



T.C.  
GIDA TARIM VE HAYVANCILIK BAKANLIĞI

**ARAŞTIRMA GELİŞTİRME DESTEK PROGRAMI  
PROJE SONUÇ RAPORU**

**TAGEM/15 / AR-GE / 67**

**HİDROLÜS DREN BORULARININ YÜZEYALTI  
DRENAJ SİSTEMLERİNDE ETKİNLİĞİNİN  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**PROJE EKİBİ**

Prof. Dr. İdris BAHÇECİ  
Zir.Yük.Müh. Abdullah Suat NACAR  
Yrd. Doç.Dr. Ali Fuat TARI  
Lui Topalhasan  
Prof. Dr. Henk RITZEMA

**YÜRÜTÜCÜ KURULUŞ**

**GAPTAEM, ŞANLIURFA**  
HİDROLÜS DRENAJ BORU SİSTEMLERİ  
AR-GE SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ. İSTANBUL

**AĞUSTOS 2016**

## **ÖNSÖZ:**

Ülkemizde ve dünyada yaklaşık 100 milyon hektar alandaki drenaj sorununu çözmek için inşa edilen drenaj sistemlerinin hizmet ömrünün ortalama 100 yıl olduğu kabul edilmektedir. Ancak gerçekte bu sürenin, borularda bozulma, kırılma siltasyon ve kök girmesiyle tıkanarak çok daha kısa olduğu araştırma raporlarında dile getirilmektedir. Benzer sorunların ülkemizde de yaşandığını ve bu nedenle büyük ekonomik kayıpların ortaya çıktığını düşünen ve bu duruma çözüm üretmeyi amacıyla geliştirilen ve yeni bir düşüncenin uygulaması olan Hidroluis® dren zarflarının etkinliğini belirlemek için, 2015-2016 yılında Şanlıurfa Harran Ovasında yapılan bu çalışma ile drenaj alanında yeni bir düşüncenin uygulama sonuçları tartışılmıştır

Drenaj sistemlerinde kullanılan zarf materyalleri kendilerinden beklenen tüm işlevleri yerine getiremediği gibi, yüksek maliyetleri kullanımlarını sınırlamaktadır. Ülkemizde zarf malzemesi olarak kullanılan kum çakıl materyaller giderek azaldığı gibi, toprak tipine göre tasarım zorluğu, hem toprak ve hem de malzemedeki değişkenlikler ve taşıma maliyetleri, yeni bir takım ürünlerin geliştirilmesini adeta zorunlu hale getirmiştir. Bu yüzden son yıllarda dren zarfı olarak üretilen jeotekstiller ve önsarımlı kaba materyaller üretilmiş ancak, benzer sorunlar bunların kullanımını sınırlamıştır. Bu sorunlara çözüm üretmek amacıyla geliştirilen Hidroluis® boru/zarf lehva kombinasyonunun düşük maliyeti, boru içine silt ve bitki kök girişini önlemesi gibi avantajları olması, yaygın bir kullanım alanı bulacağı fikrini desteklemektedir.

Hidroluis® boru/zarf lehvaları birörnek (homojen) olup, maliyeti düşük, tasarımı basit, temini kolay ve borulara kök ve silt girişini önleme gibi özelliklere sahiptir. Kuru ve ıslak koşullarda döşenebilen tasarımlama ihtiyacı olmayan, drenaj malzemesi olarak son yıllardaki en önemli buluşlarından birisi olmaya adaydır. Bu çalışma Hidroluis®'in drenaj sistem performansları üzerine olumsuz bir etkisinin olmadığını, orijini Türkiye'nin olduğu önemli bir yeni buluş olması nedeniyle, ülkemizin bu alandaki tanıtımında önemli katkıları olacaktır. Ülkemizde ve dünyadaki milyonlarca hektar drenaj alanında kullanılması, hem sistemlerin performanslarını geliştirecek, hem de tarımsal sürdürülebilirliğe katkı sağlayacaktır. Aynı zamanda ülkemize döviz kazandırma potansiyeline sahiptir. Anılan malzemenin başka ülkelerde denenmesinden önce, ülkemizde denenmesi, sonuçların akademik dünya ve yatırımcılarla paylaşılması, bu amaçla yapılacak yatırımları kısa sürede kat kat fazlasıyla geri kazandırma potansiyeline sahiptir.

Yeni bir ürünü düşünmek, geliştirmek üretmek ve uygulamasını veya kullanılmasını sağlamak, çok yönlü ve zorlu bir çalışma süreci yanında bilgi, sabır, kararlılık, irade ve yüksek azim gerektirmektedir. Bir fikrin ortaya çıkışı ve tasarlanan ürünün imalatı ve prototip çalışması, uygulanması sırasında bir çok evre, farklı sanayi kolu teknolojileri, yer yer üniversite, bazen kamu kurumları ve uluslararası kuruluşlar ile ortak çalışmaların gerektiği unutulmamalıdır.

Hidroluis dren boru ve zarf fikri Loui Topalhasan tarafından geliştirilmiş, tarla denemeleri ve arazi çalışmaları Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. İdris BAHÇECİ tarafından planlanmış ve projelendirmiş, çalışma sonuçlarını rapor, bildiri ve makale haline getirmiştir. Bu çalışmalarda Harran Üniversitesinden Yrd.Doç. Dr. Ali Fuat TARİ arazi çalışmalarına, ölçme ve değerlendirmelere katkı sağlamış, Gıda Tarım Hayvancılık Bakanlığı, TAGEM Genel Müdürlüğü, GAPTAEM elemanlarından, Ziraat Yüksek Mühendisi, Toprak ve Su Kaynakları Bölüm Başkanı Abdullar Suat NACAR denemelerin araziye uygulanması ve veri toplama çalışmalarını yürütmüştür.

Drenaj konusunda dünyaca tanınan, Hollanda Wageningen Üniversitesi Sukaynakları Araştırma Grup Başkanı Prof. Dr. Henk Ritzema fikri benimsemiş, önem vermiş ve proje çalışmalarına katılarak ülkemizdeki pilot uygulama alanını ziyaret etmiştir. Gıda Tarım Hayvancılık Bakanlığı, TRGM ve TAGEM elemanları ile yapılan toplantıda Hidroluis® hakkındaki görüşlerini paylaşmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçları ICID in 2017 Mart ayında İranda yapacağı toplantıya sunulmasını önermiştir. Mısır Sulama ve Drenaj araştırma merkezi başkanı olan Dr. Mohammed Wahba yeni fikrin uluslararası değeri ve fikri bu alanda dünyaca isim yapmış kişilerle tanıştırmıştır.

DSİ genel Müdürlüğü, ürünü (Hidroluis®) teknolojik dalda TUCİD'e ödül için aday göstermiştir. Gıda Tarım Hayvancılık Bakanlığı, TAGEM, Toprak ve Su Kaynakları Daire Başkanlığı ARGE araştırma projeleri destekleri kapsamında araştırma projesini desteklemiştir.

Yeni geliştirilen bu sistemin temel avantajı mevcut zarf materyalleri içinde toprak tipine en az bağımlı olmasıdır. Yeni konsept test edilmiş ve kum çakıl, jeotekstil ve zarfsız dren hatları ile karşılaştırılmıştır. Her üç materyal de zarfsız konu ile karşılaştırıldığında düşük sediment yüküne sahiptir ve jeotekstil materyal ile karşılaştırıldığında, Hidroluis®'in önemli düzeyde daha düşük giriş direncine sahip olduğu görülmüştür. Sonuç olarak Hidroluis® zarf malzemesinin, sulanan alanlardaki drenaj sistemlerinde kum-çakıl ve sentetik materyale iyi bir seçenek olduğu sonucuna varılmıştır.

**Prof.Dr.İdris BAHÇECİ**

HARRAN ÜNİVERSİTESİ, ZF,  
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA BÖLÜMÜ  
ŞANLIURFA

## İÇİNDEKİLER

	ÖZET	I
	ABSTRACT	II
	KISALTMALAR	III
	ŞEKİLLER DİZİNİ	IV
	ÇİZELGELER DİZİNİ	V
1.	GİRİŞ	1
2.	LİTERATÜR ÖZETİ	2
3.	MATERYAL VE METOD	4
3.1	Deneme yeri	4
3.2.	İklim özellikler	5
3.3	Toprak özellikleri	5
3.4	Drenaj sisteminin özellikleri	6
3.5	Denemde Kullanılan Zarf Malzemeleri	7
3.5.1	Hidroluis boru zarf kombinasyonu	7
3.5.2	Kum çakıl malzemesinin özellikleri	9
3.5.3	Jeotekstilin zarf malzemesinin özellikleri	9
3.6	Deneme konuları	9
4.	BULGULAR VE TARTIŞMASI	10
4.1	2015 yılı test sonuçları	10
4.2	2016 Yılı Test Sonuçları	11
4.2.1	Filtresiz dren hattı performansı	11
4.2.2	Elyaf (Geotekstil) zarf materyali performansı	12
4.2.3	Kum-çakıl zarf malzemesi	13
4.2.4	Hidroluis boru kaplama kombinasyonu performansı	13
4.2.5	Siltasyon gözlem ve ölçüm sonuçları	15
4.2.6.	Araştırma ile ilgili diğer faaliyetler	18
	<b>EKLER</b>	22
1.	Drenaj Sistemlerinin İzlenmesi Bakımı	22
1.1	Dren Borularında Tıkanma Sorunları	22
1.2	Demir Çökmesi	23
1.2.1	Alt toprağın gevşetilmesi	23
1.2.2	Yüzey kireçlemesi	23
1.2.3	Dren hendeğinin kireçlenmesi	24
1.2.4	Kaba filtre materyali	24
2.	DREN ZARFLARI	24
2.1	Giriş	24
2.2.	Dren Zarfının İşlevleri	25
2.3	Zarflar İçin Gereklilik	25
2.3.1	Dren çevresindeki toprakta oluşan olaylar	26
2.3.2	Toprak stabilitesini etkileyen faktörler	27
2.3.3	Toprağın suya dayanıklılığı	29
2.4	Zarf Gereksinimi Belirleme Yöntemleri	30
2.4.1	Kil ve SAR yöntemi	30
2.4.2	Kil yöntemi	30
2.4.3	PI Yöntemi	30
2.4.4	Cu yöntemi	31
2.4.5	HFG yöntemi	31
2.5	Zarf Materyali Seçimi	31
2.6.	Zarf Tasarımı	33
2.6.1.	Granüle zarf materyallerin tasarımı	33



## ÖZET

Sulanan alanlarda dren boruları zayıf dren performansına neden olan üç tehlikeye karşı zarf malzemeleri ile kaplanırlar. Bunlar, dren borusu çevresindeki yüksek giriş direnci, siltasyon ve boru içine bitki kökü girmesidir. Mineral ve sentetik materyallerden mineral dokumalara (cam elyafı) kadar, zarf malzemesi olarak kullanılan oldukça geniş bir materyal çeşidi vardır. Sorun dizayn edilen zarf malzemesinin toprak özellikleri ile toprak tipini karşılayıp, karşılamadığıdır. Topraklar oldukça değişken olduğundan, dünyada geliştirilmiş birçok norm ve ölçütlerin olması, zarf planlanmasını basit bir işlem olmaktan çıkarmaktadır. Esasında Batı Avrupa ve ABD de geliştirilen bu norm ve ölçütler, sık sık düş kırıklığına neden olmuş ve diğer ülkelerde yürütülen tarla denemelerinde etkinlikleri kanıtlanamamıştır. Yağışlı koşullarla karşılaştırıldığında, sulanan arazilerde bir zarfın hidrolik fonksiyonu, filtre fonksiyonundan daha az önemlidir. Ayrıca sulanan arazilerde boru içinde kök gelişmesi en büyük sorundur. Bu sorunların üstesinden gelmek için, boru ve zarf geometrisini temel alan, yeni geliştirilmiş bir zarf konsepti Güneydoğu Anadolu Bölgesinde, Harran Ovasında GAPTAEM Araştırma İstasyonu'nda denenmiştir. Hidroluis® olarak adlandırılan dren boru zarf sistemi, üstten birkaç sıra delik açılmış, serleştirilmiş kıvrımlı plastik bir boru ve bu borunun yaklaşık 3/4'ünü üstten kaplayan, deliksiz kabarcıklı, kaplama levhasından oluşmaktadır. İç borunun toprakla temas eden kısmı deliksiz ve kaplanmamış bir şekilde iken, borunun en üst kısmında 3-4 sıra su girişi için delik bulunmaktadır. Hidroluis® boru-zarf sisteminin temel avantajı, mevcut zarf materyalleri içinde toprak tipine en az bağımlı olmasıdır. Bu çalışma ile, Hidroluis® boru zarf sistemi arazide test edilmiş, kum çakıl, jeotekstil ve zarfsız dren hatları ile karşılaştırılmıştır. Her üç materyalin de, zarfsız konu ile karşılaştırıldığında daha düşük sediment yükü taşıdığı görülmüştür. Jeotekstil materyal ile karşılaştırıldığında, Hidroluis'in® önemli düzeyde daha düşük giriş direncine sahip olduğu görülmüştür. Sonuç olarak Hydroluis® zarf malzemesinin, sulanan alanlardaki drenaj sistemlerinde kum-çakıl ve sentetik materyale iyi bir seçenek olduğu sonucuna varılmıştır.

## **ABSTRACT**

In irrigated lands, drain pipes are equipped with envelopes to safeguard the drainage system against the three main hazards of poor drain-line performance: high flow resistance in the vicinity of the drain, siltation, and root growth inside the pipe. A wide variety of materials are used as envelopes, ranging from mineral and synthetic materials to mineral fibres. The challenge is to match the envelope specifications with the soil type. As soils are rather variable, the design of envelopes is not straightforward as illustrated with the numerous norms and criteria that have been developed worldwide. These norms and criteria have been mainly developed in Western Europe and the USA and often lead to disappointing results when applied in other countries where their specifications and effectiveness have not been proven in field trials. In irrigated lands, complicated factors are, that compared to rainfed agriculture, the hydraulic function of an envelope is less important than the filter function and that root growth inside the drain pipe is a major problem. To tackle these problems, an innovative envelope design concept, based on optimizing the geometry of the pipe and the envelope, has been tested in a 50 ha pilot area in Haran Province, Turkey. The new concept, Hydroluis<sup>®</sup>, consists of a corrugated inner pipe with one row of perforations at the top and an unperforated outer pipe that covers about 2/3 of the inner pipe leaving the bottom part of the inner pipe in contact with the soil. The main advantage of the new concept is that it is less dependent on the soil type than the existing envelope materials. The new concept was tested and compared with a geotextile and a sand-gravel envelope and a control with no envelope material. All three envelope types had a lower sediment load compared to the control and the sand-gravel and Hydroluis<sup>®</sup> envelopes had a considerable lower entrance resistance compared to the geo-textile and no signs of root growth were observed. It can be concluded that the Hydroluis<sup>®</sup> envelope is a good alternative for a sand/gravel or synthetic envelope in irrigated lands.

**KISALTMA TANIMLARI:**

°C	Santigrat
Ca	Kalsiyum
Cu	Üniformite
D1	Deneme konusu 1
D2	Deneme konusu 2
D3	Deneme konusu 3
D4	Deneme konusu 4
dS	decisiemens
EC	Elektriksel iletkenlik
EC <sub>IW</sub>	Sulama suyu elektriksel iletkenliği
ESP	Değişebilir sodyum yüzdesi
Fe	Demir
GAP	Güneydoğu Anadolu Projesi
h <sub>2</sub>	İki dren arası ortadaki hidrolik yük ile hendek içerisindeki hidrolik yük arasındaki fark
h <sub>3</sub>	Dren hendeği içerisindeki hidrolik yük ile dren borusundaki hidrolik yük arasındaki fark
hav	Ortalama hidrolik yük
HFG	Hidrolik gradiyent başarısızlığı
ICID	Uluslararası Sulama ve Drenaj Örgütü
ILRI	Uluslararası Arazi Islahı Enstitüsü
ISO	Uluslararası Standart Örgütü
K	Hidrolik iletkenlik
Kc	Hesaplanan hidrolik iletkenlik
KDK	Kasyon değişim kapasitesi
Ke	Elyaf zarf malzemesinin hidrolik iletkenlik değeri
Kpa	Kilopaskal
Ks	Doygun hidrolik iletkenlik
L	Uzunluk
NPK	Azot-fosfor-potasyum
PI	Plastisite indeksi
re	Giriş direnci
SAR	Sodyum absorpsiyon oranı
SAR <sub>IW</sub>	Sulama suyu SAR değeri
SE	Standart hata
SN	Solma noktası
TK	Tarla kapasitesi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TSEK	Türk Standartları Enstitüsü Kurumu
GAP	Güneydoğu Anadolu Projesi



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1	Deneme yerinin konumu	4
Şekil 3.2	Ölçme ve gözlem ağı	7
Şekil 3.3	Hidroluis boru zarf kombinasyonu ve boruya su girişinin şematik görünümü	8
Şekil 3.4	Giriş dirençlerinin belirlenmesi için konuşlandırılan piyezometrelerin şematik görünümü	10
Şekil 4.1	Hidroluis deneme alanında oluşan hidrolik yükler	15
Şekil 4.2	Hidroluis Zarf Malzemeli	16
Şekil 4.3	Elyaf Zarf Malzemesi sarılı borularda sediment ve bitki köküne ilişkin görüntüler	16
Şekil 4.4	Basıncı su ile temizlemenin boru eklerine verdiği zarar	16
Şekil 4.5.	Jeotekstil sarıl materyalde kök girişi ve siltasyon durumu	17
Şekil 4.6.	Aynı toprak koşullarında Jeotekstil ve çıplak drenlerde siltasyon kök girişi Şanlıurfa Garp Arıcan Köyü, 2003	17
Ek Şekil 1	Basıncı su püskürtme aparatının şematik görünümü ve arazide çalışması	23
Ek Şekil 2	Dren borusu çevresinde toprak parçacıklarını hareketi	27
Ek Şekil 3	Yüzeyaltı drenajında zarflar için sorunlu toprakların tane dağılım eğrisi	28
Ek Şekil 4	Toprak bünye üçgenin dren zarf gerekliliğinde gösterge olarak kullanılması	28
Ek Şekil 5	Toprağın suya dayanıklılık sınaama sonuçları	30
Ek Şekil 6	Zarf gereksinimini belirlemede ve tasarımlamada işlem basamakları	35
Ek Şekil 7	Konya-Çumra ovası drenaj alanı ile zarf malzemesinin tane dağılım grafiği	37
Ek Şekil 8	Ön sarımlı kaba materyal	38
Ek Şekil 9	Hidroluis drenaj zarf boru sitemini çalışmasının şematik gösterimi	38
Ek Şekil 10	Hidroluis boru zarf kombinasyonunun görünümü	41

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1	Araştırma alanına ilişkin iklim özellikleri	5
Çizelge 3.2	Test alanı topraklarının fiziksel özellikleri	6
Çizelge 3.3	Farklı dren zarf kombinasyonları için dren performans ölçütleri	10
Çizelge 4.1	Farklı dren zarf kombinasyonları için belirlenen performans değerleri (2015)	11
Çizelge 4.2	Fitresiz dren borularında belirlenen giriş dirençleri (2016)	12
Çizelge 4.3	Jeotekstil sarılı borularda belirlenen giriş dirençleri (2016)	12
Çizelge 4.4	Kum çakıl deneme alanına ilişkin giriş dirençleri (2016)	13
Çizelge 4.5	Hidroliik boru kaplama kombinasyonunda belirlenen giriş dirençleri (2016)	14
Ek Çizelge 1	Toprak özelliklerine göre zarf gerekliliği ve uygun zarf çeşidi	29
Ek Çizelge 2	Dren zarf tasarımı ve inşasında işlem basamakları	32
Ek Çizelge 3	İyi bir filtre malzemesinin tane dağılımı	36
Ek Çizelge 4	Temel toprağı mekanik analiz sonuçları	36
Ek Çizelge 5	Filtre malzemesi (kum-çakıl) mekanik analiz sonuçları	37
Ek Çizelge 6	Granüle dren zarfları için önerilen ölçütler	38
Ek Çizelge 7	Organik dren zarfları için önerilen tasarım ölçütleri	39
Ek Çizelge 8	Sentetik dren zarfları için önerilen tasarım ölçütleri	39

## 1. GİRİŞ

Kapalı drenaj sistemlerinde dren borularında siltasyonu önlemek ve boru çevresinde uygun hidrolik koşullar sağlamak amacıyla kullanılan kum-çakıl zarf malzemeleri sistem maliyetini yerden yere değişmekle beraber yaklaşık %20-50 dolayında artırmaktadır. Drenaj sistemlerinin etkinliğini azaltmadan, proje maliyetini azaltmak için dünyada ve ülkemizde birçok çalışma yapılmıştır. Anılan bu çalışmaların bazılarında dren döşeme derinliğindeki temel toprağın kil içeriğinin %40'tan fazla olduğu yerlerde dren zarfına gerek duyulmadığı belirtilirken, bazılarında temel toprağının detaylı inceleme ve etüdü sonunda zarfın esas işlevi belirlenerek, bu işlevi yerine getirecek daha ucuz, daha kolay uygulanabilen ve daha kolay sağlanabilen materyallerin kullanılması önerilmektedir.

Ülkemizde ise yerli kaynaklardan sağlanması, ucuzluğu, mekanik ve yataklama işlevleri de göz önüne alınarak şimdiye kadar birçok sistemde kum çakıl materyal kullanılmıştır. Nitekim Harran Ovası'nda yaklaşık 60 000 ha alanda drenaj sisteminin inşasında, başlangıçta zarf materyali olarak kum-çakıl kullanılmıştır. Ancak gerekli materyal Fırat Nehri Havzası'ndan, yani Birecik veya Adıyaman'dan yaklaşık 100-120 km uzaklıktan taşındığından pahalı taşıma fiyatları sistemin maliyetini %40-50 oranında artırmış ve ayrıca homojen kum çakıl materyal ocakları bulmak olanaksız hale gelmiştir. Bu nedenle bir süre sonra jeotekstil sarılı borular kullanılmaya başlanmıştır.

Hangi malzeme kullanılırsa kullanılsın, dren zarflarının doğru tasarlanması gerekir. Dren zarflarının tasarımında da iki yaklaşım vardır. Biri laboratuvar gözlemleriyle belirlenen ölçütlerin kullanılabilmesi, diğeri ise tarlada ve laboratuvarda yapılan denemelerden ölçütlerin elde edilmesidir. 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.

Dren zarfının tasarımı, toprak parçacık boyutlarıyla karşılaştırılan bir materyalin delik açıklıklarının seçilme işlemidir. Dren zarflarının uygulamasının bu aşamasında en olası kullanılacak materyal belirlenir. Bu kalın veya ince materyal, granüle ve sentetik veya belki de geçici kullanım için organik bir materyal olabilir.

Tasarımlamada 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 genişliği, tatmin edici geçirgenlik için daha kaba sınırı kullanılır.

Oluklu plastik dren borularına sediment girişini önlemek için, ön sarımlı organik lifler, sentetik lifler, sentetik kumaşlar yaygın olarak kullanılan zarf materyalleridir. Drenajda kullanılan söz konusu gözenekli sentetik materyallerin birçoğu, dren zarfı olarak tasarlanmıştır. Bunlar döşenecekleri alanın toprak özelliklerine göre seçilerek, boruların etrafına sarılarak kullanıma hazır bir şekilde satılmaktadır.

Ancak yine de dünyada ve ülkemizde bitki kökü girişi, siltasyon ve deformasyon nedeniyle işlevini zamanından çok önce kaybeden drenaj sistemlerinin yenilenme ihtiyacı doğduğu bildirilmektedir. Kuşkusuz bu durum ülkelerin tarımsal alt yapı maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır.

Dren boruları içinde oluşan siltasyon çeşitli nedenlerden ileri gelmektedir. Bunlar, dren borularının çıkışlarının su altında kalması, uygun olmayan zarf malzemesinin seçilmesi, boru cinsi, dren eğiminin az olması ve uygulamalardaki hatalar olarak sayılabilir. Bu yüzden drenaj sistemleri tesis edilirken mühendislik çalışmalarında da duyarlı davranılması gerekmektedir.

Mevcut koşullarda bir drenin zarf gereksinimi, öncelikle drenaj sisteminin planlandığı bölgenin toprak özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle bir bölgede kazanılan deneyimlerin diğer bir bölgede kullanımına ilişkin uygulamalara pek rastlanılmamaktadır.

Son yüz yıllık tarihi süreç boyunca alternatif sistem ve yöntemleri belirlemek, bu yöntem ve sistemlerin birbirleri arasındaki farkları belirlemek için çeşitli araştırmalar

yapılmıştır. Doğru ürünü toprak yapılarına göre seçmek için sonuçlar rapor edilerek kamuoyuna sunulmuştur.

Dren filtre ve zarfları üzerine yapılan birçok araştırma ve geliştirme çalışmalarına karşın, dünyanın değişik bölgelerinden düşük performanslı veya işlevini kaybeden drenaj sistemleri hakkında çok sayıda rapor ve makale yayınlanmaktadır.

Bu çalışma ile drenaj sistemlerinde borularda siltasyonu ve sulanan alanlarda boru için bitki kökü girişini önleyen yeni bir boru zarf sistemi olan **Hidroluis® in** etkinliği belirlenmeye çalışılmıştır.

Yeni geliştirilen **Hidroluis®** boru-zarf sisteminde temel bir fiziksel kuraldan yararlanılmaktadır. Bilindiği gibi dren borularına su girişinin yaklaşık %70'i boruların altından radyal akışla gerçekleşmektedir. Su kıvrımlı plastik borularının etrafındaki deliklerden boru içine girmektedir. Boru üstündeki hidrolik yük ve boru içine su giriş hızı ve toprak bünyesine bağlı olarak, boru çevresindeki ince materyaller boru içine girebilmektedir. Boru boyunca meydana gelen çökelmeler sonunda, zamanla borular siltasyonla dolarak tıkanmakta, drenaj sistemi işlevini belli oranlarda veya tamamen kaybetmektedir. Bu durumu önlemek ve sistemin ömrünü uzatmak için değişik filtre ve zarf materyalleri ile boruların etrafı sarılmakta ve boru boyunca belli aralıklarla silt kapanları inşa edilmektedir. Zaman zaman da borulardaki tıkanmalar basınçlı su ile temizlenmektedir. Bütün bu işler drenaj sistemlerinin yatırım ve inşaat maliyetini artırmaktadır.

Bu araştırmada, aynı toprak yapısında farklı yöntemleri yan yana, aynı sahada deneyerek farkları hem görsel hem de ölçümlendirmek, resimsel kayıt ve veriler oluşturarak farklı drenaj boru sistemlerini karşılaştırmak üzere tarla testleri yapılmıştır. Yeni geliştirilen **Hidroluis®** boru-zarf sistemi ile hem siltasyonun önlenmesi ve hem de boru içine bitki köklerinin girişi önleneceği ifade edilmektedir.

Bu çalışma ile yeni bir ürün olan **Hidroluis®** drenaj boru sisteminin aynı toprakta kullanılması ile elde edilecek farklı sonuçlardan özellikle bitki kökü girişine izin verip vermediğini, silt ve diğer materyallerin boru içine girişini ne düzeyde önlediği, aynı zamanda yük kayıpları nedeni ile sistem performansını üzerine etki düzeyi belirlenmiştir.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Dren zarfları üzerine çok yaygın laboratuvar ve arazi çalışması ve bunlardan elde edilen sonuçlar bulunmaktadır. Vlotman, (1998), toprak bünyesi ile zarf gerekliliği arasındaki ilişkileri incelemiştir. Araştırmacıya göre; ince sedimentleri boru dışında tutmak için bir zarfa gereksinim olmadığında bile, belli koşullar için hala bir zarf gereksinimi olabilir. Örneğin, hidrolik gereksinimler ve yerleştirme koşulları zarf kullanımını gerekli kılabilir. Çoğu durumlarda, hidrolik, mekanik ve yataklama işlevlerinin de ölçüt olarak göz önüne alınması gerekebileceğine değinmiştir.

Zaslavsky (1978), toprak zerrecilerinin, dren borusuna girebileceğini ve orada tıkanmaya neden olabileceğini, siltasyon yönünden sorunlu topraklarda dren içine çeşitli toprak tanelerinin girişinin, dren çevresine konulan malzemeye önlenmesinin çok önemli olduğunu belirtmiştir.

Plastik dren borularının delik genişliği ve birim uzunluktaki delik alanları toplamının suyun giriş dencine olan etkilerinin incelendiği çalışmada Cavelaars, (1965) delik genişliğinin ve buna bağlı olarak delik alanlarının artışı ile direnç değerlerinin azaldığını bildirmiştir.

Pürüzsüz düz borular ile esnek kıvrımlı boruların suyu boşaltma etkinliği ile ilgili olarak yapılan model çalışmasında, kıvrımlı borular içine akışın düzgün borulardaki akışa oranla daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç boru yüzeyi üzerindeki deliklerin dağılımına, kıvrımlar yüzünden boru etrafında daha yüksek bir geçirgenlik oluşmasından ileri geldiği şeklinde yorumlanmıştır.

Eggelsmann, (1987), borulu drenajda akış engellemelerinin genellikle kumlanma, siltasyon, kimyasal ve biyolojik çökeltme, bitki köklerinin boru içine girmesi, filtrenin işlevini yapamaz hale gelmesi, drenaj kanalları içine sıkışmış dolgu toprağı birikmesi (çok ıslak

ortamlarda), münferit boruların uygunsuz döşenmesi gibi nedenlere bağlı olduğunu bildirmiştir.

Robert ve ark. (1987), laboratuvarda yatay kum tankında, ince kumlu tınlı bir toprakta her bir halka üzerinde çeşitli sayıda delik bulunduran borularla, yaptıkları çalışmada, en büyük akış hızını ve en az siltasyonu jeotekstillerin kullanıldığı borularda elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Mavi (2000) tarafından Çarşamba Ovasında yürütülen tarla denemelerinde 4 değişik seçenek denenmiştir. Zarfsız döşenen dren borularında başlangıçtaki yüksek yük kayıpları zamanla diğer konulara yaklaşmıştır. Drenler döşenirken bozulan toprağın zamanla kararlı hale gelmesi ile dren çevresinde su yolları oluşmuş böylece su iletkenliği artmıştır. En iyi hidrolik koşullar granüle zarf seçeneğinde. en kötü koşullar ise örgüsüz bir jeotekstil konusunda oluşmuştur.

Vlotman, (1998). dren zarflarının tasarımında da iki yaklaşım olduğunu, birinin laboratuvar gözlemleriyle belirlenen, diğeri tarlada ve laboratuvarda yapılan denemelerden ölçütlerin elde edileceğidir. İkisi arasındaki fark laboratuvar gösterge deneylerinin her materyal ve her durum için yapılabileceğidir Halbuki genelleştirilmiş ölçütler daha ileri laboratuvar testleri yapmadan bir rehberlik verir.

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.

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.

Stuyt ve ark. (2005), dren döşeme derinliğindeki toprağın silt içeriğinin %40tan fazla olması halinde zarfa gerek olmadığını, ve eğer plastiiste indeksinin 12, üniformite katsayısının 15 ve kil silt oranını 0.5 ten fazla ise zarfa gerek olmadığını, Vlotman (1998) kil içeriğinin %30-40 arasında olması durumunda zarf gerekliliğine karar vermek için diğer faktörlere bakılması gerektiğini, Gallichandl and Marcotte (2003) ise büyük ölçekli drenaj projelerinde zarf, yüzey toprağının kil içeriğinin belli bir eşik değerinin altında olması gözönüne alındığını bildirmişlerdir.

Stuyt and Oosten (1986) yürüttükleri bir ulusal programda, 1200 noktada kazılan ve açılan dren borusu bölümlerinde toprak/zarf performansında önemli farklılıklar belirlemişlerdir. Elde ettikleri verilerden geleneksel filtre kurallarının olumsuz bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Rimidis ve Diericxk (2003) zarf ihtiyacının sadece toprağın kil içeriğine bağlı olmadığını, kullanılacak zarf çeşidini belirlemek için özel ölçütlerin gözönüne alınmasını ve bu amaçla model çalışmaları yaptığını bildirmiştir.

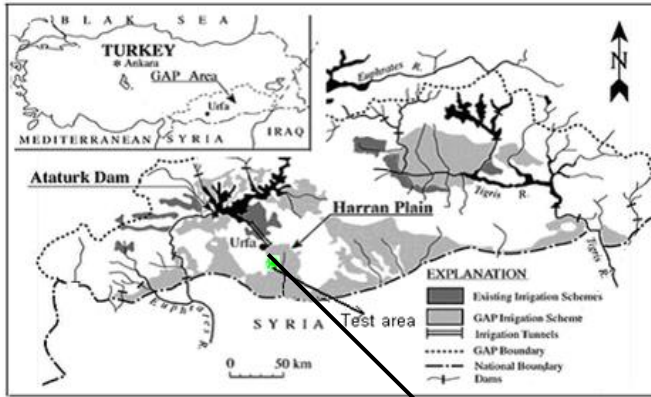
### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1 Deneme yeri

Araştırma, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yaygın olarak yer alan Harran Serisi topraklarında yürütülmüştür (Şekil, 3.1). Bu amaçla Şanlıurfa-Akçakale yolunun 35. km'sinde bulunan GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğüne bağlı Koruklu Talat Demirören İstasyonu deneme alanları kullanılmıştır.

Harran Ovası, kuzeyinde Şanlıurfa ve Germüş dağları, güneyinde Türkiye-Suriye devlet sınırı, doğusunda Tektek Dağları, batısında Fatik Dağları ile sınırlanmıştır.

Ovanın en geniş yeri güneyde 60 km, en dar yeri ortada Tektek Dağları ile Fatik Dağları arasında 30 km, uzunluğu kuzey-güney yönünde 65 km'dir. Topoğrafik yapı yönünden genel olarak düz yada düze yakın arazilerden oluşmaktadır. Genel eğim %0-2 arasında olup ova 450 metre kotundan 335 metre kotuna kadar düşmektedir. Denizden ortalama yüksekliği 400 m'dir. Ovanın toplam alanı 225109 hektar olmasına karşın proje ile öngörülen sulama alanı 170.000 hektardır.



Şekil 3.1 Deneme yerinin konumu

### 3.2. İklim özellikleri

Harran Ovası, yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlıdır. Yıllık ortalama yağış 365 mm, ortalama sıcaklık 17.2 °C ve açık su yüzeyinden buharlaşması 1850 mm'dir. Yağışların mevsimlere göre dağılımı; kışın %56, ilkbaharda %30, sonbaharda %13 ve yazın %1 şeklindedir. Yağışlı günlerin sayısı ortalama 70, karla örtülü günlerin sayısı 3 tür.

Çizelge 3.1. Araştırma alanına ilişkin iklim özellikleri

Meteorolojik veriler	Aylar												Yıllık
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Ortalama yağış (mm)	19.6	42.0	61.4	5.8	63.3	55.5	26.9	22.6	3.5	0.1	.	0.5	365.2
Ortalama sıcaklık (°C)	18.2	10.1	6.0	4.9	6.0	10.0	15.2	21.7	27.9	31.3	29.	25.3	17.2
Ortalama nisbi nem (%)	45	60	72	69	64	58	58	42	33	34	40	38	51
Aylık buharlaşma (Class A - pan) (mm)	11.9	50.6	.	.	52.0	11.8	199.3	34.5	376.0	337.9	249.8	1848.8	
Ort. rüzgar hızı (m/s)	1.0	0.9	1.2	1.6	1.7	1.6	1.6	1.9	2.4	2.3	1.9	1.5	1.6

### 3.3 Toprak özellikleri

Harran Ovası; doğu, batı ve kuzeyini çevreleyen Fatik, Tektek ve Urfa Dağlarından gelen çamur akıntılarında oluşmuş alüvyal materyalli, düz, düze yakın eğimli derin topraklardır. Tipik kırmızı profilleri killi bünyelidir. Üst toprak orta köşeli blok, sonra granüler alt toprak kuvvetli iri prizmatik sonra kuvvetli orta köşeli blok yapıdadır. Aşağılara doğru artan yoğunlukta sekonder kireç cepleri içermektedir. Tüm profil çok kireçlidir. A, B ve C horizonlu olup organik madde içeriği düşük, katyon değişim kapasiteleri (KDK) yüksektir. Organik madde yüzeyden aşağılara doğru azalmakta, katyon değişim kapasite de kil içeriğine bağlı olarak alt katmanlara doğru artmaktadır.

Harran Ovası toprakları profil boyunca genellikle ağır bünyelidir. Arazi Yetenek Sınıflaması ve Sulu Tarıma Uygunluk Sınıflamasına göre büyük bir çoğunlukla II. sınıf araziler olarak değerlendirilmiştir (DSİ, 2001). Harran Ovası, GAP alanında bulunmaktadır. Ova, kil oranı yüksek, ağır bünyeli topraklardan oluşmuştur. Toprakların önemlice bir bölümü vertisol özelliktedir. Çalışma, vertisol özelliği gösteren Harran Serisi topraklarında yapılmıştır.

İnfiltrasyon testlerinin yapıldığı Harran serisi toprakları, Harran Ovasını doğu, batı ve kuzeyden çevreleyen Tektek, Fatik ve Urfa Dağlarından gelen çamur akıntılarında oluşmuş, alüvyal ana materyalli, düz ve düze yakın eğimli, derin topraklardır. Tipik kırmızı profilleri killi bünyelidir. Tüm profil çok kireçlidir ve aşağılara doğru artan yoğunlukta kireç cepleri içermektedir. A,B,C horizonlu topraklar olup, pH 7.3 ile 7.8 arasında, organik madde içeriği düşük, katyon değişim kapasitesi kil içeriğine bağlı olarak alt katmanlara doğru artmaktadır (Dinç ve ark.1988). Araştırma alanı topraklarında organik madde miktarı genellikle % 1'in altındadır. Harran serisi topraklarında, en çok smektit, ikinci sırada paligorskite ve bu iki baskın kil mineralleri ile birlikte klorit, illit, kaolinit ve kuvars minerallerinin bulunduğu saptanmıştır (Çakmaklı, 2008).

İnfiltrasyon testlerinin yapılacağı alanlarda, rutin laboratuvar yöntemleri kullanılarak toprakların sulama ve drenaj yönünden fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir.

Çizelge 3.2. Test alanı topraklarının fiziksel özellikleri

Konu adı	Derinlik (cm)	Saturasyon kapasitesi (%)	Bünye (%)				pH	E.C dS/m	Kireç (%)
			Kum	Kil	Silt	Sınıfı			
D1 (Filtersiz drenaj alanı)	0-30	78	24.06	55.6	19.64	C	7.61	0.73	30.4
	30-60	74	24.06	57.7	17.64	C	7.71	0.91	29.6
	60-90	0	2.06	57.76	19.64	C	7.78	1.17	30.4
	90-120	74	22.06	57.6	19.64	C	7.68	1.17	30.0
	120-150	68	32.06	43.76	23.64	C	7.8	0.92	30.4
	150-180	74	26.06	4.76	25.64	C	7.77	0.77	29.6
	180-210	77	24.06	53.76	21.64	C	7.76	0.72	30.0
D2 (Elyaf sarılı)	0-30	71	.08	55.92	20.00	C	7.60	0.84	30.5
	30-60	70	24.06	55.76	19.64	C	7.74	1.12	29.2
	60-90	71	20.06	57.76	21.64		7.69	1.40	29.6
	90-120	73	20.0	59.76	19.64	C	7.63	1.69	30.0
	120-150	74	22.08	57.92	20.00	C	7.64	1.59	31.9
	150-180	83	22.08	55.92	22.00	C	7.75	1.00	31.5
	180-210	79	22.08	57.92	20.00	C	7.85	0.76	28.8
D3 (Kum-çakıl)	0-30	70	22.08	55.92	22.00	C	7.3	0.82	30.0
	30-60	71	24.08	55.2	20.00	C	7.65	0.86	29.2
	60-90	69	24.08	55.92	20.00	C	7.66	0.97	29.2
	90-120	7	22.08	57.92	20.00	C	7.71	1.01	34.5
	120-150	69	26.08	53.92	20.00	C	7.60	1.07	42.4
	150-180	74	24.08	55.92	20.00	C	7.66	0.89	43.2
	180-210	75	20.08	59.92	20.00	C	7.53	0.93	43.2
D4 (Hidroluis)	0-30	72	22.08	59.92	18.00	C	7.66	0.85	29.6
	30-60	70	20.08	57.92	22.00	C	7.63	0.92	30.7
	60-90	70	20.08	59.92	20.00	C	7.62	0.91	31.5
	90-120	71	22.08	59.92	18.00	C	7.65	0.94	32.6
	120-150	72	18.08	59.92	22.00	C	7.64	0.99	34.9
	150-180	73	20.08	61.92	18.00	C	7.62	1.03	33.4
	180-210	78	22.08	55.92	22.00	C	7.63	0.81	44.0

Değinen kapsamda, TK, SN, hacim ağırlığı, toprak bünyesi, toprak rutubet değerleri, hidrolik iletkenlik, EC, SAR, ESP, Ca, NPK, analizleri yapılmıştır. Ele alınan toprak serilerinde, özellikle testin yapıldığı alanlardaki kil tipi saptanmıştır. Bunun için X-Ray ışını kromatografi tekniği kullanılmıştır.

Ova topraklarının infiltrasyon hızları genellikle yüksektir (12–116 mm/h). Araştırmanın yürütüldüğü alandaki toprakların infiltrasyon hızları, ortalama 48 mm/h dolayındadır (Karaata, 1984).

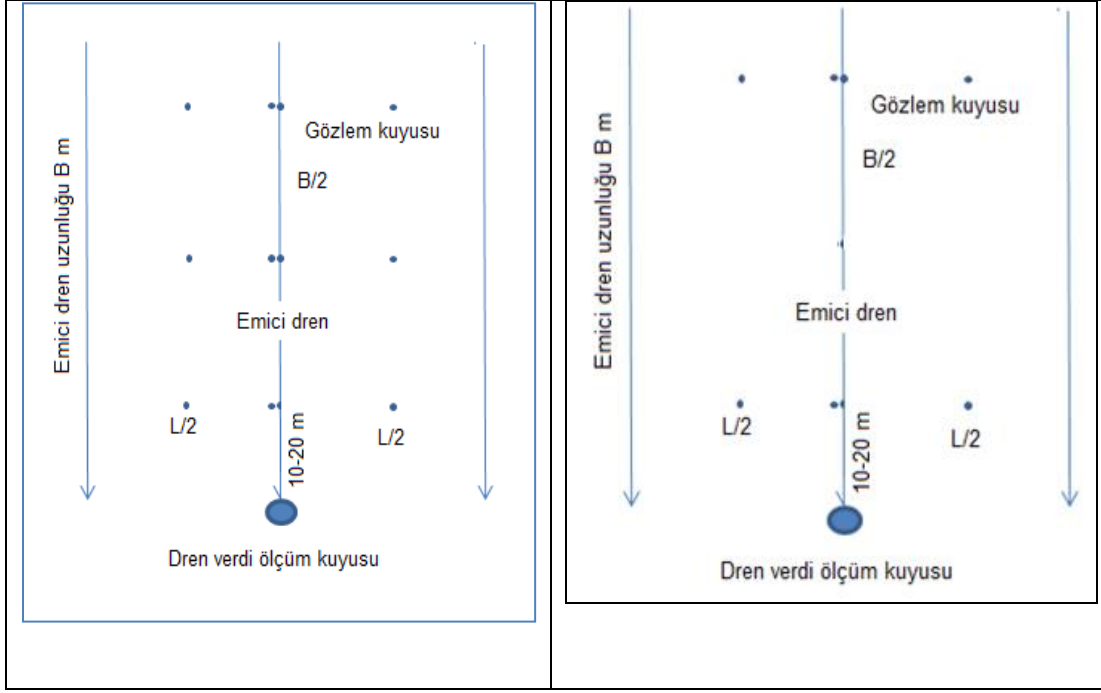
Çizelge 3.2 de görüldüğü gibi bütün test alanları, dren derinliğinde %55-60 düzeyinde kil içeriği ne sahip ağır bünyeli topraklardır. Kireç içeriği yüksek olup tuzsuz hafif alkali topraklardır.

### 3.4 Drenaj sisteminin özellikleri

Deneme alanında emici (lateral) drenler 60 m aralıklarla, yaklaşık 200 m uzunlukta 100 mm çapında, 1.5–1.60 m derinliğe, %0.1 eğimle döşenmiştir. Deliksiz dren borularından oluşan toplayıcı hattı ise 160 mm çapında ve 170-180 cm derinliğine döşenmiştir.

Farklı zarf materyaline sahip her 3 emici dren bir manhole bağlı olmak üzere, tesis edilen toplam 4 manhol ayrı ayrı toplayıcı drene bağlanmıştır. Ayrıca taban suyu gözlemleri yapılması amacıyla drenler arası orta noktalara, dren borularına, boru döşenen hendek içerisine, hendek kenarlarına gözlem kuyuları ve değişik derinliklere piyezometre bataryaları yerleştirilmiştir.





Şekil 3.2 Ölçme ve gözlem ağı (a) Hidroluis boru zarf kombinasyonu deneme planı, (b) Kum-çakıl zarflı drenaj borusu, filtresiz drenaj borusu, elyaf sarılı boru zarf materyal deneme deseni

Sulama mevsimi boyunca yapılan sulamalarla yükselen taban suyunu izlemek için Şekil 3 2'deki ölçme ve gözlem ağı oluşturulmuştur

Hidroluis boru zarf kombinasyonuna ait test alanında drenler arası orta noktaya 3 sıra halinde 6 gözlem kuyusu, boru içine ve hendek içine 3'er adet piezometre yerleştirilmiştir. Kum-çakıl zarflı drenaj borusu, filtresiz drenaj borusu, elyaf sarılı boru zarf materyalli deneme alanlarında, drenler arası orta noktaya 2 sıra halinde 4 gözlem kuyusu, boru içine ve dren hendeğine 2 sıra piyezometre yerleştirilmiştir.

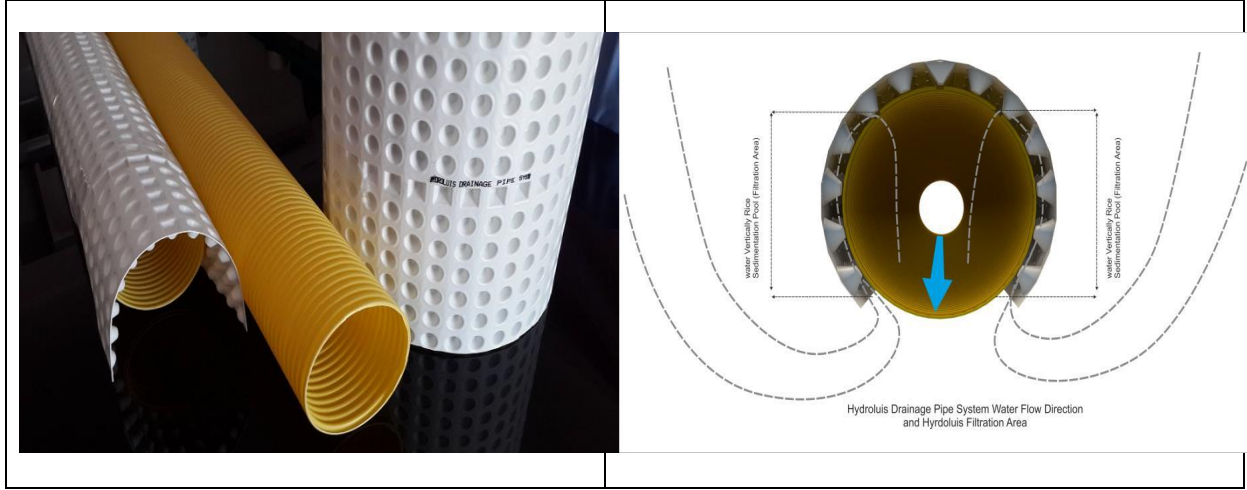
Tüm test alanlarında, her konu kendi içinde olmak üzere dren çıkış ağızı kotu, gözlem ve piezometre üst kotları nivelman aleti ile ölçülerek kaydedilmiştir.

Su tablası ve dren verdileri ölçülmeden önce manholde biriken su motopomla boşatılarak serbest akış sağlandıktan sonra su tablası ve dren verdileri ölçülmüştür.

### 3.5 Denemede Kullanılan Zarf Malzemeleri

#### 3.5.1 Hidroluis boru zarf kombinasyonu

Bu sistemde dren boruları deliksiz olarak üretilmekte ve döşeme sırasında etrafı plakalarla sarılırken aynı zamanda borulara delik açılmaktadır. Böylece deliklerin borunun üst ve yanlara gelmesi sağlanmaktadır. Borunun toprakla temas eden alt kısımları deliksiz olduğundan bu kısımlardan boru içine su girişi olmamaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Hidroluis boru zarf kombinasyonu ve boruya su girişinin şematik görünümü

Üretici firma Hidroluis için aşağıdaki özellikler taşıdığını belirtmiştir;

1- Bitki kökü girişini önleyen dünyadaki tek ve ilk drenaj kaplama/zarf malzemesidir. Hidroluis plakalar borudaki deliklerin üzerini kapladığından, boru üst yüzeyinin toprakla ilişkisi kesilmektedir. böylece kapillarite ile toprağa nem bırakmamaktadır. Dolayısıyla, bitki köklerinin boruya doğru yönelimi olmamaktadır.

2- Anti-bakteriyel özellikler taşımaktadır. Herhangi bir biofilm oluşumu yapacak organik veya sentetik elyaf içermez.

3- Boru içine su kanalcıklar içinde yükselerek girdiğinden, uygun hidrolik koşullar yaratıldığında, her türlü kum ve toprak parçacıkları yerçekimiyle çökeleceğinden, boru içine giremez. Böylece döşeme sonrası, toprak oturması döneminde alternatif zarf malzemelerine nazaran minimum sediment aldığı için ömür boyu temiz kalır ve yıllık temizlik bakım ihtiyacı neredeyse yoktur.

4- Islak koşullarda döşenebilir. Geri doldurma sırasında toprağın ıslak olması tıkanma sorunları yaratmaz. Çünkü geri doldurma sırasında boru üzerindeki deliklerin toprakla teması yoktur. Dolayısıyla, yılın her döneminde ve su tablası altındaki alanlarda döşenebilir. Böylece arazide çalışma ve inşaat süresi uzar.

5- Çift kat plastik oluşumu nedeniyle drenaj borusuna mekanik destek sağlar ve toprak altı boru dayanımına uzun yıllar için destek olur.

6. Mevcut materyaller içinde toprağa en az bağımlı olanıdır. Dolayısıyla farklı toprak ve hidrolik koşullar için yeniden tasarımı gerektirmez. Boru çapına uygun genişlikte üretilmesi tasarım için yeterlidir.

7- Hem uzun vadede, hem de başlangıçta en iyi fiyat avantajına sahiptir.

8- Mansap şartı nedeniyle ve bitki kökü girişi sorunu olan sulanan alanlarda sığ drenaj döşenmesi gereken yerlere en ideal çözümdür.

9- Kum/Çakıl yataklarının tüketilmesini önler. Bir örnektir (homojen) her türlü toprakta kullanılabilir.

Her türlü toprakta döşenebildiğinden diğer zarf malzemelerindeki test zorluklarını ve kaliteyi her noktada yakalama zorluklarını ve denetim sorunlarını ortadan kaldırır.

10- Geri dönüşüm ürünlerinden yeniden üretilebileceğinden çevre dostu bir üründür.

Sayılan bu özelliklerin bir kısmı, diğer bilinen sistemlerde bulunmamakla birlikte Hydroluis® Drenaj boru zarf sistemleri ve ek parçaları ISO 9001:2000 Belgesi, DIN 1187 ve British Standart 4962 normlarına TSE 9128'e uygun olup, DIN 1185 normunda belirtilen bütün kullanma şartlarını sağlamakta ve yeni konseptte ait TSEK standardı TSE de hazırlanmıştır.

### 3.5.2 Kum çakıl malzemesinin özellikleri

Borulu drenlerde kullanılan gradasyonlu zarf malzemesi organik maddeler, kil ve sair maddelerden arınmış, sağlam sabit temiz kum ve çakıldan meydana gelen iyi tasnif edilmiş üniform bir, karışımdır. Kullanılan malzemenin granülometrik özellikleri içindeki karbonat % 5' ten az, bünyesi, diğer eksenlere göre uzunlukça nisbetsiz bir boyut arz eden malzemeler içermemektedir. Zarf malzemesinin, minimum hidrolik iletkenliği 15 m/gündür. Malzemeler seçilerek veya işlenerek projesinde gösterilen gradasyon şartlarına uygun olarak elenmiş ve yıkanmış 0.425 m<sup>3</sup> kum (0-7 mm) ile 0.700 m<sup>3</sup> çakılın (7-32 mm) homojen karışımından elde edilmiştir.

### 3.5.3 Jeotekstilin zarf malzemesinin özellikleri

Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından yaptırılan tarla içi drenaj işlerinde kullanılan sentetik zarf malzemesi hammaddesi 2 ana polimerden, Polipropilen ( PP) veya Polyester (PET) den oluşmakta, yük altında kalınlığı minimum 2.70 mm, gözenek açıklığı 350-550 µm arasında, gerilme direnci olarak 2 kN/m değerinden daha yüksek bir gerilme direnci gösterdiği taktirde diğer fiziksel özelliklerini bozmayan, birim alan kütlesi 300-600 gr/m<sup>2</sup>, hidrolik iletkenlik değeri (Ke) toprağın hidrolik iletkenliğinden (Ks) fazla, Drenaj borusu etrafına sarılan jeotekstil, örgüsüz kesik elyaf ve liflerden mekanik işleme metodu ile oluşturulan, şilte olarak boru etrafına sarılmış malzeme kullanılmıştır.

### 3.6 Deneme konuları,

Çalışmada Hidroluis Drenaj boru-zarf sistemi ile diğer boru-zarf kombinasyonu seçenekleri karşılaştırılmıştır. Deneme istasyonunda kurulan tarla denmesinde aşağıdaki konular ele alınmıştır. Bunlar;

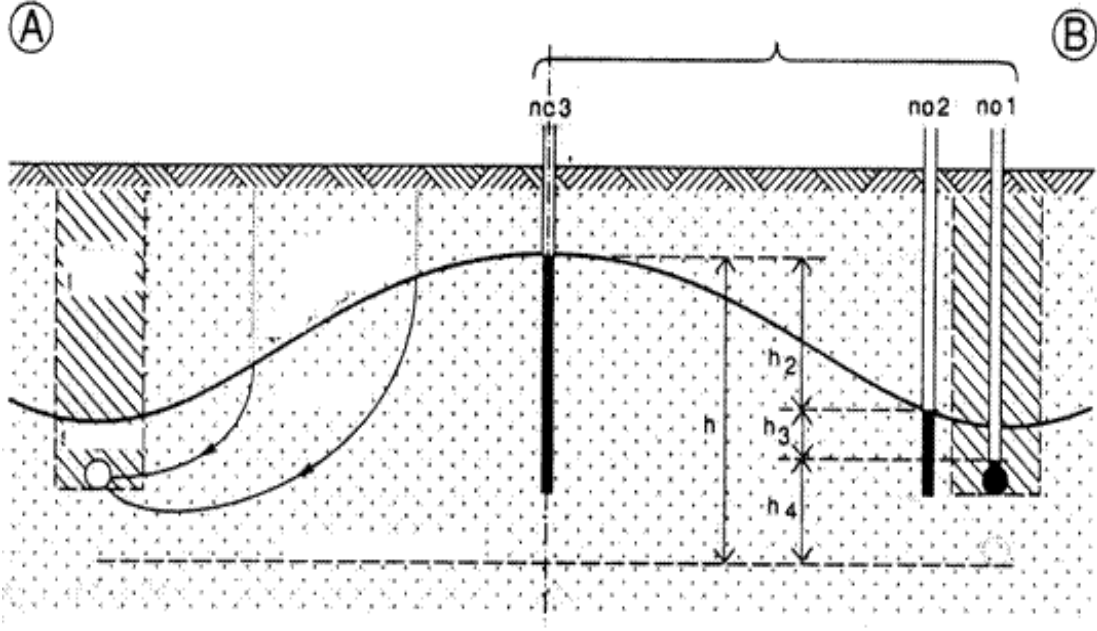
D1- Filtresiz drenaj borusu

D2- Elyaf sarılı boru zarf materyal

D3-Kum-çakıl filtre zarf sarılı drenaj borusu

D4-Hidroluis boru-kaplama kobinasyonu

Deneme alanında belirtilen konuların bulunduğu boru hatlarına piyezometreler ve gözlem kuyuları konuşlandırılmıştır. Bunlar projede de öngörüldüğü şekilde her deneme konusunda iki dren orta noktasına, boru içine ve hendek kenarına olmak üzere boru hattı boyunca dren boru uzunluğunun 1/2"sine gelecek şekilde, boru hattının sağında ve solunda olmak üzere, toplam 3 x 4 = 12 adet gözlem kuyusu ve piyezometre konuşlandırılmıştır.



Şekil 3.4. Giriş dirençlerinin belirlenmesi için konuşlandırılan piyezometrelerin şematik görünümü

Değerlendirmede basit yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem sulanan alanlarda daha doğru ve güvenilir sonuçlar vermektedir. Yağışlı bölgelerde emicinin etkili olduğu alanın tamamı dreni beslediği halde, sulanan alanlarda emici drenin beslediği alan değişken olup azalıp çoğalmaktadır. Sulanan dren uzunluğu ( $L$ ) ve sulanan dren aralığı sürekli değişiklik gösterdiğinden, giriş direnci eşitliğindeki  $q_u$  değerinin doğru olarak hesaplanması oldukça zor, hatta tarla koşullarında olanaksızdır. Bu yüzden giriş dirençleri hidrolik yüklerin ölçülmesine dayanan  $h_3/(h_2+h_3)$  eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Çizelge 3.3).

Belirtilen eşitliğin değerlendirilmesi Çizelge 3.3'te verilmiştir. Buna göre hesaplanan giriş dirençleri "**Normal**" "**yüksek**" ve "**fazla**" şeklinde değerlendirilmektedir. Normal giriş direncine sahip dren hatlarının performansı "**iyi**", giriş direnci "**yüksek**" olarak hesaplananların dren hattının performansı "**orta-zayıf**" ve giriş direnci "**yüksek**" olanların performansı "**çok zayıf**" olarak nitelendirilmektedir (Ritzema 1994).

Çizelge 3.3. Farklı dren zarf kombinasyonları için dren performans ölçütleri

Değerlendirme ölçütleri		Giriş direnci	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

Yeterli sayıda gözlem ve ölçüm yapılan dren hatlarında giriş dirençlerinin ortalama değerleri, standart sapmaları, standart hata değerleri ve %95 olasılıklı güven aralıkları belirlenmiştir.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMASI

Projede öngörüldüğü şekilde, yeni geliştirilen ürün ve malzemeler gerekli miktarda alınarak deneme alanına döşenmiştir (Şekil 3.2). Deneme alanında sulamalar tava yöntemi ile yapılmış ve su tablası yeterince yükselince ölçümlere başlanmıştır. Ölçümler günde 3-4 kez tekrarlanarak farklı hidrolik yükler için veriler elde edilmiştir.

### 4.1 2015 yılı test sonuçları

Aynı toprak koşullarında farklı zarf malzemelerinin giriş dirençleri üzerine etkilerini karşılaştırmak için, su tablasının yükseldiği sulama döneminde, boru içinde, dren hendeğinin hemen dışında ve iki dren orta noktasındaki su tablası yükseklikleri ölçülmüştür. Su düzeyleri ölçümlerinden yararlanılarak, farklı drenaj boru zarf kombinasyonlarında oluşan yük kayıpları ve giriş dirençleri belirlenmiştir. Dren performansına ilişkin belirlenen giriş dirençleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı dren zarf kombinasyonları için belirlenen performans değerleri (2015)

Zarf boru kombinasyonu	Hesaplanan $h_3/(h_2+h_3)$	Dren performansı	pH	EC $dS m^{-1}$	Silt $g m^{-3}$
D1 (zarfsız)	-	-	7.20	1.029	46
D1 (jeotekstil)	0.38	Orta-zayıf	7.50	0.985	35
D3 (kum-çakıl)	0.25	İyi	7.19	0.55	26
D4 (Hidroluis)	0.28	İyi	6.95	0.971	34

Basit yöntemle elde edilen sonuçlara göre, Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi, hesaplanan giriş direnci kum-çakıl için 0.25, hidroluis için 0.28 ve jeotekstil için 0.38 olarak hesaplanmıştır. Zarfsız dren hatlarında yeterince su yükü elde edilemediğinden değerlendirme yapılamamıştır. Kum çakıl ve hidroluis boru kombinasyonunda giriş direnci “normal” dren hattı performansı “iyi” bulunurken, jeotekstil sarılı boru hattında giriş direncinin “yüksek”, dren hattı performansının “orta zayıf” gurubuna girdiği belirlenmiştir.

Drenaj sularının silt içeriği bakımından hidroluis dren zarf kombinasyonu 3. sırada yer almıştır. Kum çakıl konusunda 26, hidroluis 34, jeotekstil 35 ve zarfsız drenler 46  $g m^{-3}$  silt taşımaktadır. Hidroluis kaplama malzemesinin kum çakıldan daha düşük, jeotekstil ve filtresiz drenlerden daha yüksek filtreleme özelliğine sahip olduğu söylenebilir. Ancak drenaj sularının içerdiği bu siltasyon değerleri sulama suyu bakımından değerlendirildiğinde yüksek olmadığı söylenebilir.

Diğer taraftan drenaj sularının pH ve EC değerleri arasında önemli bir fark olmayıp, bu değerlere bakarak boru zarf kombinasyonlarının beklendiği gibi farklı bir etki yaratmadığı anlaşılmıştır.

### 4.2 2016 Yılı Test Sonuçları

Farklı boru zarf kombinasyonlarından oluşan lateral dren boru hatlarında yapılan ölçüm sonuçları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Ölçüm sonuçlarının hatalı olduğu düşünülenler ve su tablasının çok düşük olduğu ölçümler değerlendirmeye alınmamıştır

#### 4.2.1 Filtresiz dren hattı performansı

Filtresiz dren hattında 6 ölçümden hesaplanan en yüksek giriş direnci 1.03 ve en küçük giriş direnci 0.33 olarak hesaplanmıştır. Ortalama giriş direnci 0.49 olup, standart sapması 0.26 dir. Bu durumda filtresiz dren hatlarının giriş dirençleri “yüksek” dren hattı performansı “orta –zayıf” olarak değerlendirilebilir.

Çizelge 4.2. Filtresiz dren borularında belirlenen giriş dirençleri (2016)

Gözlem	Test alanında ortalama su derinliği, $h_{av}$ , cm	$h_2$ , cm	$h_3$ , cm	Giriş direnci $h_3/(h_2+h_3)$
1	8.475	2.025	.95	0.49
1	8.475	2.025	1.95	0.49
2	12.225	-0.225	8.95	1.03
3	24.975	26.525	19. 5	0.42
4	7.975	25.025	13.95	0.36
5	5.225	23.775	12.45	0.34
6	3.975	23.525	11.45	0.33
Average	10.18	14.67	10.02	0.49
SE				0.26

Elde edilen bu sonuçlara göre Harran ovasında benzer toprak koşullarda döşenen filtresiz dren hatlarının ortalama giriş dirençlerinin %95 olasılıkla 0.61 ile 0.37 arasında değişeceği söylenebilir. Görüldüğü üzere güven sınırlarının alt değeri 0.37 olup, **“yüksek”** giriş direnci gösterdiği söylenebilir.

#### 4.2.2 Elyaf (Geotekstil) zarf materyali performansı

Elyaf sarılı borul hattının olduğu test alanında 11 ölçüm yapılmış ve giriş dirençleri 0.30 ile 0.76 arasında değişmiş olup, bu değerlerin ortalaması 0.64, standart sapması 0.11 bulunmuştur. Bu yöntemle belirlenen giriş direncinin 0.6 dan büyük olması nedeniyle, giriş direncinin **“çok yüksek”**, dren hattı performansının **“çok zayıf performans”** sınıfına girdiği söylenebilir. Drenaj sularının silt içeriği %0.07 dolayında olup diğer malzemelerden önemli bir farkı bulunmamıştır.

Çizelge 4.3. Jeotekstil sarılı borularda belirlenen giriş dirençleri (2016)

Gözlem	Ortalama su derinliği $h_{av}$ , cm	$h_2$ , cm	$h_3$ , cm	Giriş direnci $h_3/(h_2+h_3)$	% katı madde	EC $dS m^{-1}$
1	19.8	9.25	5.90	0.30	0.074	1.012
2	8.00	4.00	6.00	0.60	0.067	0.996
3	7.08	7.13	3.95	0.36		
6	17.33	4.38	12.95	0.75		
7	8.08	3.75	6.45	0.63	0.079	0.952
8	13.83	3.38	10.95	0.76		
9	9.58	2.63	6.45	0.71		
10	8.58	3.13	4.95	0.61	0.070	1.031
11	8.58	3.63	6.95	0.66		
Ortalama	9.96	3.96	7.29	0.64		
SE				0.11		

Elde edilen bu sonuçlara göre Harran ovasında benzer toprak koşullarda döşenen jeotekstil zarflı dren hatlarının ortalama giriş dirençlerinin %95 olasılıkla 0.57 ile 0.71 arasında değişeceği söylenebilir. Görüldüğü gibi giriş dirençlerinin %95 olasılıklı alt güven sınırı 0.57 olup çok yüksek giriş direnci sınıfına girmektedir.

#### 4.2.3 Kum-çakıl zarf malzemesi

Su tablası ölçümlerinden elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle, kum-çakıl dren zarf kombinasyonunun performansı değerlendirilmesi Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kum çakıl deneme alanına ilişkin giriş dirençleri (2016)

Gözlem	Test alanında ortalama su deriliği $h_{av}$ , cm	$h_2$ , cm	$h_3$ , cm	Giriş direnci $h_3/(h_2+h_3)$
1	17.675	8.375	4.4	0.34
2	13.675	9.375	6.4	0.41
3	11.675	8.375	4.4	0.34
4	12.175	7.375	5.9	0.44
Ortalama	13.8	8.4	5.2	0.38
SE				0.05

Görüldüğü gibi kum çakıl deneme alanında, ortalama hidrolik yük 13.8 cm olup  $h_2=8.4$  cm ve  $h_3=5.2$  cm olarak hesaplanmıştır. Bunun yanındagiriş dirençlerinin 0.34-0.44 arasında değiştiği belirlenirken, ortalama giriş direnci  $r_e=0.38$  olarak hesaplanmıştır. Giriş dirençlerinin standart sapması  $SE=0.05$ , Standart hatası 0.025 olup %95 olasılıkla güven sınırları güven sınırları 0.43 ile 0.34 arasında değişmektedir.

Elde edilen bu sonuçlara göre Harran ovasında benzer toprak koşullarda döşenen kum çakıl zarflı dren hatlarının ortalama giriş dirençlerinin %95 olasılıkla 0.43 ile 0.34 arasında değişeceği söylenebilir.

Bu yöntemle belirlenen giriş direncinin 0.2 ile 0.6 arasında olması, giriş direncinin “yüksek” dren hattı performansının “orta zayıf” performans sınıfına girdiği söylenebilir.

#### 4.2.4 Hidroluis boru kaplama kombinasyonu performansı

Bu alanda, görüldüğü gibi 24 gözlem ve ölçüm sonunda belirlenen ortalama hidrolik yük 14.9 cm olup, ortalama  $h_2=2.4$  cm ve  $h_3=1.4$  cm olarak belirlenirken (Şekil 4.1), en yüksek giriş direnci  $r_e=0.14$  olarak hesaplanmıştır. Giriş dirençlerinin ortalaması 0.07 ve standart sapması ise,  $SE=0.006$ 'dır. Giriş dirençlerinin %95 olasılıklı güven aralığı 0.08 ile 0.06 olarak hesaplanmıştır.

Bu yöntemle belirlenen giriş direncinin 0.20'den küçük olması ( $r_e=0.07$ ) dren hattı performansının “iyi”, Hidroluis boru zarf sisteminin performansının “çok iyi” olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.5).

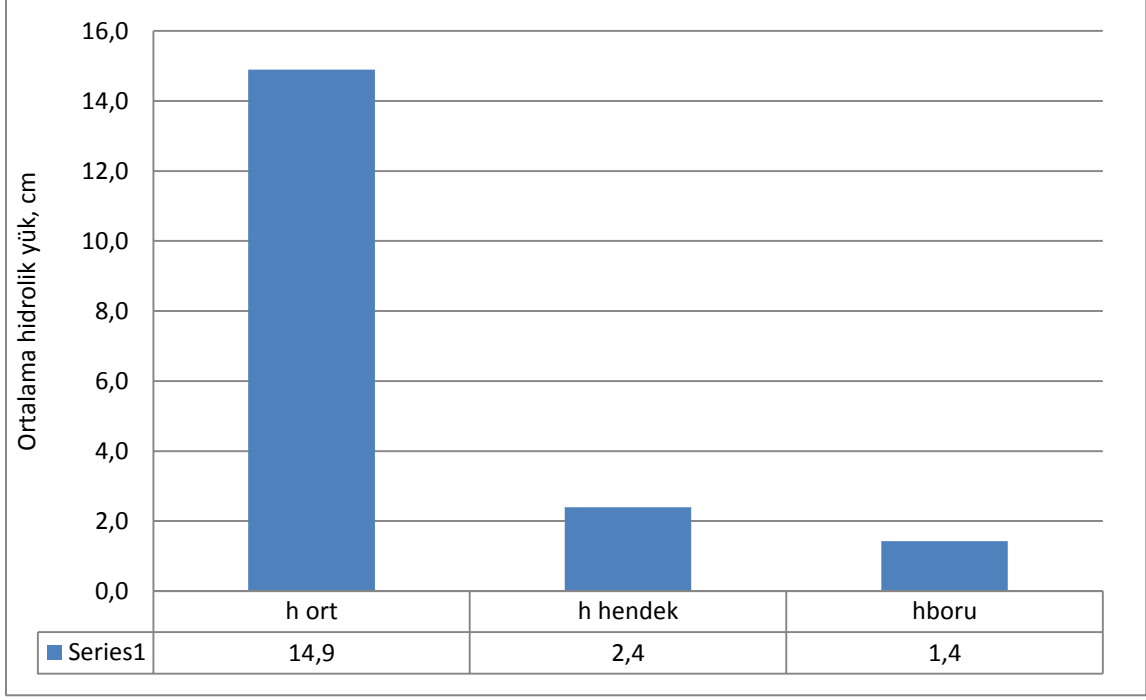
Elde edilen bu sonuçlara göre; Harran ovasında benzer toprak koşullarda döşenen Hidroluis zarflı dren hatlarının ortalama giriş dirençlerinin en yüksek değeri %95 olasılıkla 0.08 den daha daha düşük olacağı söylenebilir.

Çizelge 4.5. Hidroluis boru kaplama kombinasyonunda belirlenen giriş dirençleri (2016)

Gözlem no	Test alanında ortalama su deriliği $h_{av}$ , cm	$h_2$ , cm	$h_3$ , cm	Giriş direnci $h_3/(h_2+h_3)$	% katı madde	EC (dS/m)
1	8.78	6.33	0.74	0.11	0.071	0.784
2	8.25	6.00	0.68	0.10		
3	8.33	6.25	0.51	0.08		
4	7.82	5.83	0.48	0.08		
5	9.30	6.65	1.08	0.14		
6	9.00	5.72	0.68	0.11		
7	16.02	2.73	1.68	0.12	0.068	0.784
8	15.68	12.57	1.61	0.11		
9	15.18	12.57	1.24	0.09		
10	16.02	12.73	1.68	0.12		
11	15.68	12.57	1.61	0.11		
12	15.52	12.73	1.24	0.09	0.066	0.782
13	15.18	12.57	1.24	0.09		
14	15.20	12.75	1.08	0.08		
15	14.85	12.87	0.61	0.05		
16	14.65	12.73	0.58	0.04		
17	14.65	12.73	0.58	0.04		
18	14.32	12.23	0.74	0.06	0.060	0.790
19	14.17	12.28	0.54	0.04		
20	14.20	12.28	0.48	0.04		
21	14.20	12.28	0.48	0.04		
22	14.27	12.15	0.68	0.05		
23	14.25	12.17	0.68	0.05		
24	14.05	11.93	0.71	0.06		
Ortalama	14.89	12.49	0.97	0.07		
SE				0.029		

Dren debisi ortalama  $0.062 \text{ L s}^{-1}$ ,  $5.338 \text{ m}^3 \text{ gün}$  ve  $0.002 \text{ m gün}^{-1}$  olarak ölçülmüştür. Bu değer ( $0.002 \text{ m/gün}$ ) projelirmede kullanılan drenaj katsayısından daha düşüktür. Drenaj suyu silt içeriği çok düşük olup borularda tıkanma riski yaratmayacak düzeydedir. Ancak görüldüğü gibi ortalama hidrolik yük  $15 \text{ cm}$  dolayındadır. Kuşkusuz artan hidrolik yük dren akışlarını da artıracaktır.





Şekil 4.1 Hidroluis deneme alanında oluşan hidrolik yükler

#### 4.2.5 Siltasyon gözlem ve ölçüm sonuçları

Boru içine çıkış ağzından itibaren yaklaşık 60 m kamera gönderilerek borularda silt birikimi ve bitki kökü gözlemleri yapılmıştır. Ayrıca drenaj sularından alınan örneklerde silt analizi yapılmıştır.

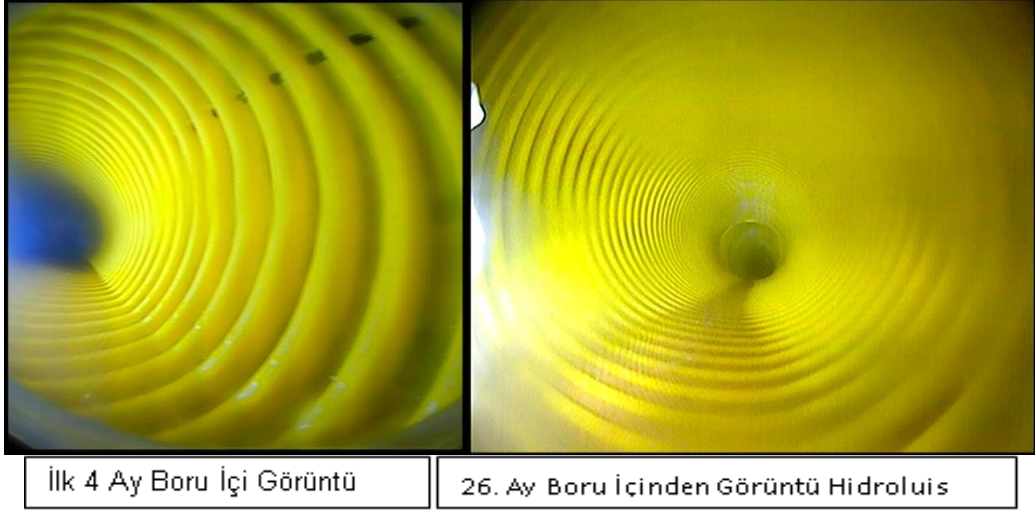
Zarf malzemelerinin hepsinde ve zarfsız döşenen dren hatlarında yapılan gözlemlerin drenaj sularının silt içermediğini veya önemsiz düzeyde silt içerdiğini göstermiştir. Drenaj sularından alınan örnekler de gözlem sonuçlarını onaylayacak şekilde %0.07 mg/l dolayında silt içerdiği belirlenmiştir.

Kamera gözlemlerinde, Hidroluis materyalin sarılı olduğu borularda hiç silt birikimine ve bitki köküne rastlanmamıştır (Şekil 4.2 ). Hidroluis® boru zarf sistemin de boruların döşeme yılında ve 26 ay sonraki durumları görülmektedir. Boru içinde sil birikimi olmayıp neredeyse ilk günkü gibi temiz görünmektedir.

Diğer zarf malzemelerinde ise bakım temizlik gerektirecek silt birikimi ve bitki kökü durumu gözlemlenmiştir Şekil 4.3, 4.4. Ayrıca bitki kökü girişinin elyaf (jeotekstil) zarf malzemesinin sarılı olduğu borularda kum çakıla göre nisbeten fazla olduğu saptanmıştır.

Şekil 4.5'te ise basınçlı su ile temizleme sırasında, borularda oluşan kırılma ve bozulma görülmektedir. Bu konu geniş alanlar kaplayan büyük drenaj sistemlerinde önemli maliyet sorunlarına ve fonksiyon bozukluklarına neden olmaktadır.

Şekil 4.6'da Harran ovasında Garp Arıcan Köyünde döşenen jeotekstil ve zarfsız döşenen boruların 3 yıl sonraki durumları görülmektedir. Jeotekstil sarılı boruların birinde ince silt kalınitılar gözlenirken, diğerinde borunun neredeyse tamamı siltasyonla dolmuştur. Bu durum, temel fonksiyonu filtreleme olan, elyaf zarfların bile, tasarımılanması ve döşenmesi sırasında ne kadar özenli davranılması bakımından önem arz etmektedir.



Şekil 4.2. Hidroluis zarflı boruların iç görünümü



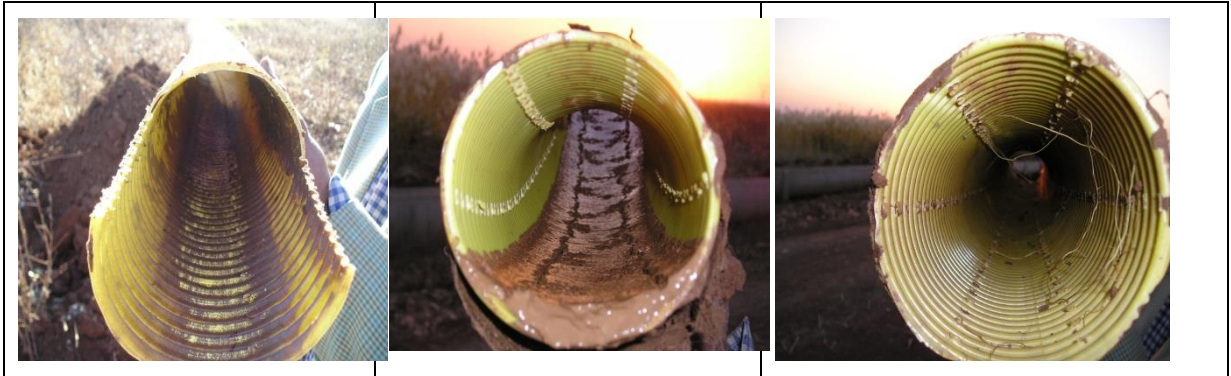
Şekil 4.3 Elyaf Zarf Malzemesi sarılı borularda sediment ve bitki köküne ilişkin görüntüler



Şekil 4.4 Basıncılı su ile temizlemenin boru eklerine verdiği zarar



Şekil 4.5. Jeotekstil sarıl materyalde kök girişi ve siltasyon durumu



Şekil 4.6. Aynı toprak koşullarında Jeotekstil ve çıplak drenlerde siltasyon kök girişi Şanlıurfa Garp Arıcan Köyü, 2003

#### 4.2.6. Araştırma ile ilgili diğer faaliyetler

Yeni sistemden beklentilerin yerine getirildiği gözlemlenmiş ve sonuçlardan hazırlanan bir makale ICID 2015 Montpellier toplantısına sunulmuştur. Malzeme örneklerinin tanıtımının yapıldığı stand bütün dünya ülkelerinin resmi bakanlık temsilcileri ve bilim adamları ve araştırmacıları tarafından ziyaret edilmiş Hidroluis boru zarf kombinasyonu dünyada drenaj sistemi tasarımı ve uygulayan kuruluşların dikkatini çekmiştir.

Deneme sonuçlarından elde edilen araştırma raporu Wageningen Üniversitesi Prof.Dr. Henk Ritzema tarafından IRAN Workshop 2017 konferansı konularına dahil edilmiş ve konferansta sunumu yapılacaktır. Konferans tanıtım broşüründe buluşa ait 3. Topic olarak ekte yer almaktadır. ICID Üye ülkelerinin ilgili kuruluşların temsilcileri Hidroluis boru zarf kombinasyonu ile tarla denemeleri kurmak ve beraber çalışma araştırma projeleri önermişlerdir.

Hidroluis boru zarf-filtre sisteminin birçok araştırmacı tarafından özellikle Wageningen Üniversitesinden Prof.Dr.Henk Ritzema ve Mısır Drenaj Araştırma Enstitüsü yöneticilerinin bu çalışmanın uluslararası alanda tanıtımı ve bu fikrin geçerliliğini desteklemişlerdir. Birçok ülkenin drenaj araştırmacısı olarak bu çalışmaya katılmayı ve beraber proje yürütmeyi önermişlerdir.

İlk yıl verilerine dayanılarak hazırlanan bildiri 15 Nisan 2016 da Antalya'da düzenlenen 13. Kültürteknik Kongresinde sözlü olarak sunulmuştur.

Ağustos 2016 da Pipelife firması tarafından 26 ülke de fabrika ve dağıtım kanalı için üretim lisansı talep edilmiş bunun üzerinde Hollanda da Hoorn Şehrinde Pipelife sunum yapılmış sunum ekte yer almaktadır. Sunumumuzda TAGEM logosu ve sponsorların logosu yer almaktadır.

Deneme araziye uygulanmış olup testlerin yapılması için su tablasının yükselmesi gerekmektedir. Harran ovasında su tablasının yükselmesi sulama mevsiminin başlaması ile yani Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleştiğinden, ölçüm, gözlem ve raporlama için yeterli zaman kalmamasından dolayı ek süre istenmiş bu ek sürede eksik testler tamamlanmıştır.



GAPTEAM 15 haziran 2016 seminer ve arazi gezisi yapılmıştır.



Seminer Öncesi Arazi proje alanında gözlemler katılımcılarla birlikte alanda gözlemler



Yerel haber ajansları ve arazi de gözlemler



Wageningen Universitesi, Harran Universitesi ve GAPTEAM katılımı ile Prof. Dr. Henk Ritzema sunumu.

Topic 3. Adaptation of new design criteria in favor of the environment.

New...



## 13<sup>th</sup> International Drainage Workshop

4 - 7 March 2017, Ahwaz, Iran

**Important Dates**

Submission of abstracts	<del>August-04</del> Extended to September 06, 2016
Notification of abstract acceptance	<del>September-04</del> Extended to October 10, 2016
Submission of full papers	December 1, 2016
Notification of paper acceptance	January 1, 2017

**Theme of the Workshop**  
"Drainage and Environmental Sustainability"

**Focusing on the following topics:**  
**Topic 1:** Measures to improve drainage water quality  
**Topic 2:** Measures to lower volume of drainage water  
**Topic 3:** Adaption of new design criteria in favor of the environment  
**Topic 4:** Application of alternative drainage methods

Khuzestan Water and Power Authority (KWPA), Golestan Ave, Ahwaz, Iran  
Tel: (+98) 61 33361955 Fax: (+98) 6133361291  
P.O.Box: 61335-137 SMS: (+98) 2000061  
Email: 13idw2017@gmail.com & idw@idw13.org  
<http://www.idw13.org>



Şekil Konfransın ana davet broşüründe basılmıştır. Iran Workshop ICID 13. Uluslararası konferansı.

## EKLER

### 1. Drenaj Sistemlerinin İzlenmesi Bakımı

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 uygun bir bütçe olmalıdır. Büyük projelerde gerekirse işletme ve bakım sorumluluğu profesyonel şirketlere verilmelidir.

#### 1.1 Dren Borularında Tıkanma Sorunları

Drenaj sistemleri çok değişik nedenlerle işlevlerini kaybedebilirler. Açık drenaj kanallarının 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 sistemlerin boru güzergahında çöküntüler olduğunda bu kısmın onarılması gerekir. Bu işlem için çöken kısmın açılarak, zeminin düzeltilmesi ve boruların değiştirilmesi gerekir.

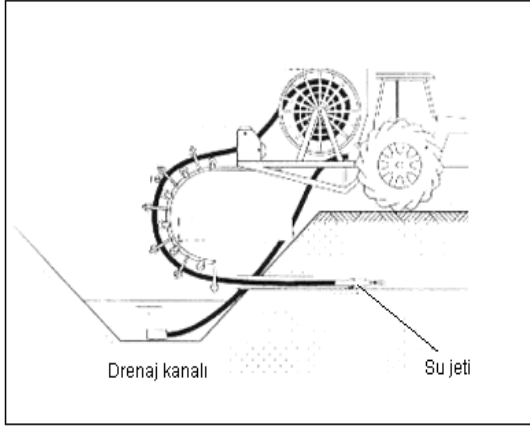
Kapalı ve borulu drenaj sistemlerinde sorunların başında, siltasyon nedeniyle taşıma kapasitelerinin azalması, boruların deforme olması sonunda tıkanma veya kimyasal çökelmeler ve yosunlar ve yabancı otların tıkanması şeklinde ortaya çıkar. Boru hatlarının kumlu topraklarda döşendiği yerlerde tesis edilen silt bacaları denetlenerek temizlenmelidir. Yanlış zarf ve filtre tasarımı siltasyon süresini kısaltabilir. Borulu sistemlerde çıkışlar temiz ve bakımlı olmalıdır. Çökme 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 gelen çökmeler meydana gelecektir. Dren çıkış ağızlarına kuru dönemlerde yaban hayvanları yuva yapabilirler. 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.





Ek Şekil 1. Basıncı su püskürtme aparatının şematik görünümü ve arazide çalışması

## 1.2 Demir Çökmesi

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 çökmesi şeklinde olmakta ve buna demir ochre adı verilmektedir. Topraktaki serbest demirin drenlere ulaşmadan çökmesi sorunu azaltılabilir. Toprağın kimyasal yapısı değiştiğinde toprağın pH'sı ve elektriksel potansiyeli de değişir.

### 1.2.1. 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 oluşurlardır.

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 çökmesini sağlaması açısından değil aynı zamanda toprağın hidrolik koşullarının ve kök gelişmesinin iyileştirilmesini de sağlaması bakımından önemli bir işlemdir.

### 1.2.2. 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<sup>-1</sup> kireç kaybolduğunu göstermiştir.

Daha yüksek pH daha az çözünen demir anlamına gelir ve bu miktar genellikle yer altı sularında vardır. Etkili bir demir çökmesi için pH'nın 8.2 ye kadar yükselmesi gerekir. Ancak Fosfor ve bazı diğer besin elementlerinin çökmesine neden olması ve kireçleme masrafları yöntemin sakıncalı yanları olarak ortaya çıkmaktadır. Almanya'da yapılan bazı testlerden elde edilen veriler yüksek kireçlemenin geçirgenliğin azalabileceğini göstermiştir.

### 1.2.3. Dren hendeğinin kireçlenmesi

Buradaki yaklaşım bütün arazinin ağır bir şekilde kireçlenmesinin çok masraflı olması nedeniyle sadece hendeğin kireçlenmesinin demir çökmesi 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 çökmesi nedeniyle geçirgenliğin azalacağını göstermiştir.

### 1.2.4. 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 tıkanır. Kum çakıl materyal yıllar sonra kazılıp denetlendiğinde çok az demir çökeltisi biriktiğini göstermiştir.

## 2. DREN ZARFLARI

### 2.1 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 tasarlanmıştır. 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 olmadığına 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 örneği, 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, ve Avcı (2000), tarafından Samsun-arşamba 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.

## 2.2. 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 tasarımılanmış 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 tasarımılanmazlar, tasarılanmamalıdırlar.

## 2.3 Zarflar İçin Gereklilik

Öncelikle drenaj alanında bir zarf materyaline gerek olup olmadığına karar verilmelidir. Bunun için drenaj alanındaki toprakların dren döşeme derinliklerinden 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 %5'ten 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).

Aşağıdaki özellikleri taşıyan topraklar filtre amaçlı zarfa gerek duymazlar

1. Ağır killi topraklar (kil içeriği >%60 ve hidrolik iletkenliği >0,1 m/gün)
2. Hümud bölgelerde ki kili topraklar kil içeriği >%25-30 ,
3. Plastisite indeksi >15 olan topraklar
4. Uniformite katsayısı (Cu) >12 olan topraklar
5. Taneciklerin %90 nı maksimum dren borusu deliklerinden büyük olan kaba bünyeli topraklar

### **2.3.1 Dren çevresindeki toprakta oluşan olaylar**

Dren döşenmesinin hemen arkasından toprakta bazı değişimler 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.

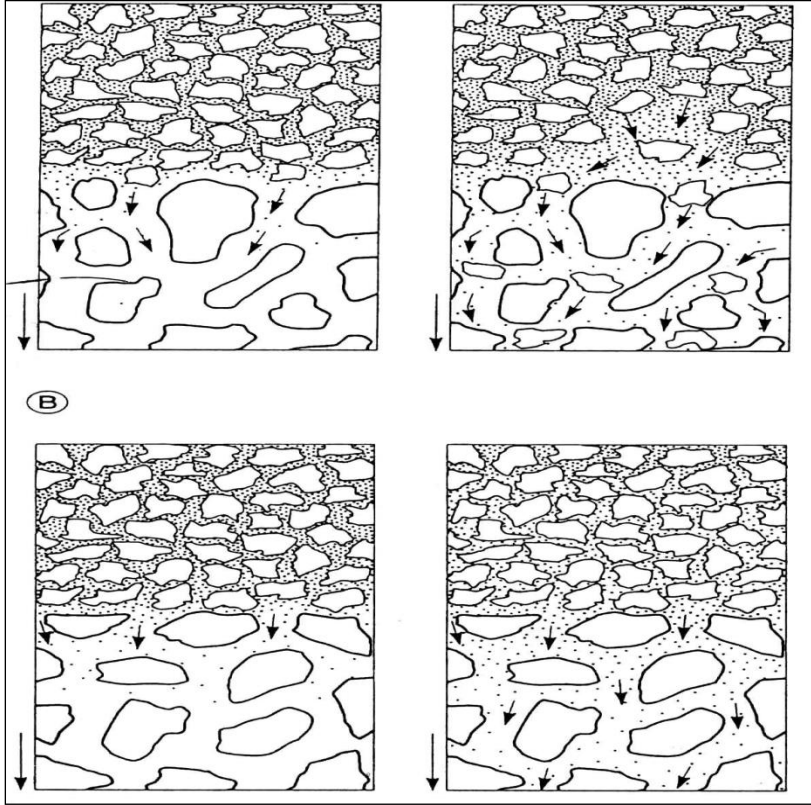
-Borular kritik derinliğin altına döşenirse çevredeki toprak sıkışır.

-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

çıkarmak, Toprağın kararlılığı bozularak toprakların suya dayanımı azalır. Hendeğe dolan su boru içine akarken (Ek Şekil 2) iki durum söz konusu olur.



Ek Şekil 2. Dren borusu çevresinde toprak parçacıklarının hareketi (FAO, 1980)

-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.

### 2.3.2 Toprak stabilitesini etkileyen faktörler

-**Toprak bünyesi**; temel toprağın 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 Ek Şekil 3'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, kurummasına izin verilmeli, böylece toprak zamanla kararlı bir duruma geçer.



Zarf gerekliliğine ilişkin genel kurallar;

- Dren döşeme derinliğinde açılan taban suyu gözlem kuyularının duvarlarında hızlı bir şekilde çökme 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 olmadığı söylenebilir.

Kil içeriği %20-40 arasında olan topraklarda zarf gerekliliği ESP'ye bağlıdır. Sulama suyunu SAR değeri büyük oranda yeraltı suyundan etkilenir. Sulama suyunun SAR<sub>iw</sub> ve EC<sub>iw</sub> değerleri dispersiyon sorunlarına neden olabilecek durumdaysa zarf döşenmesi önerilir.

Ek Çizelge 1. Toprak özelliklerine göre zarf gerekliliği ve uygun zarf çeşidi (Ritzema, 1994)

Temel toprağın kil % si **	Jeolojik yapı	Açıklama	Zarfa ilişkin özellikler***	İşlev	Materyal			
					Kum-çakıl	Hacimli		İnce*
						Organik	Sentetik	
Kil>%25	Allüvial/ deniz kökenli	Olgun	Kalıcı yüksek K	-	<b>ZARF GEREKMEZ</b>			
		Olgunlaşmamış	Kalıcı, düşük K	Hidrolik	+	+	+	-
Kil>%25**		Olgun	Geçici, Yüksek K	Filtre	+	-	+	+
		Olgunlaşmamış	Geçici yüksek K	Filtre+ Hidrolik	+	-	+	-
Kil<%25 Silt<%10	Deniz kökenli	d <sub>50</sub> <120	Geçici, Yüksek K	Filtre	+	-	+	+
Kil<%25 Silt<%10	Rüzgarla taşınan materyal	d <sub>50</sub> >120	Başlangıçta geçici yüksek K	Filtre-geçici	+	+	+	+
Kil<%25 Silt>%10	Akarsu ile taş, buzul kökenli		Başlangıçta geçici Düşük K	Filtre-geçici	+	+	+	-
*+ uygun, - uygun değil				***yüksek hidrolik iletkenlik K>=0.25 m/gün, düşük K<=0.05 m/gün				
** dren düzeyindeki toprağın bünyesi kil< 2µm silt 2-50 µm				****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.

### 2.3.3 Toprağın suya dayanıklılığı

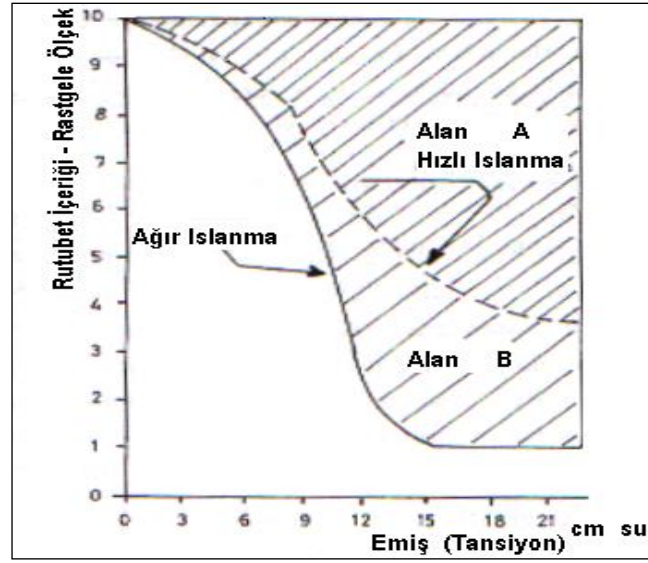
Suya oransal dayanıklılık, havada kurutulmuş toprağın, hızlı ıslanmaya karşılık, ağır bir biçimde ıslanması durumunda oluşan çökme ve dağılma düzeyinin oranlanması ile değerlendirilmektedir. Çökme, suyun, su ile açığa çıkan toprak özellikleri üzerine etkisi ile belirlenmektedir. Yöntem ilk kez Childs ve Youngs tarafından tanımlanmıştır (FAO, 1976).

Bu yöntemde açıklıkları 2 mm olan elekten geçen ancak 1 mm eleğin üzerinde kalan toprak örneğinden 20 cm<sup>3</sup> 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 (Ek Şekil, 5).



Ek Şekil 5. Toprağın suya dayanıklılık sınavı 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.

## 2.4 Zarf Gereksinimi Belirleme Yöntemleri

Dren zarfı gerekliliğini belirlemeye yönelik olarak bir takım yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

### 2.4.1 Kil ve SAR yöntemi

Literatürde tarla denemelerine ilişkin veriler olmamasına karşın yöntem 1995'de rapor edilmiştir.  $SAR>8-12$ , kil  $\%>40$  veya  $\% \text{ kil}<\% 25$ . Bu aralıkları veren hiçbir rapor yoktur. Toprağın EC değeri de önemli rol oynar fakat bu tam olarak belirlenmemiştir.

### 2.4.2 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).

### 2.4.3 PI Yöntemi

Literatürde 1976'dan beri az veri olması rağmen, (PI) plastisite indeksi uygulamaları için sınırlama belirtilmemiştir (Dieleman ve Trafford, 1976).



#### 2.4.4 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).

#### 2.4.5 HFG yöntemi

HFG:  $0.02 < K_s < 4.5$  m gün<sup>-1</sup> 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 kullanılabilceğı belirtilmektedir (Amer ve Tidder, 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 içeriğı ile sülfat-oksit anyonlarıyla ilişkili olmak üzere yüksek bulunmaktadır.

HFG yöntemi, kil etkileriyle birlikte ele alınır ve toprağın doymun 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 olduğı 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, Ek Şekil 5'te değişik yöntemler sıraya koymuştur. Fakat yine de bunun doğrulanması gerekir. Çünkü yöntem daha önce hiç uygulanmamıştır.

Vlotman, (1998) zarf ve filtre belirlemede 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.

#### 2.5. 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.

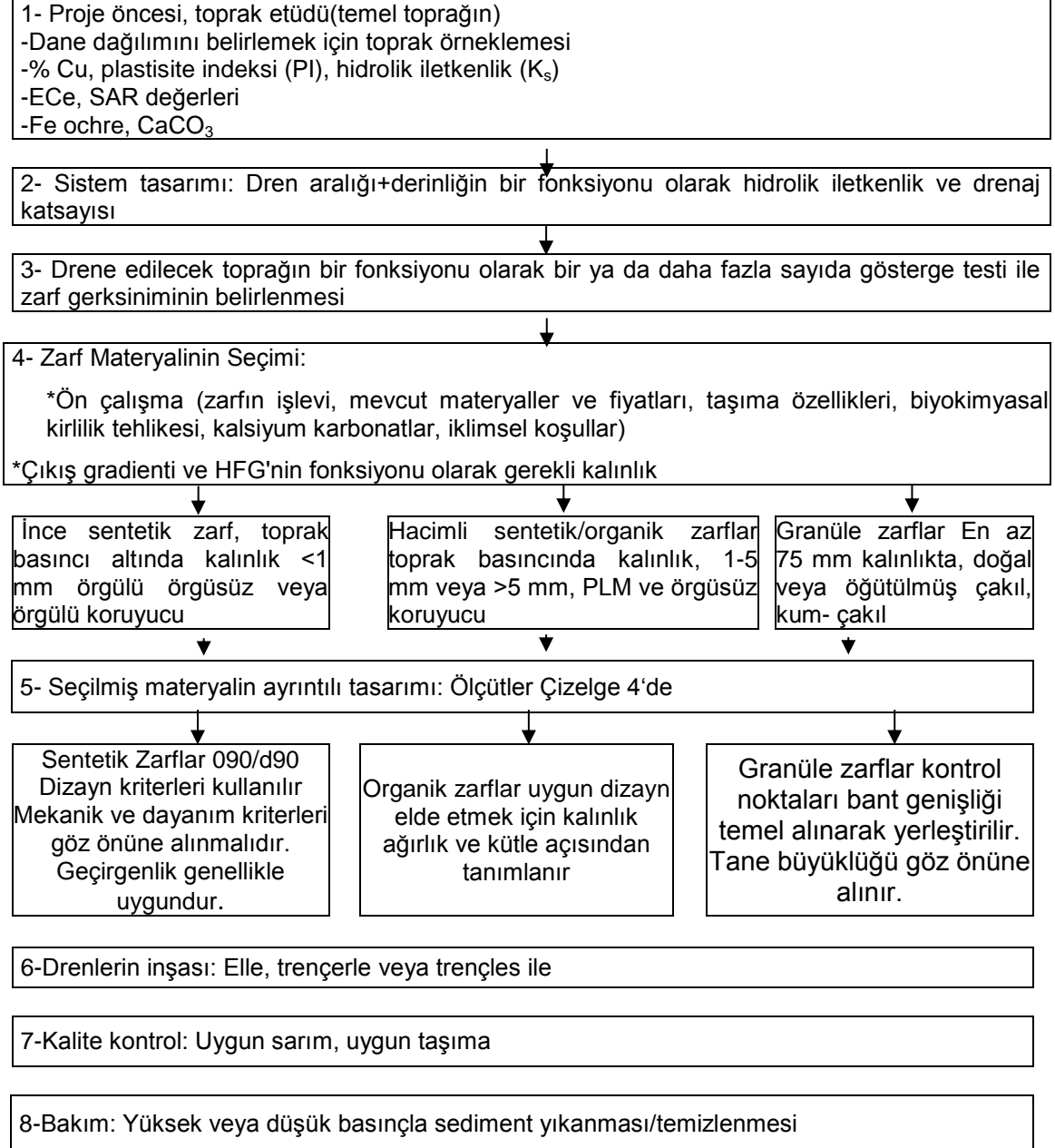
Bir zarf borunun etrafına sarıldığında, duvarlardaki kritik ortak yüzey değişir. Bu durumda çıkış gradientinin hesaplanmasında zarfın delik alanı önemli olur (Vlotman, 1998). Deliklilik oranı kum-çakıl zarfların %30-40, örgülü sentetiklerin % 6-12 ve örgüsüz sentetiklerin %50-85 arasında değişir. Ön 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 içeriğı ve PH'sı,
- İklim koşulları,
- Gerekli kalınlık

Ek Şekil 2.3 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.

Ek Çizelge 2. Dren zarf tasarımı ve inşasında işlem basamakları (Vlotman, 1998).



## 2.6. 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 laboratuvar gözlemleriyle belirlenen ölçütlerin kullanılabilmesi, 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.

### 2.6.1. Granüle zarf materyallerin tasarlanması

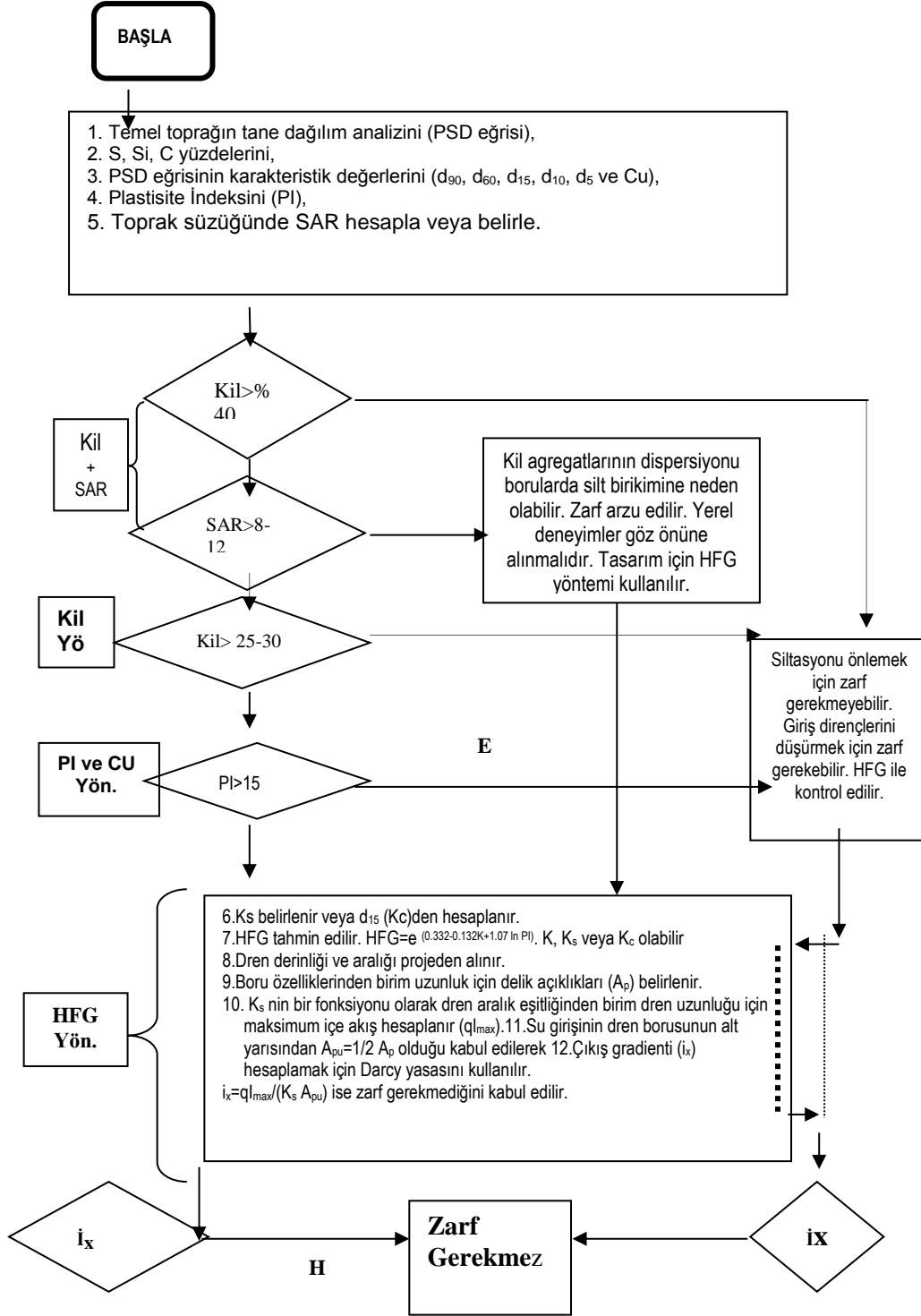
Toprağın bir filtreye gereksinim duyup duymadığına karar verebilmek için tane büyüklüklerine ilişkin dağılım eğrilerinin çizilip incelenmesine gerek vardır. Dieleman ve Trafford (1976)'un bildirdiğine göre bu anlamda ilk filtre ölçütleri Terzaghi (1941) tarafından verilmiştir. Bu alanda çalışan birçok 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.

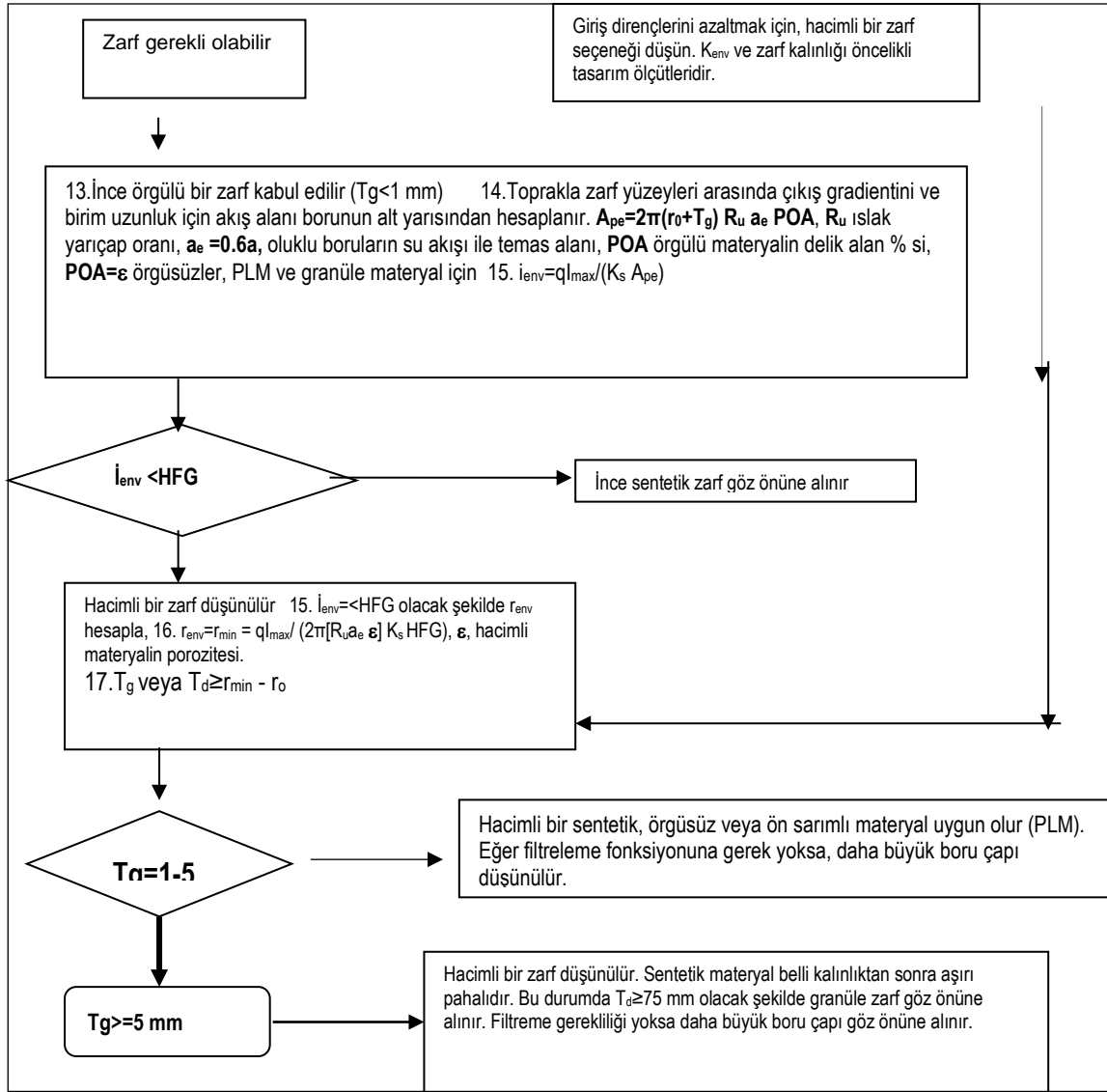
ABD Toprak Muhafaza Servisi filtre ölçütleri üzerinde yapılmış araştırmaları gözden geçirmiş ve aşağıdaki önerileri yayınlamıştır (USDA, 1971).

### 2.6.2 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;





Ek Şekil 6 Zarf gereksinimini belirlemede ve tasarımılamada işlem basamakları (Vlotman, 1998).

$$\frac{F_{50}}{T_{50}} = 12 - 58$$

Temel toprağı malzemesinin % 16'nin küçük olduğu çap değerinin, 12 ve 40 ile çarpımı filtre malzemesinin % 15'inin alt ve üst sınırlarını verir.

$$\frac{F_{15}}{T_{15}} = 12 - 40$$

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;

$$\frac{F_{15}}{T_{85}} \leq 5$$

$F_{100} \leq 38$  mm ve  $F_{90} \leq$  ve  $F_{85} \geq$  boru delik genişliğinin yarısı olmalıdır. FAO (1980)'da ise ince parçacıkların denetimi nedeniyle  $F_5 \geq 42$  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 içerisinde yıkılarak geçmesi önlenmiş olacaktır. İçerisinde organik ve yabancı madde bulunmayan sert ve temiz kum-çakıldan oluşan iyi bir filtre malzemesinin tane dağılımının Ek Çizelge 3'te verilen tane dağılımına yakın bir dağılım göstermesi gerekir. Ek Çizelge 3'te kum çakıl filtre malzemesinin tane çapları ve elekten geçme yüzdeleri verilmiştir (Gemalmaz, 1992).

Ek Çizelge 3 İy 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 Ek Çizelge 4'te zarf malzemesi olarak kullanılan kum-çakıl filtrenin mekanik analiz sonuçları ise Ek Çizelge 5'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 Ek Çizelge 4.'de verilen tane dağılım sınırlarına yakın olduğu görülmektedir.

Ek Çizelge 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. klenik (%)	Elek üstü (%)	Elek üstü Eklenik (%)	Elek üstü (%)	Elek üstü k .(%)	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

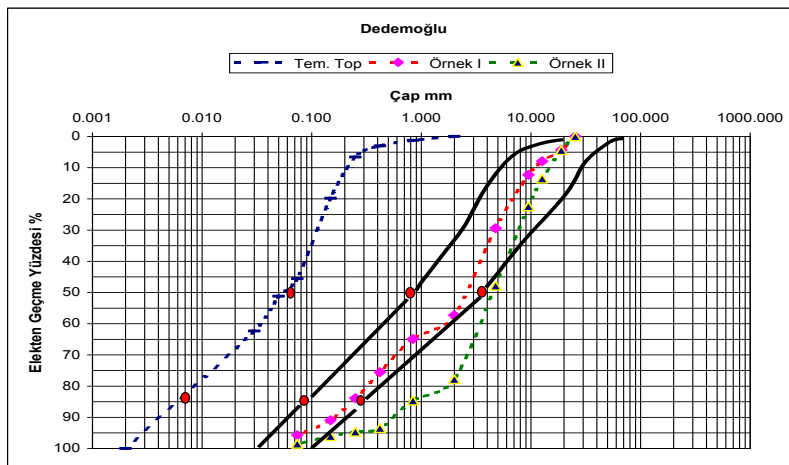
Çizelge 4'te görüldüğü gibi temel toprağının 4.76 mm'den büyük tanecikler içermediği, yani tüm temel toprağı malzemesinin 4 no'lu eleğin altına geçtiği görülmektedir. Bu nedenle temel toprağı mekanik analizi malzemenin tümüne uygulanmıştır.

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 eğrisi, temel toprağına ilişkin tane dağılım eğrisinden elde edilen filtre alt ve üst sınırlarını belirten eğrilerinin alt ve üst sınırları arasında kalmıştır (Ek Şekil 7). Ayrıca Çizelge 4'deki temel toprağının ve Ek Çizelge 5'teki 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 Ek Çizelge 6'da verilmiştir.

Ek Çizelge 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

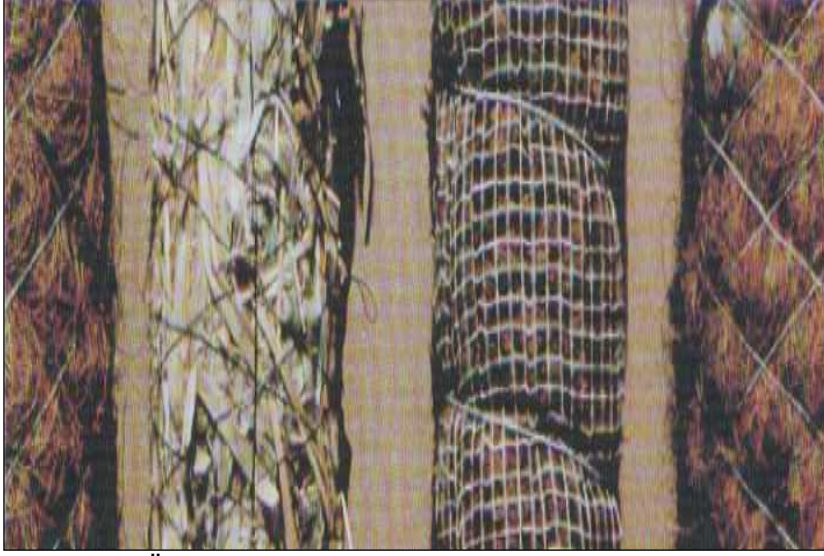
Temel toprağının %15'nin 12 ve 40 ile çarpılarak filtrenin bulunan alt ve üst sınırı temel toprağının %50'sinin 12 ve 58 ile çarpılarak filtrenin bulunan alt ve üst sınırı bulunur.



EK Şekil 7 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 kullanılabilir. Bu durumda dren döşeme

derinliğindeki toprakların organik malzemenin çürümesi için geçen sürede kararlı bir hale gelerek uygun koşulların oluştuğu varsayılır.



EK Şekil 8 Ön sarımlı kaba materyal

Son zamanlarda önsarımlı plastik borular drenajda yaygın olarak kullanılmaktadır. Önsarımda kullanılan materyaller sentetik lifler (jeotekstil) veya cam yünü gibi malzemelerdir. Bu malzemelerin kullanımına ilişkin kimi örnekler Ek Şekil 8'de görülmektedir.

Çizelge 6. Granüle dren zarfları için önerilen ölçütler (ILRI, 1998)

Kontrol noktasının tanımı	Ölçüt	Uyarılar
<p><b>Kaba materyal için bant genişliği</b></p> <p>1. Filtre, tutulma ölçütleri</p> <p>2. Dane dağılım eğrisi rehberi</p> <p>3. Ayrışma ölçütü</p> <p><b>İnce materyal için bant genişliği</b></p> <p>4a. Hidrolik ölçütler</p> <p>4b. Dane dağılım eğrisi rehberi (bant genişliği)</p> <p>5. Hidrolik ölçüt</p> <p>6. Dane dağılım kriterleri (bant genişliği)</p> <p>7. Tutulma kriterleri</p>	<p><math>D_{15c} &lt; 7d_{85f}</math></p> <p><math>D_{60c} = 5 * D_{15c}</math></p> <p><math>D_{100} &lt; 9.5 \text{ mm}</math></p> <p><math>D_{15f} &gt; 4 * d_{15c}</math></p> <p><math>D_{15f} &gt; D_{15c} / 5</math></p> <p><math>D_{60f} &gt; D_{60c} / 5</math></p> <p><math>D_{85} &gt; D_{\text{delik}}</math></p>	<p>Temel: <math>C_u \leq 6</math> ve bant genişlik oranı <math>\leq 5</math></p> <p><math>D_5 &gt; 0.074 \text{ mm}</math></p> <p>Oran <math>\leq 5</math> PSD eğrisinin % 60 altında</p>
<p><b>Ek ölçütler</b></p> <p><b>İnşaat ölçütler</b></p>	<p>Bütün delikler en az 76 mm zarf materyali ile kaplanır. Zarf zararlı maddeler içermemeli</p> <p>Hiçbir parçacık en kısa kenarın iki katında daha büyük</p> <p>21 nolu elekten geçen parçacık olmamalı</p> <p><math>K_{\text{env}} &lt; 300 \text{ mm/gün}</math></p>	

### 2.6.3 Organik ve sentetik zarflar için ölçütler

Organik zarflarla ilgili tasarım ölçütleri Ek Çizelge 7'de, sentetik zarflarla ilgili ölçütler ise Ek Çizelge 2.8'de verilmiştir. Bu malzemelerin kullanılması halinde, bunlar öncelikle genel ölçütlere uymalıdır.



Organik materyaller genellikle hacimli olup 2 kPa basınç altında en az 4 mm kalınlıkta olmalıdır. Ortalama kalınlık üretici etiketindeki belirtilenden %25'den daha fazla sapmamalıdır. Ek Çizelge 7 değişik zarf materyallerinin Avrupa ve Amerika'daki 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.

Ek Çizelge 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)	3	CEN/TC 155 N 1261, 1994		
Sentetik lifler	8	ISO 9863 veya ISU standardın ek B'ye göre belirlenen kalınlık. Üretici tarafından açıklanan kalınlıklardan % 25'ten daha fazla sapma olmamalı.		
Sentetik granüller	4			
Organik lifler	8			
Organik granüller				
Hindistan cevizi lifi		NEN 7047, 1981 (Hollanda standardı)		
Tip 750 g (Kütle>750 g/m <sup>2</sup> )	6	Ancak 10xgerçek kütle/750, den daha büyük değil		
Tip 1000 g (Kütle>1000 g/m <sup>2</sup> )	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			
	Şerit	Önsarımlı		
	Hindistan Cevizi Lifi			
	Şerit	Önsarımlı		
Nominal Kütle g/m <sup>2</sup>	2000	1500	1000	750
Minimum Kütle g/m <sup>2</sup>	1800	1350	900	675

Önerilen ölçütlerin ilk üçü Ek Çizelge 8'de verilmiştir.

Ek Çizelge 8 Sentetik dren zarfları için önerilen tasarım ölçütleri (ILRI, 1998)

Jeotekstil	Akış Tipi	Ölçütler	Uyarı ve Yorumlar
İnce ( $T_g \leq 1$ m)	--	$O_{90}/d_{90} < 2.5$	Tutulma kriterleri
Hacimli ( $T_g \geq 5$ mm)	--	$O_{90}/d_{90} < 5$	Tutulma kriterleri
Ara ( $1 \leq T_g \leq 5$ )	--	İnterpole	Tutulma kriterleri
	--	$O_{90} > 200 \mu\text{m}$	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
		$O_{90}/d_{90} > 1$	Tıkanmaya karşı
	--	$O_{90}/d_{90} > 100-200 \mu\text{m}$	Tıkanmaya karşı
Mekanik güç ve diğer kriterler ayrıca ele alınmalıdır.			

Mekanik özellikler taşıma ve yerleştirmede önem kazanır. Sentetik dren zarfları (jeotekstil) ile sarılı dren boruları bazen doğal havalanma ve kimyasal bozulmalarla karşılaşabilirler. Onun için sentetik materyallerde çizelgede belirtilen özelliklerin bilinmesi gerekir. Bunlar

- Birim alana düşen kütle ve kalınlık
- Bağlantı yerlerinin güçlülüğü
- Statik delik dreni
- 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.

Birim alana düşen kütle ve kalınlık da ürünü tanımak ve doğru ürün olduğunu belirlemede önemli bir faktördür. Önerilen ürünün fiyatının hesaplanmasında kalınlık kritik bir faktördür.

#### **2.6.4 Hidroluis zarf boru sistemi**

Dünyadaki ve ülkemizdeki drenaj uygulamaları, araştırma çalışmaları, şimdiye kadar boruların etrafına sarılan zarf malzemelerinin, beklenen işlevlerin tamamını yerine getiremediğini göstermiştir. Dren filtre ve zarf malzemelerinin filtreleme özelliği artırılınca giriş dirençleri olumsuz etkilenirken, aksi durumda siltasyon sorunu artmaktadır. Borulara kök girişi nedeniyle oluşan tıkanma ise, önlenmesi güç başlı başına bir sorun olmaya devam etmektedir. Yeni geliştirilen Hidroluis boru sistemi ile hem siltasyonun önlenmesi ve hem de boru içine bitki köklerinin girişi önleneyeceği belirtilmektedir.

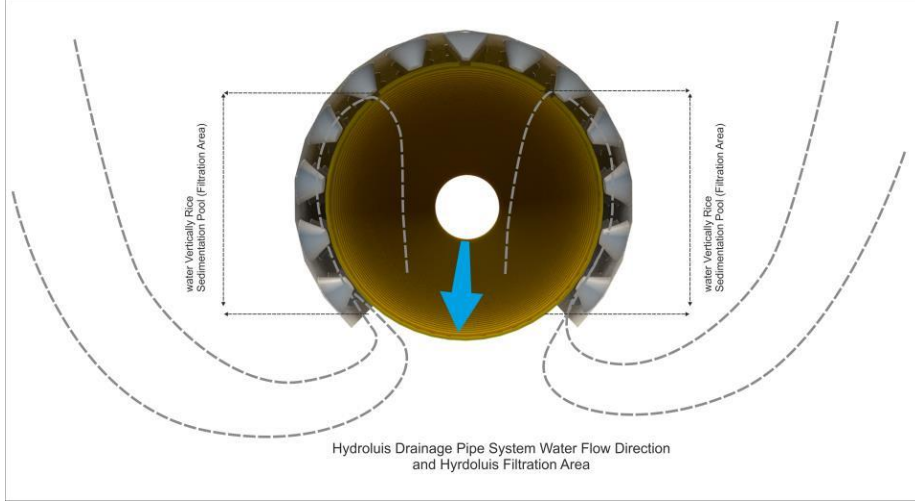
Son yüz yıllık tarihi süreç boyunca dren zarfı üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Doğru ürünün toprak yapılarına göre tercih edilmesi konsundaki bulgular ilgililere sunulmuştur. Ancak, hala sedimentle dolan veya bitki kökleriyle tıkanan borular nedeniyle yenilenen drenaj sistemleri, tarımsal üretimde ek maliyetlere neden olmaya devam etmektedir.

Hidroluis boru zarf sistemi şimdiye kadar üretilen ve kullanılan filtre ve zarf malzemelerine göre toprak tipine daha az bağımlıdır. Sistemin çalışma ilkesi suyun kaldırma kuvvetine dayanmaktadır. Ek Şekil 8'de görüldüğü gibi kıvrımlı plastik borunun altı açık kalacak şekilde yaklaşık  $\frac{3}{4}$  ü, Hidroluis lehvaları ile kapatılmaktadır. Su tablası yükselince boru ile lehvalar arasındaki kanalcıklardan yükselen su, boru üst kısmına açılan deliklerden boru içine akmaktadır. Böylece ince kum ve suyun kaldıramayacağı parçacıklar çökerek boru içine taşınmamaktadır.

Hidroluis drenaj borusu kaplamaları (zarfları) ile ilgili yararlı özellikler aşağıda sıralanmıştır.

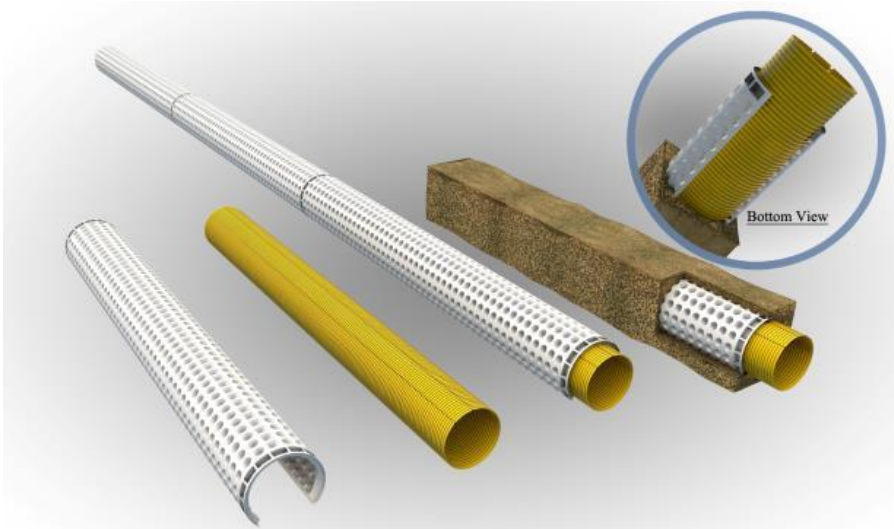
- 1- Bitki kökü girişini önleyen, dünyadaki tek ve ilk drenaj kaplama/zarf malzemesidir. Hidroluis lehvalar, dren borusu ile toprak arasında bariyer oluşturur. Dren borularına bitki kökü giremez. Boru içinde su olsa bile, toprağa nem bırakmaz. Dolayısıyla, bitki köklerinin boruya doğru yönelmez
- 2- Hidroluis Anti-Bakteriyel özelliklere sahiptir. Herhangi bir biofilm oluşumu yapacak organik veya sentetik elyaf içermez. onun için demir oksitli, kalsiyum karbonatlı, ve sülfür içerikli topraklar çökme sorun yaratmaz.
- 3- Su, kanalcıklar içinde yükselerek boruya girer. Hertürlü kum ve toprak parçacıkları yerçekimiyle çökeleceğinden, boru içine giremez. Böylece döşeme sonrası, toprak oturması döneminde alternatif zarf malzemelerine nazaran, minimum düzeyde sediment alır. Ömür boyu temiz kalır ve yıllık bakım ihtiyacı nerdeyse yoktur.

- 4- Islak koşullarda döşenebilir. Geri doldurma sırasında toprağın ıslak olması tıkanma sorunları yaratmaz. Dolayısıyla, bütün yıl boyunca ve su tablası altındaki topraklara döşenebilir. Arazide çalışma ve inşaat süresi artar.
- 5- Çift kat plastikten oluştuğundan drenaj borusuna mekanik destek sağlar ve toprak basıncına karşı boru dayanımını artırır sistemin ömrü uzar.



Ek Şekil 9. Hidroluis drenaj zarf boru sistemini çalışmasının şematik gösterimi

- 6.- homojendir, her türlü toprakta kullanılabilir. Farklı toprak yapıları ve farklı hidrolik koşullar için, tasarımı gerektirmez. Boru çapına uygun genişlikte lehva üretilmesi tasarım için yeterlidir.



Ek Şekil 10. Hidroluis boru zarf kombinasyonunun görünümü

- 7- Piyasada maliyeti en düşük malzemedir.
- 8- Kök girişini önlediği için, sığ dren döşenmesi gereken yerlerde, en ideal çözümdür.
- 9- Her türlü toprakta döşenebilir. Denetim sorunlarını ortadan kaldırır.
- 10- Geri dönüşüm ürünlerinden yeniden üretilebileceğinden çevre dostu bir üründür.

## 2.7 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 laboratuvarında sınamanın basit yoludur. Tarlada karşılaşılan durumlar laboratuvarında simule edilir ve sonuçlar tarlada ne olabileceğini gösterir. Ancak test sonuçları mutlaka doğrudan tarlaya uygulamak gerekmez.

### 2.7.1 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.

### 2.7.2 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.

### 2.7.3 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  $K_s$  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 yansıtmaması 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.

## 2.8. 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.

- Trençlesin dren borusunu döşemek için açtığı açıklığa boru ve en az 75 mm kalınlığındaki zarf malzemesinin yerleştirilmesi sorun yaratmaktadır
- Kum-çakılın trençlesteki akışkanlığı trençlerdekinden 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<sup>-1</sup>) önemlidir. Döşeme işleminin taban suyunun oluşturacağı kaldırma kuvveti ortaya çıkana kadar tamamlanması gerekmektedir. Ancak çok geçirgen topraklarda yine de zaman zaman sorunlar çıkabilir.

## 2.9. 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 yapılabilir. 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.

## 2.10 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.

**a-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.

**b-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.

**c-İnşaat sonrası kalite denetim araştırmaları**; inşaatın 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.

**d-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.

## KAYNAKLAR

- Amer, M.H., Ridder, N.A., 2001. Land Drainage in Egypt. DRI, Cario. 377p.
- Bahçeci, İ., Dinç, 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.
- Cavelaars. J.C. 1965. Hydrological Aspects of The Application of Plastic Drain Pipes and Filter Materials. Royal Dutch Heath Comp. Arnhem. 128p.
- Çakmaklı Murat 2008Harran Ovası Topraklarının Kökeni ve Oluşum Mekanizmaları Jeoloji ve Toprak İlişkileri(Doktora)
- 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.
- Eggelsmann. R.. 1987. Tarsus Research Institute. Determination of Closed Drainage Facilities in Agricultural. Environmental and Infrastructure Engineering. Rural Services Research Reports for Year 1987. Tarsus.
- 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. Design Practice for covered Drains in an Agricultural land Drainage System A World-Wide Survey. International Commission on Irrigation and Drainage/ICID, New Delhi, İndia, 438 p
- Gallichandl, J. and Marcotte, D. 2003. Mapping clay content for subsurface drainage in the Nile Delta, Département de Génie Rural, FSAA, Université Laval, Québec, Que. G1K 7P4, Canada Département de Génie Minéral, École Polytechnique, C.P. 6079, Montréal, Que. H3C 3A7,
- Gemalmaz, E., 1992. Drenaj Mühendisliği, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No:746, Ziraat Fakültesi No: 317, Erzurum
- Karaata H. 1984. Harran Ovası sulama rehberi, Topraksu Yayınları
- Mavi, A., Avcı K., 2000. Kapalı Drenaj Tesislerinde Sentetik Zarf Malzemesinin Etkinliği. KHAE Yıllığı 2001 KHGM KHAE Araştırma Enstitüsü Yıllığı, Samsun
- Rimidis A. and W. Dierickx, 2003. Field research on the performance of various drainage materials in Lithuania Agricultural Water Management 68 (2): 1 151-175
- Ritzema, P.E., 1994. An analysis of actual evapotranspiration. Thesis Agricultural Universty, Wageningen. 111p.
- Robert. S., Chiara. K. and Ronnel. R. B.. 1987. Test of Drain Tubes With Pin Holes and Small Slots. Drainage Design and Management. American Society of Agricultural Engineers.
- Spalding, R., 1970. Selection of materials for subsurface drains. RRL Report. LR 346, Road Research Laboratory, Crowt horne.
- Stuyt, L.C.P.M. and Oosten, A.J., 1986. A non-destructive morphological study of mineral clogging of drains. In: *Proc. of Internat. Seminar on Land Drainage*. J. Saavalainen and P. Vakkilainen (eds.). Helsinki University of Technology, Finland, pp. 90-111.
- Stuyt L.C.P.M. . W. Dierickx. J. Martínez Beltrán. 2005. Materials for subsurface land drainage systems FAO. Irrigation and Drainage Paper 60 Rev. 1. FAO Land and Water Development Division
- Terzaghi, K., Pack, R. B., 1941. Die Bodenmechanik in Der Baupraxis (Soil Mechanics in Building Construction). Springer. Berlin.
- USDA, 1971. National Engineering Handbook, Section 16. Drainage of Agricultural Land. USDA Washington D.C:
- Van Der Beken, C., 1968. Filt排水getecniek, Mededelingen 30/ WB-3. Merelbeke Belgium
- Spalding A., 1970 Selection of Materials for Subsurface Drains. R.R.L Report LR 346 UK. Min. Of Transport

- VAN SOMEREN, C.L., 1972. Drainage Materials Irrigation and Drainage Papers No.9. FAO-Rome.
- Vlotman. W.F.. 1998. Drain Envelopes. Annual Report. International Institute for Land Reclamation and Improvement. J.Vos (ed). Publ. 36. ILRI. P.O. Box 45. Wageningen. The Netherlands. pp. 48-53.
- Widmoser, P. 1968. Der Einfluss Von Zonen Geanderler Durcleasigkeit Im Bereich Von Brunen Filter Rohen. Scheweiz Bauzeitung 86. 135-144.
- Zaslavsky. D.. 1978. Definition of The Drainage Filter Problem International Drainage Workshop. Wageningen. The Netherlands. 48p.