 60 altında
Ek ölçütler	Bütün delikler en az 76 mm zarf materyali	
İnşaat ölçütler	ile kaplanır. Zarf zararlı maddeler içermemeli	
	Hiçbir parçacık en kısa kenarın iki katından dal büyük	
	21 nolu elekten geçen parçacık olmamalı	
	$K_{env}< 300$ mm/gün	

16.6.3 Organik ve sentetik zarflar için ölçütler

Organik zarflarla ilgili tasarım ölçütleri Çizelge 16.6'da, sentetik zarflarla ilgili ölçütler ise Çizelge 16.7'de verilmiştir. Bu malzemelerin kullanılması halinde, bunlar öncelikle genel ölçütler uymalıdırlar.

Organik materyaller genellikle hacimli olup 2 kPa basınç altında en az 4 mm kalınlıkta olmalıdır. Ortalama kalınlık üretici etiketindeki belirtilenden % 25 den dana fazla sapmamaktadır. Çizelge 16.7 değişik zarf materyallerinin Avrupa ve Amerikadaki standartlarını göstermektedir.

Tarımsal alanlar için sentetik dren zarflarının tasarımı toprağın d_{90} ve malzemenin açıklık O_{90} boyutlarına dayanılarak yapılmaktadır. Sentetik zarflar için ölçütler 4 sınıf altında toplanabilir. Bunlar (i) tutulma, (ii) hidrolik, (iii) uzun dönemde tıkanmanın önlenmesi, (iv) mekanik dayanıklılıktır.

Çizelge 16.7 Organik dren zarfları için önerilen tasarım ölçütleri (ILRI, 1998)

Tanımlama	Min. Kalınlık mm	Yorum/Uyarı
Bitkisel Materyal	150	ASAE EP260.4 (ASAF,1984) granüle zarflar tarafından sağlanan yatay desteklere bağlı olarak sadece plastik olmayan sert borular için kullanılması önerilmektedir.
Ön sarımlı kaba materyal (plm) Sentetik lifler Sentetik granüller Organik lifler Organik granüller	 3 8 4 8	CEN/TC 155 N 1261, 1994 ISO 9863 veya ISU standardın ek B'ye göre belirlenen kalınlık. Üretici tarafından açıklanan kalınlıklardan % 25'ten daha fazla sapma olmamalı.
Hindistan cevizi lifi		NEN 7047, 1981 (Hollanda standardı)
Tip 750 g (Kütle>750 g/m^2)	6	Ancak 10xgerçek kütle/750, den daha büyük değil
Tip 1000 g(Kütle>1000 g/m2)	8.5	Ancak 13xgerçek kütle/1000, den daha büyük değil

Dren boruları içerisindeki organik materyalin gerekli kütlesi (BRBV, 1978 ve NEN 7074, 1981)

	Keten Samanı		Hindistan Cevizi Lifi	
	Şerit	Önsarımlı	Şerit	Önsarımlı
Nominal Kütle g/m^2	2000	1500	1000	750
Minimum Kütle g/m^2	1800	1350	900	675

Önerilen ölçütlerin ilk üçü Çizelge 16.8'de verilmiştir. Mekanik özellikler taşıma ve yerleştirmede önem kazanır. Sentetik dren zarfları (jeotekstil) ile sarılı dren boruları bazen doğal havalanma ve kimyasal bozulmalarla karşılaşabilirleler. Onun için sentetik materyallerde çizelgede belirtilen özelliklerin bilinmesi gerekir. Bunlar

Birim alana düşen kütle ve kalınlık

-Bağlantı yerlerinin güçlülüğü

-Statik delik drenci

-Sıkışmaya karşı dayanım

-Aşınmaya karşı dayanım

-Bozulmaya karşı direnç olarak sayılabilir

Sentetik zarf materyallerinin kalınlığının bilinmesi genel olarak anılan malzemeyi tanıma, ürünün düzenli bir şekilde doğruluğunu kanıtlama ve gerekli diğer özelliklerini değerlendirme amaçlıdır. Ayrıca yerleştirildikten sonra belli basınçlarda özelliklerinin bilinmesi de önemlidir..

Çizelge 16.8 Sentetik dren zarfları için önerilen tasarım ölçütleri (ILRI, 1998)

Jeotekstil	Akış Tipi	Ölçütler	Uyarı ve Yorumlar
İnce(Tg ≤ 1 m) Hacimli(Tg ≥ 5 mm) Ara (1 ≤ Tg ≤5)	--	$0_{90}/d_{90}<2.5$	Tutulma kriterleri
	--	$0_{90}/d_{90}<5$	Tutulma kriterleri
	--	İnterpole	Tutulma kriterleri
	--	$0_{90}>200$ μm	Hidrolik ve tıkanma ölçütü
	Dinamik ve kararlı	$K_e \geq a\ K_s$	Hidrolik kriter a=0.1 güvenli değil a=1 kritik olmayan koşullar a=10 ters akım için
	-	$0_{90}/d_{90}>1$	Tıkanmaya karşı
	--	$0_{90}/d_{90}>100$-200 μm	Tıkanmaya karşı
Mekanik güç ve diğer kriterler ayrıca ele alınmalıdır.			

Birim alana düşen kütle ve kalınlık ta ürünü tanımak ve doğru ürün olduğunu belirlemede önemli bir faktördür. Önerilen ürünün fiyatının hesaplanmasında kalınlık kritik bir faktördür.

16.7 Gösterge Deneyler

Toprak ve zarf materyallerinde yapılan testlerin amacı belirli topraklar için dren-borusu zarf materyal gereksiniminin en uygun olanını belirlemektir. Testler dren zarflarının işlevsel özelliklerini yerine getirilmesi hakkında bilgiler sağlar. Bunlar,

*Toprak parçacıklarının boru içine girme ve silt birikmesini önleme yeteneği,

*Bloklaşmama (kekleşme), bu durumda su geçirgenliği hızlı bir şekilde düşer. Genellikle sentetik zarflarda rastlanır.

*Gözeneklerin tıkanması, zamanla zarfın su iletkenliği azalır. Sentetik ve granüle filtrelerde toprak parçacıklarının zarf tarafından tutulması veya zarf üzerinde birikmesiyle oluşabilir.

Tanımlanan testler toprak-zarf-dren kombinasyonu laboratuarda sınamanın basit yoludur. Tarlada karşılaşılan durumlar laboratuarda simule edilir ve sonuçlar tarlada ne olabileceğini gösterir. Ancak test sonuçları mutlaka doğrudan tarlaya uygulamak gerekmez.

16.7.1 Uzun dönem akış sınaması (LTF)

Zarf malzemelerinin hidrolik performanslarını belirlemek için yaygın olarak yapılan akış sınamalarıdır. Bu sınamalarda aşağı akışlı su geçirgenlik ölçüm aletleri kullanılır. Amaç uzun dönemde sentetik zarfların davranışlarını belirlemektir. Sınama süresi 500-1000 saattir. Verdiler zamana karşı çizilerek filtrenin tıkanma eğilimleri belirlenir. Sınamaların süresi ve dolayısıyla yosunlaşma yöntemin uygulanmasında sorun yaratabilmektedir.

16.7.2 Gradient oranı (GR)

Toprak-filtre seçeneklerini belirlemek için aşağı akışlı su geçirgenlik belirleme aletleri kullanılır. Sınamada akış oranı yerine toprak zarf bileşimine karşın değişik noktalarda su yükleri ölçülür ve beklenen davranışla karşılaştırılır. Eğer gradient oranı 3'ten büyükse toprak-zarf bileşeni kabul edilemez, oran 3'ten küçükse edilir.

16.7.3 Hidrolik iletkenlik oranı (HCR)

Bu tür denemelerin yapılmasında geleneksel geçirgenlik ölçme aletleri kullanılır. Toprağın üstüne sentetik zarf yerleştirilir. Önce aşağı akış, sonra yukarı akış uygulanarak toprağın hidrolik iletkenlikleri (K_s) ölçülür. Elde edilen iki Ks değerleri arasındaki oran toprak-zarf seçenekleri için kabul edilebilirlik göstergesi olarak kullanılır. Anılan sınama tarım alanları dışında kullanılmakta, tarım alanlarında ise zarf seçimi ve tasarımı için henüz sorun olduğu bildirilmektedir (ILRI, 1998).

Dren zarf araştırmalarında elde edilen sonuçların yorumlanması bakımından yukarı akışlı permeametrelerin (geçirgenlik ölçüm aletleri) kullanılması, arazi koşullarına benzemesi bakımından, önerilmektedir. Sınamaların tarlaya aynen uygulanması söz konusu olmamasına karşın, en kötü koşulları yansıtması nedeniyle, elde edilen sonuçların tarla koşullarında da uygulanabileceği anlamına geleceği söylenebilir. Ancak burada diğer bazı koşulların da zarf performanslarını etkileyebileceğini unutmamak gerekir. Özellikle inşaat veya döşeme sırasındaki

hatalar zarf performanslarını olumsuz yönde etkileyebilir. Bunlar uygun olmayan geri doldurma, düzgün olmayan yatak veya çökmeler, boruların kırılıp ezilmeleridir.

16.8 Zarf Döşenmesi

Drenler ve dren zarfları elle veya makine ile döşenirler. Ancak günümüzde artık genellikle elle döşeme söz konusu değildir. Trençer (hendek açan) veya trençlesler (hendeksiz dren döşeme makinası) drenleri ve zarfları otomatik olarak döşeyebilmektedirler. Eğer zarf malzemesi kum-çakıl ise döşeme için trençles önerilmez. Bunun başlıca iki nedeni vardır.

a) Trençlesin dren borusunu döşemek için açtığı açıklığa boru ve en az 75 mm kalınlığındaki zarf malzemesinin yerleştirilmesi sorun yaratmaktadır

b) Kum-çakılın trençlesteki akışkanlığı trençerdekinden daha düşüktür. Onun için döşeme sırasında zaman zaman kesintiler olabilmekte ve bu durum drenlerin çevresine yeterince malzeme serilmesini önleyecektir. Anılan nedenler kum-çakılın trençles ile döşenmesini sınırlandırmaktadır. Sentetik zarflar ise trençles ile uygun bir şekilde döşenebilmektedir.

Plastik dren borularının trençerle döşenmesi sırasında boru çevresine 75-100 mm kum-çakıl döşeyecek özellikte makinalar olmasına özen gösterilmelidir. Anılan araçlar kum çakılın hendeğe akışı sırasında tıkanma ve kesintileri önleyecek düzeneklere sahip olmalıdır.

Kum çakılın elle döşenmesinde ise malzemenin boru boyunca dağılımı birörnek olmamaktadır. Ayrıca malzemenin büyük ve küçük parçacıkları boru çevresinde ayrı kümeler halinde kalmakta ve dolayısıyla filtreleme işlevi ortadan kalkabilmektedir.

Dren borularının su tablası altına döşenmesi durumunda makinanın döşeme hızının yüksek olması (5 m dak^{-1}) önemlidir. Döşeme işleminin taban suyunun oluşturacağı kaldırma kuvveti ortaya çıkana kadar tamamlanması gerekmektedir. Ancak çok geçirgen topraklarda yine de zaman zaman sorunlar çıkabilir.

16.9 Zarf Bakımı

Dren hatlarını performanslarını sürekli kılmak için onları düzenli olarak denetlemek ve bir bakım programı uygulamakla olanaklıdır. Böylece drenaj

yatırımlarının amaçlarına ulaşması ve onların korunması sağlanacaktır. Drenlerde silt birikimi nedeniyle drenlerin su taşıma kapasiteleri ve dolayısıyla çalışma etkinliği azalacaktır. Onun için dren hatları zaman zaman denetlenerek gerekirse borularda biriken siltasyonun giderilmesi gerekir. Dren hatlarının çalışmasını engelleyen diğer faktörler ise bitki kökleri ve kimyasal çökelmeler olabilir. Bu bakımdan öncelikle performans düşüklüğünün nedeni belirlenmelidir.

Dren borularında silt birikimi uygun olmayan eğim, yetersiz boru çapı, yanlış zarf seçimi veya tasarımından, döşeme sırasındaki olumsuz koşullardan birinin veya birkaçının bir arada olmasından ileri gelebilir.

Drenlerde silt birikiminin giderilmesi basınçlı su jetleri ile yapılabilmektedir. Bu işlem için 50 bar gibi yüksek basınçtan 20 bar gibi düşük basınç üreten aletler geliştirilmiştir. Yüksek basınçlı su jetleri dren borularında biriken toprağın, bitki köklerinin ve kimyasal çökeltilerin giderilmesini sağlar. Bu tip temizleme işleminde dren borularındaki deliklerden su girişi nedeniyle bazı dren zarflarının işlevinin geliştirilmesi sağlanabilir. Ancak zarfsız drenlerde yüksek basınçlı su borulara sediment girişini artırabilir. Sulfüroz asit kullanımı manganez ve demir oksitlerin uzaklaşmasını sağlayabilir.

16.10 Tarla Testleri

Dren zarflarını seçimi ve tasarımı onun işlevin başarılı bir şekilde yerine getirmesinin başlıca unsurlarıdır. Taşıma ve inşa teknikleri de aynı düzeyde önemlidir. Onun için zarflardan beklenen işlevin yerine getirmesi konusunda birçok farklı değerlendirmeleri içeren tarla denemeleri yapılması gerekir.

1-Drenaj öncesi toprak ve su araştırmaları, dren zarflarının performanslarını ve gerekliliğini etkileyen bütün yerel koşullar incelenerek rapor haline getirilmelidir. Böylece karar vericilere daha doğru ve uygun karar verme olanağı sağlanır.

2-İnşaat kalitesinin izlenmesi ve denetlenmesi, uygun olamayan taşıma, kum çakıl zarf malzemelerinin kaba ve ince parçacıkların ayrılmasına, organik ve sentetik malzemelerin bozulmasına ve yırtılmasına neden olabilir. Uygun olmayan dren

döşeme makinaları, ıslak koşullarda döşeme, uygun olmayan geri doldurma ve bağlantı hataları yüksek giriş dirençlerine veya siltasyona neden olabilir.

3-İnşaat sonrası kalite denetim araştırmaları; inşaattan sonra öncelikle dren hatlarının eğimi, inşaatın bütünlüğü ve düzgünlüğü denetlenmelidir. Bu işlemler boru içine sokulan video-kamera, denetleme kafesleri veya eğim kontrol ekipmanları ile yapılır. Eğer elde alet ve ekipman yoksa dren hatları rastlantısal olarak yeteri sayıda açılarak denetleme yapılır.

4-Giriş dirençlerinin ve performansların değerlendirilmesi, dren hatlarında uygun yerlere gözlem ve piezometreler yerleştirilerek dren verdileri ile eş zamanlı olarak yapılan su yükü ölçümlerinden dren hattı performansları belirlenir. Borulardaki sediment birikimi ise man-hollerde ve video-kamera ekipmanları ile boru içinde denetlenebilir.

17. DRENAJ ARAŞTIRMALARI, TARLA DENEMELERİ

Drenaj sorunu olan alanlarda toprakların hidrolik ve hidrojeolojik özelliklerini belirlemek için yapılacak çalışmaların bir kısmı laboratuarda, bir kısmı ise arazide drenaj deneme tarlalarında yapılabilirler. Bir takım veriler ise daha önce yapılmış etüt, inceleme ve araştırma sonuçlarından alınırlar.

Bu çalışmaların doğruluğu, güvenilirliği ve temsil özelliği, bunlardan elde edilen verilerin tasarımlamada kullanımı bakımından büyük önem arz etmektedir. Sistemlerin tasarımlanmasında kullanılan eksik ve yanlış veriler, daha başlangıçta sistemin fonksiyonlarını yerine getirmesini etkiler veya önler.

Drenaj sorunu olan alanlarda inşa edilen yüzey altı drenaj sistemlerinin taban suyunu denetleme işlevini ne düzeyde yerine getirip getirmediğine ilişkin incelemelerin yapılması ve elde edilen sonuçların önceki deneyimlerle birlikte ele alınarak, daha uygun sistemlerin geliştirilmesi gelecek drenaj uygulamalarının başarısı bakımından önemlidir. Bu amaçla yapılan çalışmalar iki grupta toplanır.

a) Özel amaçlar için kurulan tarla denemeleri;

1. Tarla koşullarında zarf materyallerinin uygunluğunu denemek,

2. Drenaj yöntemlerinin etkilerini denemek (mol drenaj, hendeksiz boru döşeme, vb)

3. Tasarımlama ölçütlerinin geçerliliğini doğrulama,

b) Bir drenaj sistemini döşemeden sonra izlemek

1. Drenaj sisteminin tasarımlanma ölçütlerine göre çalışıp çalışmadığını denetlemek,

2. Yetersiz sistem performansının nedenlerini belirlemek. Bu nedenler çok sayıda ve çeşitlilikte olabilir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

- Dren aralığı çok geniştir,

- Dren derinliği çok sığdır;

- Zarf materyali uygun değildir;

- Emici ve toplayıcılar sediment ve kimyasal çökeltilerle tıkanmış veya kırılmış ya da yerinden çıkarılmıştır.

- Boru çapı yetersizdir

- Tasarım için varsayılandan daha fazla sızma vardır,

- Toprak yüzeyine yakın bir geçirimsiz kat nedeniyle tünek taban suyunun varlığı,

- Borular ıslak koşullarda döşenmiştir.

- Trençles (hendeksiz drenaj makinesi) boru çevresindeki toprağı sıkıştırmıştır.

17.1 Drenajda Sınama İlkeleri

Yapılacak sınamalarda toprak yüzeyinden borulara ve oradan açık drenlere kadar su akış yolları göz önüne alınmalıdır. Şekil 17. 1'de görüldüğü gibi drenlere doğru su akışını 4 aşamada inceleyebiliriz. Bunlar;

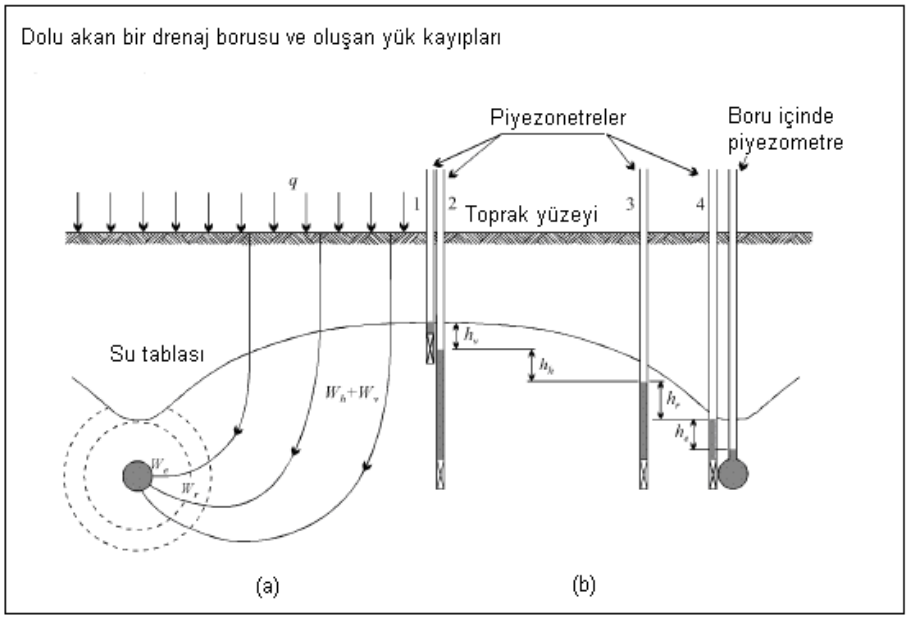
1. Düşey akış, doygun ve doygun olmayan koşullarda oluşur.

2. Doygun koşullarda bozulmamış toprak profilinden dren hendeğine doğru akış

3. Dren hendeğindeki bozulmuş topraktan zarf-boruya akış

4. Boru sistemi içinde akış

Yukarıda belirlenen aşamalar, Ernst, (1962) tarafından ilkeleri belirtildiği gibi, kendi aralarında yatay ve radyal akış bileşenlerine ayrılarak özel amaçlar için incelenebilir. Bu aşamalarda hidrolik yükler piyezometrelerle ölçülür. Bu ölçümlerden her aşamadaki yük kaybı hesaplanabilir. Dren verdileri ile yük kayıpları beraberce incelenerek dirençlerin nedenleri belirlenebilir. Gerekirse ek piyezometreler yerleştirilerek her aşamadaki yük kayıpları belirlenir.

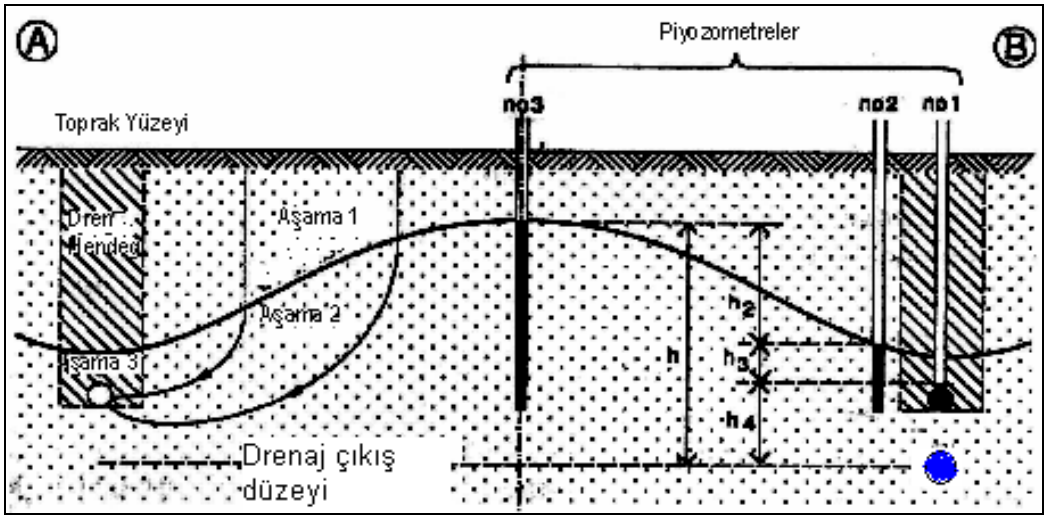


Şekil 17.1. Dolu akan bir drenaj borusu ve oluşan yük kayıpları (Ernst, 1962)

Örnek:

Aşama 1 (düşey akış) eğer yüksek bir direnç nedeniyle düşey akışta önemli bir yük kaybı varsa drenaj sistemindeki bu bozuk işlevin hangi kattan ileri geldiği bulunabilir.

Aşama 4 (boru sisteminde akış), bileşik bir sistemde tarla drenleri ve toplayıcı drenler ayrı ayrı ele alınmalıdır. Daha da ötesi toplayıcılar manhollerle alt bölümlere ayrılabilirler.



Şekil 17.2 Drenaj sistemlerinin sınanmasında kullanılan ilkelerin şematik gösterimi (A-Drenlere su akışının dört aşaması, B-Dört aşamadaki yük kayıpları) (ILRI, 1994).

Ana hatları iyi belirlenmiş ölçümler, akış deseni, yük kayıplarının dağılımı ve su akış yolları hakkında iyi bir fikir verecektir. Uygulamada iki temel sınıf vardır.

Akışın özel bir aşamasını incelemek, örneğin aşama 3'deki uygulanan zarf materyali ile yük kayıpları arasındaki ilişkileri incelemek.

İlk aşama olarak drenaj sisteminin zayıflığını başarısızlığını belirlemek. Başarısızlığın nereden geldiği belirlendikten sonra bundan sonraki aşamalarda başarısızlığın nedeni bulunabilir.

17.1.1 Tarla ölçümleri

Tarla ölçümleri iki bölüme ayrılır. Bunlar dren verdilerinin, su tablası yüksekliklerinin ve hidrolik yüklerin ölçülmesidir. Anılan ölçümleri yapmak için oldukça karmaşık ve geliştirilmiş ölçüm setleri vardır. Ancak amaca yönelik basit bazı ölçümler de doyurucu sonuçlar verebilmektedir.

17.1.2 Dren verdileri

Dren borularında akışları ölçmek için hacmi belli bir kova, bir kronometre veya saniye göstergesi olan basit bir saatle oldukça doyurucu ölçümler yapılabilmektedir. Ancak sürekli ve detaylı ölçümlerin yapılması istendiğinde dren çıkışına yerleştirilecek bir savak ve su düzeyi kaydedicisi ile ölçümler yapılabilmektedir.

17.1.3 Hidrolik yükseklik ve su tablası

Su tablası yüksekliğinin ve konumunun belirlenmesinde gözlem kuyuları kullanılabilir. Ancak herhangi bir derinlikteki su yükü ölçülmek istenirse o zaman piyezometreler kullanılmalıdır.

Hangisi olursa olsun, hatalı okumalardan kaçınmak için gözlem kuyularına ve piyezometrelere yüzeyden doğrudan su girmemelidir. Gözlem kuyusunun içine bir

boru yerleştirilerek, kuyunun üst kısmındaki boru çevresi geçirimsiz bir toprakla doldurulup iyice sıkıştırılması gerekir.

Piyezometreler ve gözlem kuyularının zaman zaman işlevlerini doğru olarak yapıp yapmadıkları denetlenmelidirler. Deneyimler sorunların özellikle piyezometrelerde daha fazla görüldüğünü ortaya koymuştur.

Denetlemeler aşağıda belirtildiği şekillerde yapılabilir:

-Su düzeyi okunur, sonra gözlem kuyusu veya piyezometre su ile doldurulur. Belirli aralıklarla okumalar yapılır. Su düzeyi geçirgen topraklarda yaklaşık bir saatte, düşük geçirgenliğe sahip topraklarda ise bir günde ilk düzeyine gelmesi gerekir.

17.2 Dren Borusu Çevresinde Akış Koşulları

Yer altı suyunun dren borularına akışında kullanılan eşitlikler aşağıdaki varsayımlara dayanır. Bunlar;

-Drenlerin işlevleri ideal drenlerdeki gibidir. Su drenlere girerken hiçbir dirençle karşılaşmamaktadır.

-Su akış bölgesinin her kesimi benzer su iletkenliğini içermekte olup toprak profili bir örnektir. Drenin hemen yakınındaki alan ile, bitişik bozulmamış toprağın su iletim özellikleri aynıdır. Bu kısımlarda hendek kazma, toprakların geri doldurulması ve zarf uygulamaları sırasında herhangi bozulma olmamıştır.

Bu varsayımlar Şekil 17.1'de şematize edilmiştir. Gerçek durum farklıdır. Her şeyden önce boru çevresi gerçek akış sınırı değildir. Çünkü borunun her tarafı suyun girmesine olanak sağlamaz. Su boru içine boru çevresindeki deliklerden sıkışarak girer. Bu sıkışmanın oluşturduğu yük kaybı giriş direncinin bir bölümüdür. Diğer taraftan boru çevresinde su iletkenliği ile bozulmamış toprakların su iletkenlikler farklıdır ve kısa aralıklarla değişir.

17.3 Giriş Dirençlerinin Belirlenmesi

Drenlerin etrafına sarılan zarf malzemelerinin geçirgenlikleri ne kadar yüksek olursa olsun drenlere su girerken bir direnç oluşur ve bunun değeri ideal bir

drendekinin 4-8 katı arasındadır ve gerçek oran ise dren boru türüne göre değişmektedir (Cavelaars, 1974).

Yüksek giriş dirençleri ıslak koşullarda döşeme, düşük kil içeriği, yüksek silt içeriği ve düşük strüktür stabilitesine sahip toprak koşullarında oluşur. Eğer hendek içerisinde su birikintileri varken geri doldurma yapılırsa zarf materyalinin gözenekleri tıkanarak yüksek giriş dirençleri oluşur. Boru hatlarında giriş dirençlerini belirlemek için detaylı bilgiler Dieleman ve Trafford (1976,) ve Cavelaars, (1966, 1967) ta bulunabilir.

1- Giriş direncinin yük kayıplarına göre belirlenmesi,

$$r_e = h_3/q_u \qquad (17.1)$$

$$r_e = \frac{h_3 L}{Q} \qquad (17.2)$$

r_e: Giriş direncini (gün m^{-1}); h_3: Giriş yük kaybını (m); L: Dren uzunluğunu (m); Q: Dren debisini (m^3/gün) göstermektedir. Eğer Q ve h_3'ü ölçüp ve L değerini bilinirse r_e değeri aşağıdaki eşitlik ile karşılaştırılır.

$$r_e \cong 0.4L/K \qquad (17.3)$$

Burada K dreni çevreleyen bozulmamış toprağın su iletkenliğidir. Eğer r_e bu değerden önemli derecede büyükse drenaj sistemi başlangıçta dayandırılan varsayımları yansıtmıyor demektir. Başka bir deyişle gerçek giriş direnci çok yüksektir. Giriş direncinin r_e'nin 1.5L/K değerinden yüksek olması halinde aşırı düzeyde büyük olduğu düşünülür.

17.3.1. Basit yöntem

Basit yöntem, dren verdi ölçümlerine gerek duyulmadan sadece $h_3/(h_2+h_3)$ değerleri göz önüne alınarak yapılan bir değerlendirmedir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 17.1'de verilen ölçütlerle karşılaştırılarak dren hattı performansı hakkında karar verilmektedir (ILRI, 1994).

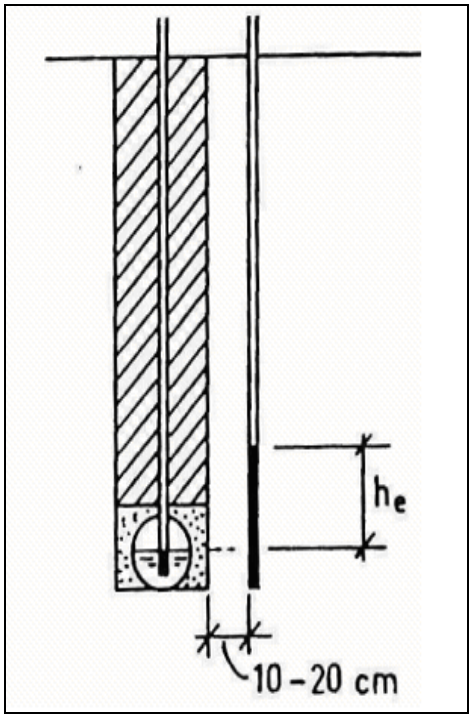
17.4 Dren Borularında Basınç Ölçülmesi

Dren borularının içine piyezometre yerleştirilerek boru içindeki aşırı basınçlar ölçülebilir. Boru sisteminde aşırı basınçlar aşağıda verilen durumlarda ortaya çıkar. Toplayıcılarda su düzeyi yüksek olabilir. Bu durumda drenler batık çalışabilirler.

Çizelge 17.1 Giriş dirençlerinin değerlendirme ölçütleri (ILRI, 1994)

Değerlendirme ölçütleri		Giriş direnci sınıfı	Dren performansı
K r_e/L	$h_3/(h_2+h_3)$		
<0.4	<0.2-0.3	Normal	İyi
0.4-1.5	0.3-0.6	Yüksek	Orta-zayıf
>1.5	>0.6	Fazla	Çok zayıf

- Yanlış tasarımlamadan ileri gelen yetersiz boru çapı nedeniyle
- Boru hatlarında kırılma veya çökme nedeniyle hasar olabilir.
- Borular sediment ve çökelme nedeniyle tıkanmış olabilir.

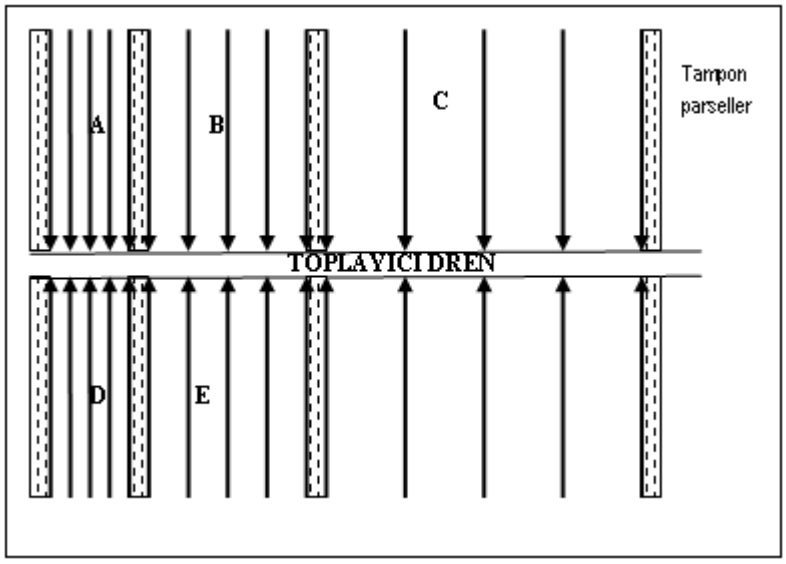


Şekil 17.3 Dren hendeği ve piyezometrenin konumu

17.4.1 Tarla denemeleri

Kurulması düşünülen drenaj deneme alanında gelecekte yapılabilecek çalışmaları da göz önünde bulundurarak her birinde 3 ya da 5 dren hattı bulunan en az 2 alt birimden oluşan bir deneme tarlası kurulmalıdır.

Her bir alt birimdeki drenler aynı derinlikte, aynı eğimde, aynı uzunlukta, aynı çaplı borular kullanılarak, eşit aralıkta tesis edilmelidirler. Alt birimler arasında ise tampon parsellerin yer alması, sistemin yanal sızmalardan etkilenilmemesi açısından önemlidir.



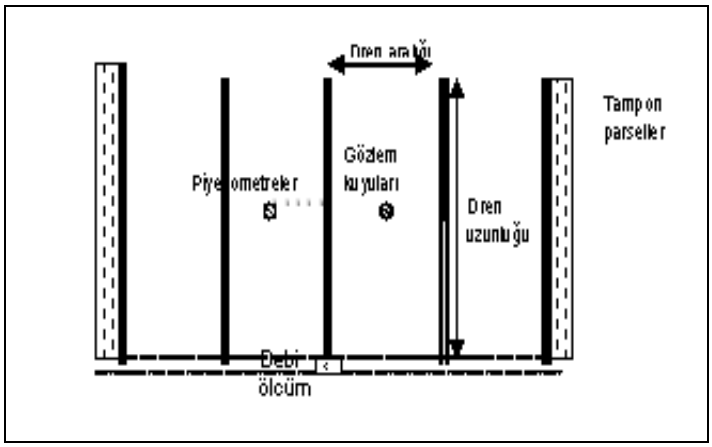
Şekil 17.4 Farklı dren aralıklarının denendiği drenaj tarlası

Değişik dren aralıklarının oluşturulması için uygulanması önerilen deneme planı (5 emici hattı içeren, olanaklar yeterli değilse 3 emici dren hattı üzerinden de çalışılabilir) Şekil 17.4'te verilmiştir. A-D, B-E ve C-F alt birimleri birbirlerinin paralellerini oluşturmaktadır. O nedenle mümkün olabildiği ölçüde A ile D, veya B ile E deneme alanlarında yapılan tüm işlemlerin aynı tutulması gerekir.

Taban suyu ölçümleri gözlem kuyularında yapılır. Şekil 17.5'te gösterildiği gibi, kuyular 2, 3 ve 4. dren hattı orta noktalarında açılır. Debi ölçümleri ortadaki

dren çıkış noktasında veya ortadaki üç dren hattı birleştirilerek tek bir noktada ölçüm yapılır. Olanaklar yeterli ise tüm dren çıkış noktalarından yapılır. Ayrıca ortadaki dren hattına doğru piyezometreler yerleştirilerek drenlere doğru olan akışın konumu belirlenir. Bu tür ölçümler genellikle performans değerlendirmesi çalışmalarında yoğunlukla kullanılmaktadır. Ancak sonuçların doğruluğunun denetlenmesi açısından yeni kurulan bir sistemin düzgün çalışıp çalışmadığının bilinmesi önemlidir.

Bu şekilde kurulan bir deneme tarlası ovadaki olası drenaj alanlarını temsil etmesi gerekir. Temsil ettiği alanın büyüklüğü, yapılan ölçüm ve gözlemlerin doğruluğu, elde edilen verilerin kullanımını daha güvenli kılar.



Şekil 17.5 tekil bir drende yapılacak ölçümlere ilişkin denme planı

17.4.2 Drene edilebilir gözenek hacminin tarla denemeleri ile belirlenmesi

Her ne kadar laboratuarda toprak kolonlarında drene edilebilir gözenek hacmini belirlemek olanağı olsa da, elde edilen değerlerin güvenilirliği yeterli olmamaktadır. Bu yüzden geniş alanlar kaplayan tarla denemeleri yapılması önerilmektedir.

Düz bir arazide toprakta depolanmış suyun çekilme eğrisi zamana karşı çizilirse drenaj tepki etmeni aşağıdaki eşitlikler elde edilebilir.

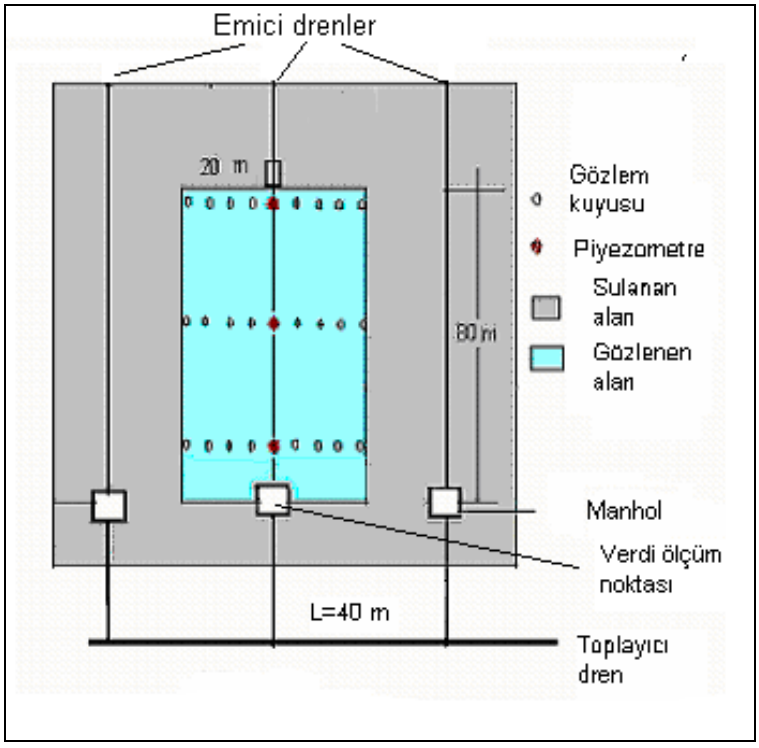
$$q_t=q_{t-1}\, e^{-a\Delta t}+R_{\Delta t}/(1-e^{-a\Delta t}) \qquad (17.4)$$

Burada $R_{\Delta t}$, t-1 anından t anına kadar ortalama beslenmedir. q ve h arasında $q=(8Kd/L^2)$ x h = 0.8 a μ h ilişkisinden yararlanarak eşitlik aşağıdaki gibi yazılır.

$$ht= h_{t-1}\, e^{-a\Delta t}+(R_{\Delta t}/0.8\alpha\mu\ (1-e^{-a\Delta t})) \qquad (17.5)$$

Beslenme 0, olduğunda eşitlik 2, eşitlik 3 şekline dönüşür (Dieleman and Trafford, 1976).

Eşitlik, su tablası düşüşünün kayıtları zamana karşı çizilerek elde edilebilmektedir. Glower-Dumm yükselen su tablasının belli bir zamandan (t=0) sonra (t_A) düşmesinin yarı logaritmik bir ölçekte zamana karşı çizildiğinde q-t ve h-t ilişkileri doğrusal ve birbirine paralel doğrular oluşturduğunu ve bu doğruların x ekseni ile yaptığı açıyı (α) drenaj tepki etmeni olarak tanımlamıştır (Dieleman ve Trafford, 1976, Smedema, Rycroft, 1983, Ritzema, 1994).



Şekil 17.6 Drenaj deneme tarlasının şematik görünümü

$$h_t/h_0=1.16\, e^{-at} \qquad (17.6)$$

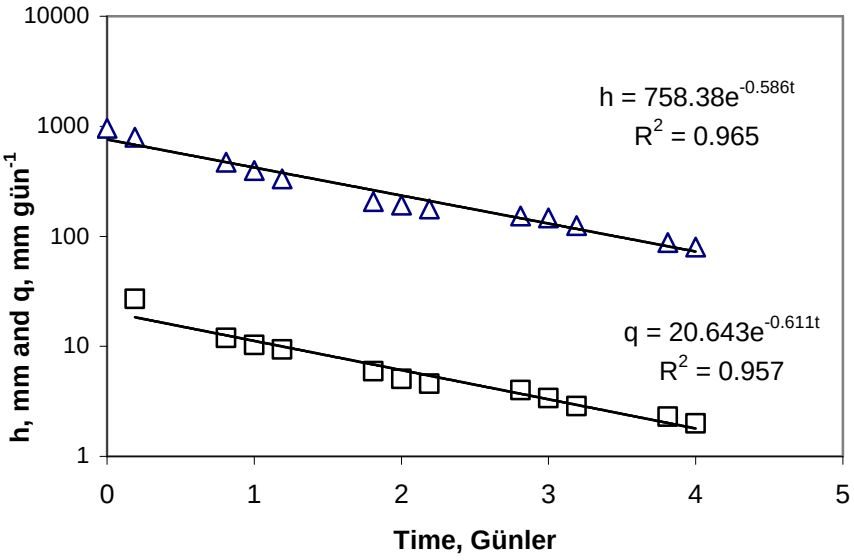
Bu eşitlik deneme alanında ölçülen değerlere uygulanarak, Konya ovası için aşağıdaki ilişkiler elde edilmiştir. Görüldüğü gibi drenaj tepki etmeni,

$q_t=20.643\ e^{-0.611t}$, ($R^2=0.957$)

$h_t=758.38e^{-0.586t}$, ($R^2=0.965$)

eşitliklerinden 0.611 ve 0.586 d^{-1} olarak belirlenir. Ortalama değer ise

$\alpha=(0.611+0.586)/2 =0.599\ ^{d-1}$ bulunur.



Şekil 17.7 Dren akışı (q), su yükü (h) ve zaman ilişkileri (Konya ovası)

Eğer q/h biliniyorsa eşitlik yardımıyla drene edilebilir gözenek hacmi hesaplanabilmektedir. Dolayısıyla şekil 17. 8' den q/h değeri belirlenir.

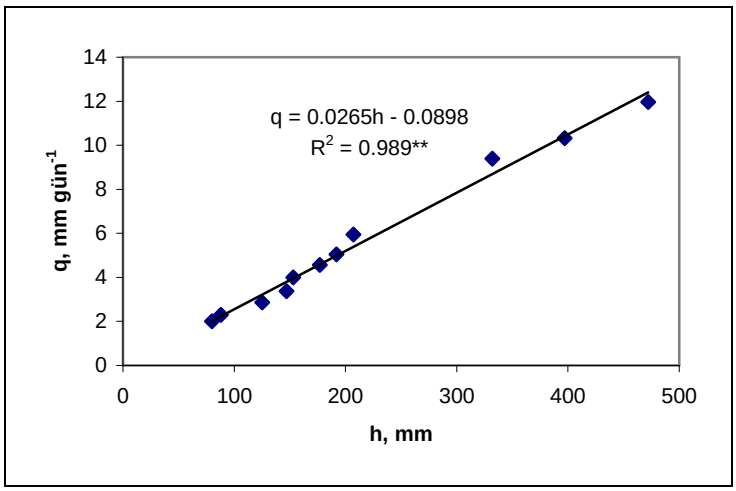
$$q/h=2\alpha\mu/3.14 \qquad (17.7)$$

q/h=0.0265 olarak bulunur. Bu değer eşitlik 17.6'da yerine konarak, özgül iletim katsayısı hesaplanır.

$$Kd=q/h\ x\ S^2/2x3.14 \qquad (17.8)$$

Kd =q/h x S^2/2x3.14 = 0.0265 x 40x 40/6.28 = 6.75 m^2d^{-1} olarak hesaplanır. Aynı zamanda;

$$q/h=2\alpha p/3.14 \qquad (17.9)$$



Şekil 17.8 Deneme alanı için q-h ilişkisi

olduğundan, drene edilebilir porozite;

μ=0.0265 x 3.14 / 2 x 0.599 = 0.070 $m^3 m^{-3}$ (%7.0) olarak bulunur.

Burada α, L ve Kd bilindiğinde, drene edilebilir porozite μ eşitlik 17.10 yardımıyla hesaplanır (Dieleman ve Trafford, 1976).

$$\alpha=10\ Kd/\mu L^2 \qquad (17.10)$$

α=10 x 6.75/0.07x 40x40

α=0.602 $gün^{-1}$ bulunur.

Eşitliklerde t, zamanı, gün, h_t, t anında dren orta noktasındaki su tablası yüksekliğini t=t, m, ve h_{t-1}, başlangıçtaki su yüksekliğini t=t-1, m, $R_{\Delta t}$ beslenmeyi m $gün^{-1}$.a, drenaj şiddet faktörünü, μ drene edilebilir porozite m m^{-1} veya m^3m^{-3}, K hidrolik iletkenlik, m d^{-1}.

17.4.3 Drene olan su ve toprak hacimleri

Drene edilebilir porozite su tablasının bir konumdan diğer konuma düştüğünde, drene olan su hacminin drene olan toprak hacmine oranı olarak tanımlanmaktadır.

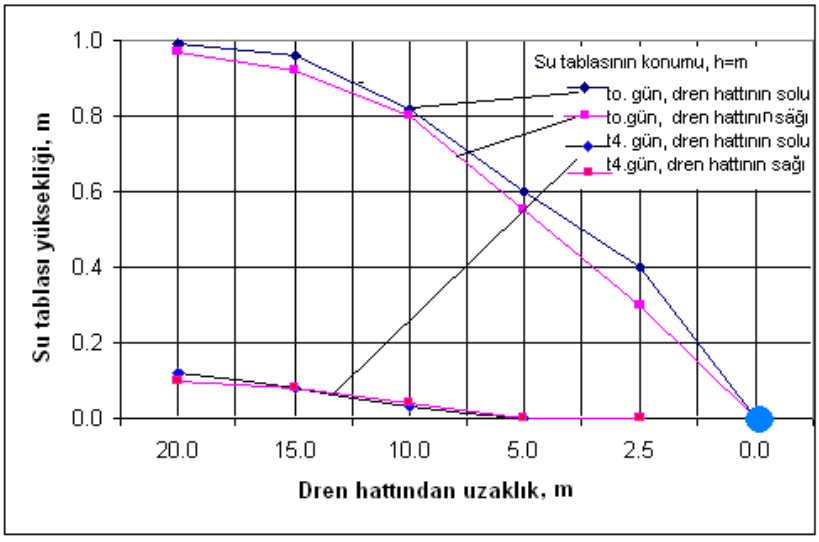
Beslenmenin sıfır olduğu yanlara sızmanın denetlendiği ve evapotranspirasyonun düşük koşullarda, bir emici drenin etki alanında yükselen taban suyu tablasının belli bir andaki (to) ve su tablasının yeterince düştüğü (tn) andaki konumu belirlenerek drene olan toprak ve su hacmi aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla belirlenebilir (Bahçeci 2007).

$$A=((h_{01}-h_{t1})+(h_{02}-h_{t2})/2)(\Delta S)+...+(h_{0tn-1}.h_{0tn})+(h_{0n}+h_{0n+1})/2)(\Delta S) \quad (17.11)$$

$$\Delta S=S_1-S_2$$

$$V_{ds}= A \times L \quad (17.12)$$

Burada, A, drene olan toprağın kesit alanı m^2, h_{01}-h_{t1} su tablasının başlangıçta (t_0) ve sonunda (t_1) anındaki konumu, m, h_{02}-$h_{t2,}$ ikinci gözlem kuyularında başlangıçta ve sonundaki su tablası konumu S_1, S_2 gözlem kuyularının drende hattından olan uzaklığı, m göstermektedir.



Şekil 17.9 Emici drenin sağında ve solunda su tablasının t_0 ve t_4. gündeki konumu

belirlenen kesit alanı dren uzunluğu ile çarpılarak drene olan toprak hacmi belirlenir. (Eşitlik,17.10). Drene olan su hacmi ise akış hidrografından hesaplanır.

$$V_{dw}=((V_1+V_2)/2)(t_2-t_1)+...+(V_n+V_{n+1})/2)(t_{n+1}-t_n))+(V_{1pw}+V_{npw}) \qquad (17.13)$$

$$\mu=V_{dw}/V_{ds} \qquad (17.14)$$

burada, V_{dw} toplam drene olan, V_{ds} drene olan toprak m^3, Ltest edilen emici dren uzunluğu, m, A drene olan toprağın kesit alanı, m^2, $V_{1,}V_2$, t_1 ve t_2 anında drene olan su hacmi m^3, $t_{2,}$ t_1, zaman gün, V_{1pw} V_{npw} manholden pompalan su hacmi olup bririmle m^3'tür.

Çizelge 17.2 h_0 ve h_t zamanında su tablasının konumu

Dren hattından uzaklık, m	$t_{o.}$ gün, h_0, m	t_n.gün, h_t, m	ho-ht (h, m)	Kesit alanı, m^2
Drenin sağında, (h, m)				
20.0	0.970	0.120	0.850	4.225
15.0	0.920	0.080	0.840	4.025
10.0	0.800	0.030	0.770	3.300
5.0	0.550	0.000	0.550	1.063
2.5	0.300	0.000	0.300	0.375
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000
Drenin solunda (h, m)				
20.0	0.990	0.100	0.890	4.425
15.0	0.960	0.080	0.880	4.150
10.0	0.820	0.040	0.780	3.450
5.0	0.600	0.000	0.600	1.250
2.5	0.400	0.000	0.400	0.500
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
Toplam kesit alanı , m^2				26.763
Test edilen emici (lateral) uzunluğu , L, m				80.00
Drene olan toprak hacmi, m^3				2141.00
Drene edielbilir gözenek hacmi, μ, m^3/m^3				0.072

Emici drenden boşalan su miktarları bir savak ve su düzeyi kaydedicisi ile sürekli olarak ölçülebilir. Ancak aşırı boşalım döneminde dren hattı üzerinde oluşan

artık yükler nedeni ile bu ölçümlerin doğruluğu kuşkulu olabilir. Bu yüzden manholde serbest akış oluncaya kadar bir pompa yardımıyla su boşaltılıp, serbest akış sağlandıktan sonra kova-kronometre yardımıyla oldukça sağlıklı ölçümler yapılabilmektedir.

Çizelgede hesaplanmış değerler eşitlik 17.14'te yerine konarak drene edilebilir porozite aşağıdaki gibi hesaplanır.

V_{ds}=A x L =26.763 x 80 =2141 m^3

V_{dw}=154.768 m^3

$\mu = V_{dw}/V_{ds}$ =154.768 /2141 =0.072 m^3/m^3 (veya 7.2%)

elde edilen bu değer orta bünyeli toprakların drene edilebilir porozite değerine yakındır.

Çizelge 17.3 Zaman hidrolik yük ve drene olan su ilişkileri

Zaman		Hidrolik yük	Drene olan su				Manholden boşaltılan su,	Toplam drene olan su
Saat	Gün	(mm)	L/s	m³/g	mm/g	V, m³	m^3	m^3
13.00	0.00	958	1.923	166.10	51.92	23.959	6.850	30.809
17.30	0.19	793	0.997	86.10	26.92	38.471	5.215	43.686
8.30	0.81	472	0.443	38.00	11.96	6.745	4.020	10.765
13.00	1.00	397	0.382	33.00	10.32	5.995	3.615	9.610
17.30	1.19	332	0.348	30.10	9.39	15.224	3.215	18.439
8.30	1.81	207	0.22	19.01	5.94	3.341	3.100	6.441
13.00	2.00	192	0.187	16.16	5.05	2.922	2.805	5.727
17.30	2.19	177	0.169	14.60	4.56	8.494	2.615	11.109
8.30	2.81	153	0.148	12.80	4.00	2.242	2.450	4.692
13.00	3.00	147	0.125	10.80	3.38	1.896	2.150	4.046

17.30	3.19	125	0.106	9.16	2.86	5.115	1.900	7.015
8.30	3.81	88	0.085	7.34	2.29	1.313	0.500	1.813
13.00	4.00	80	0.075	6.48	2.00	0.616	0.000	0.616
	Toplam drene olan su m^3					**116.333**	**38.435**	**154.768**

17.5 Kararlı Akış Eşitlikleri ile Değerlendirme

Kararlı akış eşitlikleri beslenmenin boşalımın değişmez olduğu koşullar için geliştirilmiştir. Bu durum sulu koşullarda pek gerçekleşmemesine karşın, uzun süreli düzenli yağışların olduğu bölgelerde gerçekleşebileceği düşünülmektedir. Kurak bölgelerdeki sağanak yağışların ise sulamalardan daha düzensiz olduğunu ileri süren görüşler bulunmaktadır.

Çizelge 17.4 Bir drenaj deneme alanında ölçülen drenaj akışları ve hidrolik yükseklikler

Zaman, gün	h, m	q m/g	q/h
0.00	0.958	0.035	0.037
0.19	0.793	0.028	0.035
0.81	0.472	0.015	0.032
1.00	0.397	0.012	0.030
1.19	0.332	0.010	0.030
1.81	0.207	0.007	0.031
2.00	0.192	0.006	0.030
2.19	0.177	0.005	0.031
2.81	0.153	0.005	0.029
3.00	0.147	0.004	0.029
3.19	0.125	0.004	0.029
3.81	0.088	0.003	0.030
4.00	0.080	0.002	0.029

Kararlı akış arazi deneme çalışmalarında elde edilen veriler Hooghoudt eşitliği ile değerlendirilmektedir.

$$q = \frac{8\,K_2\,d\,h}{L^2} + \frac{4K_1\,h^2}{L^2} \qquad (17.15)$$

q, dren boşalımı m gün^{-1}

h, drenler arası orta noktada dren düzeyinden su düzeyi yüksekliği, m, K, hidrolik iletkenlik, m gün^{-1}

L, dren aralığı, m

d, eşdeğer katman kalınlığı, dren derinliğinden geçirimsiz tabakaya olan mesafe D ile boru çapı ve dren aralığına göre değişir.

Drenler geçirimsiz bir kat üzerine döşenirse D=0 ve d=0 olur. Böylece dren düzeyi üzerinden oluşan akış aşağıdaki eşitlik ile değerlendirilir.

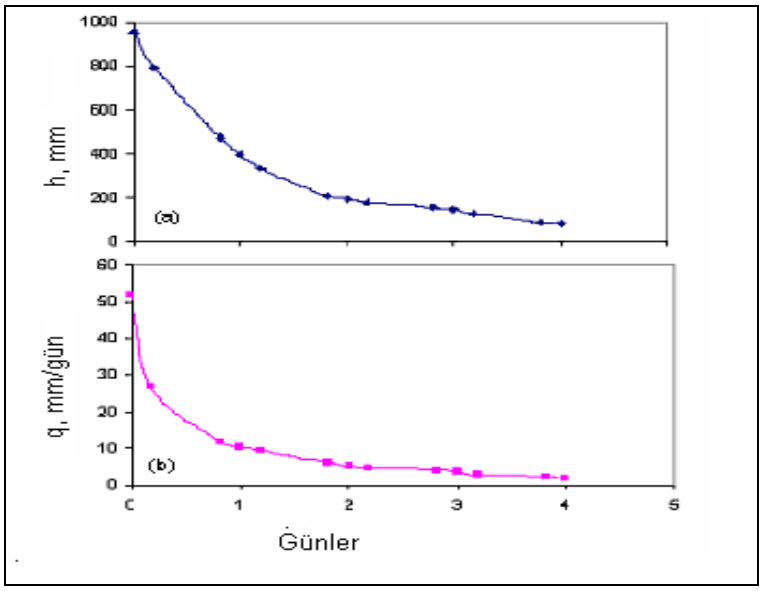
$$q=4Kh^2/L^2 \qquad (17.16)$$

olacaktır.

Eğer D değeri d ve h'a göre çok büyükse drenler üzerindeki akış önemsenmeyecek kadar az olacağından eşitlik

$$q=8Kdh/L^2 \qquad (17.17)$$

şekline dönüşür.



Şekil 17.10 Dren verdisi (q) ve hidrolik yükün (h) zaman göre değişimi

Hooghoudt eşitliği, $8Kd/L^2 = A$ ve $4K/L^2 = B$ alınarak,

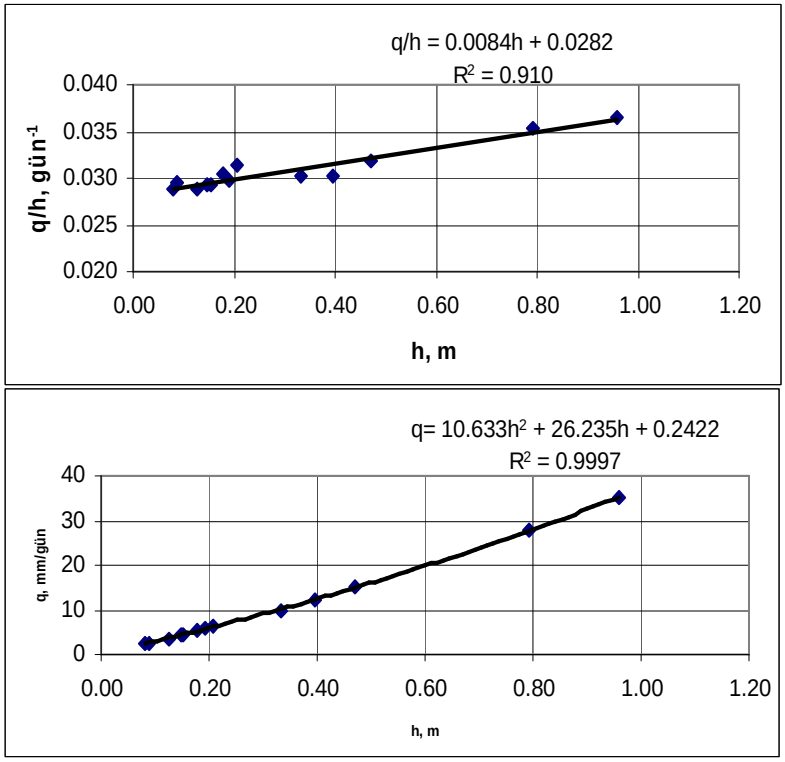
$$q=Ah+Bh^2 \qquad (17.18)$$

şeklinde yazılabilir. Görüldüğü gibi bu ikinci dereceden bir polinomu göstermektedir. Buradan her iki taraf h'ye bölünürse,

$$q/h=A+Bh \qquad (17.19)$$

eşitliği elde edilir ki, bu bir doğru denklemidir. Böylece q-h ve q/h-h ilişkileri grafiklendiğinde birincisinin artan bir eğri, ikincisinin ise bir doğru oluşturması beklenir. Meydana gelen sapmalar deneme ve ölçüm hatalarından ileri gelmektedir.

şekillerden, A=0.0282 ve B=0.0084 olarak okunur. Test yapılan drenaj sistemindeki dren aralığı L=40 m olduğundan,



Şekil 17.11 q-h ve q/h-h ilişkileri

0.0282=8Kd/1600

Kd= 5.64 m^2 $gün^{-1}$ bulunur.

Daha önce yapılmış testlerden hidrolik iletkenlik ortalama K=3 $mgün^{-1}$ olarak belirlendiğinden

d=34/3=11.3 bulunur.

Diğer taraftan

B=0.0084=4K/1600

K=3.36 m gün^{-1} bulunur.

Bu değer kullanılarak Kd=5.64, K=3.36 ise buradan, d=5.64/3.36

Eşdeğer derinlik d=1.67 m bulunur**.**

KAYNAKLAR

ABDEL-DAYEM, M.S., RITZEMA, H.P., EL-ATFY, H.E., AMER, M.H., 1990. Pilot areas and drainage technology. In: Land Drainage in Egypt. M.H. Amer and N.A. de Ridder (eds.). DRI, Cairo, pp. 103-161.

AMER, M.H., RIDDER, N.A., 2001. Land Drainage in Egypt. DRI, Cario. 377p.

AMI, 1987. Twenty-Five Years of Drainage in Israil. in: Proc. Symp. 25th Internat. Course on Land Drainage. Twenty-Five Years of Drainage Experience. J.Vos (Ed). Publ. 42. Ilri. Wageningen. The Netherlands. pp. 205-215.

AYARS, R.S., WESCOTT, D.W., 1996. Water quality for agriculture Rev. Ed. Irrigation and Drainage paper 29, FAO, Rome, 174p.

BAHÇECİ, İ., 1984. Konya Ovası Kapalı Drenaj Projeleme Kriterleri, Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, KHGM Bölge TOPRAKSU Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 96, Rapor Seri No : 78, Konya

BAHÇECİ, İ., DİNÇ, N., TARI, A. F., 2001. Konya Ovasında Kurulmuş Kapalı Drenaj Sistemlerinin İzlenmesi. KHGM Köy Hizmetleri ATATÜRK Araştırma Enstitüsü, Trakya Toprak ve Su Kaynakları Sempozyumu 2001, Kırklareli, 196-200 s.

BAHCECI **İ.,** 2007. Determining the drainable pore space through field tests in Konya plain, Turkey, *Irrigation and Drainage* 56: 1-12 (2007),DOI:10.1002/ird.345

BENZ, L.C., DOERING, E.C REICHMAN, G.A., 1987. Water table management saves water and energy. Transactions of the ASAE, 24:995-1001.

BEYCE, Ö.,C. TARUS, 1977. Drenaj ve Çorak Islahı, Köy İşleri Bakanlığı, Topraksu Genel Müdürlüğü, Ankara

BOONSTRA, J., 1994. SATEM: Selected aquifer test evaluation methods: a microcomputer program. ILRI Publication 48, Wageningen, 80p.

CAVELAARS, J.C., 1966. Hidrological Aspects of The Application of Plastic Drain Pipes and Filter Materials. Semposium an Hidrologial and Technical Problems of Land Drainage, October 1965, Prague.

CAVELAARS, J.C., 1967. Problems of Water Entry İnto Plastic and Other Drain Tubes, Sym. National College of Agricultural Engineering, Silsoe, Bedford.

CAVELAARS, J.C., 1994. Subsurface Field Drainage System in. Drainage Principles and Practices. Vol IV, ILRI, Wageningen, The Nederlands.

CAVELAARS, J.C., 1998. Hydrological Aspects of The Application of Plastic Drain Pipes and Filter Materials. Royal Dutch Heath Comp. Arnhem.

CHRISTEN, E.W., HORNBUCKLE, J.W., AYARS, J.E. 2004. Methodology to assess the performance of subsurface drainage salinity control.. National Salinity Engineering Conference Proceedings. Engineers Australia, Engineering Salinity Solutions, pp 21-25.

CHOSSAT J.C. 1987. Relation between hydraulic conductivity and drainable porosity, Fifth National Drainage Symposium, Proceeding, International ST Book, 403:81-92.

DIELEMAN, P.J., TRAFFORD, B.D., 1976, Drainage testing. Irrigation and Drainage Paper 28, FAO, Rome, 172p.

DIELEMAN, P.J., TRAFFORD, B.D., 1986. "Drainage Testing " Fao Irrigation And Drainage Paper 28, Rome W.F.

DOERING, E.C., BENZ, L.C., REICHMAN, G.A., 1982. Shallow water table concept for drainage design in semiarid an sub-humid regions. P.34-41 IN ASAE Proceeding (ED) Advances in Drainage, 4. National Drainage Symposium. Vol. ASAE pub. 12-82 St Joseph, Michigan

DUMM, L.D., 1960. Validity an use of the transient flov concept in subsurface drainage, paper presented at The ASAE Meeting, Mempis, Tenessee,

ERNST, L.F., 1962. Grondwaterstroming in de verzadigde zone en hum berekeninggen bij aanwezigheeid van horizontale evenwijdige open leidingen, verslagen van land-bouwkundige onderzoekingen 67 (15), the Hague (in Dutch)

FAO, 1976. Drainage Testing. P.J. Dielman and B.D. Trafford. FAO Irrigation and Drainage Paper. 28. Rome

FAO, 1980. Drainage Testing. P.J. Dielman and B.D. Trafford. FAO Irrigation and Drainage Paper. 28. Rome.

FRAMJI K.K., B.C., GARG, S.P., KAUSHISH, 1987. Designe Practice for covered Drains in an Agricultural land Drainage System A World-Wide Survey. İnternational Comission on Irrigation and Drainage/ICID, New Delhi, İndia, 438 p

GEMALMAZ, E., 1992. Drenaj Mühendisliği, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No:746, Ziraat Fakültesi No: 317, Erzurum

GEMALMAZ, E., 1993. Drenaj Mühendisliği, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No:746, Ziraat Fakültesi No: 317, Erzurum

GRISMER, M.E., 1989. Drainage efficiency and drain water quality. In: V.A. Dodd and D.M. Grace (eds.), Agricultural engineering: Proceedings of the Eleventh International Congress. Vol.1. Balkema, Rotterdam, pp. 285-290.

GÜNGÖR, Y., ERÖZEL, A.Z., 1994. Drenaj ve Arazi Islahı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. No:1341. Ders Kitabı:389, Ankara.

ILRI, 1994. Drainage Principle and Applications. Second Edition, Wageningen, Netherlands

ILRI, 1998 .Annual Report nternational Institute for Land Reclamation and Improvement , Wageningen, The Netherlands, p:10-29

JAMES, D.B., RİCE, R.C., R.S., BOWMANN, 1988. Independent calibration of a mechanistic-stochastic model for field-scole solute transport under flood irrigation. Soil Science Society of America Journal, 52, pp. 1541-1556.

KANBER, R., KIRDA, C., TEKİNEL, O., 1993. Sulama Suyu Niteliği ve Sulamada Tuzluluk Sorunları Ders Kitabı. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü. Genel Yayın No: 21. Ders Kitapları Yayın No: 6. Adana.

KELLEY WP, 1951. Alkaline soils, their formation, properties, and reclamation. p:176, Illus Newyork.

KITE, S.T., HANSON, B.R., 1984. Irrigation scheduling under saline high water tables. California Agriculture 38(1 and 2):12-14

KRUSEMAN, G.P., N.A., de RİDDER, 1971. Analysis and evaluation of pumping test data. ILRI publication 47, Wageningen, 377p.

KRUSE, E.G., 1985. Design of gravel packs for wells. Amer. Soc. Agr. Eng. Trans. 5,2: 197-199.

MAAS, M., 1986. Watertable fluctuations induced by intermittent recharge. Journal of Geophysical Research 64, pp. 549-559.

MANGUERRA, H.B., GARCIA, L.A., 1997. Field strategy for agricultural drainage and water quality management. J.Irrigation and Drainage Eng. 39 (6) 2039-2049

MAVİ, A. 2000. Kapalı Drenaj Tesislerinde Sentetik Zarf Malzemesinin Etkinliği. KHAE Yıllığı 2001 KHGM KHAE Araştırma Enstitüsü Yıllığı, Samsun

McCREADY, W., 1978. Drainage construction techniques for vertical tubewell drainage. ICID, New Delhi, 46p.

OOSTEBAAN, R.J. ve ABU SENNA M., 1990. Using Saltmod To Predict Drainage And Salinity İn The Nile Delta. Agricultural Water Management.

OOSTEBAAN, R.J.,1994. Personal communication. Staff member of ILRI, Wageningen, The Netherlands.

OOSTEBAAN, R.J., RITZEMA, H.P.,1998. Hooghoudt's drainage equation, adjusted for entrance resistance and slopping land. In: W.F. Vlotman (ed.), Proceedings 5th International Drainage workshop, Vol. II. ICID/WAPDA, Lahore, pp. 2.18-2.28.

RAO, K.V.G.K., P.S., KUMBHARE, S.K., KAMRA, R.J., OOOSTERBAAN, 1990. Reclamation of waterlogged saline alluvial soils in India by subsurface drainage. In: Symposium on land drainage for salinity control in arid and semi-arid regions, vol.2. Drainage Research Institute, Cairo, pp. 17-25.

RITZEMA, P.E., 1969. Soil moisture forecasting. Nota 513. Institute for Land and Water Management Research, Wageningen, 18p.

RITZEMA, P.E., 1994. An analysis of actual evapotranspiration. Thesis Agricultural Universty, Wageningen. 111p.

ROBERT, S., CHIRARA, K., RONNEL, R. B. 1987. Test of Drain Tubes With Pin Holes and Small Slots, Drainage Design and Management. American Society of Agricultural Engineers. Michigan.

SEGEBERG, H., 1960. Moorsackungen durch Grundwasserabsenkungen und deren Vorausberechnung mit Hilfe empirischer Formeln. Zeitschrift für Kulturtechnik 1, pp. 144-161.

SEGEREN, W.A., SMITS, H., 1980. Drainage of newly reclaimed marine clayey sediments, peat soils, and acid sulphate soils. In: Drainage Principles and Applications, Volume IV, Design and Management of Drainage Systems. ILRI Publication 16, Wageningen. Pp. 261-295.

SKAGGS, R.W. 1990, Principles of drainage. In: G.A. Pavelis (ed.) Farm drainage in the United States, history, status and prospects. U.S. Dept. of Agr. 170p.0

SMEDEMA, L.K., RYCROFT, D.W., 1983. Land Drainage. Cornell University Press, Ithaca, New York.

SPALDING, R., 1970. Selection of materials for subsurface drains. RRL Report. LR 346, Road Research Laboratuary, Crowt horne.

STEPHENS, J.C., ALLEN, J.H., CHEN, E., 1984. Organic soil subsidence. Geo. Soc. Am., Rev. In Eng. Geol., Vol. VI, pp. 107-122.

STEPHENS, J.C., and STEWART, E.H., 1977. Effect of climate on organic soil subsidence. Proc. 2nd Symp. Land Subsidence (Anaheim). IASH Publication 121, pp. 647-655.

STUYT, L.C.P.M., DIERICKX, W., BELTRAM, J.M., 2000. Materials for Subsurface Land Drainage Systems. FAO Irrigation and Drainage Paper: 60. Food and Agriculture Organization of the United Nations Page 198. Rome.

TERZAGHI, K., PACK, R. B., 1941. Die Bodenmechanik in Der Baupraxis (Soil Mechanics in Building Construction). Springer. Berlin.

USDA, 1971. National Enginiering Handbook, Section 16. Drainage of Agricultural Land. USDA Washington D.C:

VAN DER BERKEN, C., 1968. Filtdrainagetecniek, Mededelingen 30/ WB-3. Merelbeke Belgium Spalding A., 1970 Selection of Materials for Subsuface Drains. R.R.L Report LR 346 UK. Min. Of Transport

VAN BEERS W.F.J., 1965. Some Monographs for The Calculation of Drain Spacings. Bull. 8, ILRI, Wageningen, The Netherlands, 48p

VAN BEERS, W.F.J 1972. Soils and soils properties, drainage principles and applications, ILRI Publication No:16 Vol:1, Vageningen, 1125 p

VAN BEERS, W.F.J 1979. Soils and soil properties. In: Drainage principles and applications, 2nd edition. ILRI, Wageningen, 4 Vols.

VAN DER MOLEN W.H., 1973. Salt Balance and Leaching Reaquirement, in: Drainage Principles and Applications, Volume 2, Application 16, Int. Intitute, for Land Reclamation and Improveement, Wageningen

VAN SOMEREN, C.L., 1972. Drainage Materials Irrigation and Drainage Papers No.9. FAO-Rome.

VAN SCHILFGARDE, 1979. Characteristics of Slimes and Ochre in Drainage and Irrigation Systems. Trascations ASAE, 22. 5: 1093-1096.

VLOTMAN, W.F. 1998. Drain Envelopes Annual Report, International Institute For Land Reclamation And Imrovement, ILRI. P.O. Box 45 Aa Wageningen.

WESSELING, J. 1973. Subsurface Flow into Drains in: Drainage Principle and Applications, Volume II, Puplication 16, International Institute For Land Rec

WIDMOSER, P. 1968. Der Einfluss Von Zonen Geanderler Durcleasigkeit Im Bereich Von Brunen Filter Rohen. Scheweiz Bauzeitung 86. 135-144.