

Katı Atık Emisyonlarının Azaltılmasında Ömrünü Tamamlamış Araç Lastiklerinin Toprakaltı Drenaj Sistemlerinde Zarf Malzemesi Olarak Kullanım Olanaklarının Araştırılması

Gökçe BÜYÜKÇEKİÇ KÜFÜDÜR ^{1*}, Dursun BÜYÜKTAŞ¹, Cihan KARACA¹, Ruhi BAŞTUĞ¹

¹Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Antalya, Türkiye

*Sorumlu Yazar: gokcekufudur@yaani.com.tr

Geliş Tarihi: 28.10.2020 Düzeltme Geliş Tarihi: 03.05.2021 Kabul Tarihi: 12.07.2021

Öz

Drenaj, havadar bir bitki kök bölgesi oluşturmak amacıyla fazla suyun çeşitli mühendislik yöntemleriyle toprak yüzeyinden veya kök bölgesinden uzaklaştırılması olarak tanımlanmaktadır. Toprakaltı drenajda hem borulara olan su akışını kolaylaştırmak hem de boru içerisindeki siltasyonu önlemek amacıyla organik ve inorganik zarf malzemeleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda kauçuk özelliklerine sahip inorganik karakterdeki ömrünü tamamlamış taşıt lastiklerinin (ÖTL) zarf malzemesi olarak kullanılması atıkların değerlendirilmesi açısından çok önemlidir. Çeşitli yöntemlerle farklı boyutlara küçültülen atık lastikler değişik alanlarda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ancak bu malzemenin drenajda zarf malzemesi olarak kullanımına ilişkin herhangi bir bulguya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, 10 ve 20 cm kalınlığında ömrünü tamamlamış atık lastiklerden elde edilen farklı boyutlardaki granül malzemenin laboratuvar koşullarında, farklı su yükleri altında, sabit seviyeli permeametre kullanılarak toprak altı drenajda zarf malzemesi olarak kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmış; 10 cm kalınlığındaki kum-çakıl zarf malzemesi ile karşılaştırma yapılarak sonuçlar test edilmiştir. Çalışma sonucunda, ömrünü tamamlamış lastiklerden elde edilen 20 cm kalınlığındaki granül malzemenin debi ve sediment birikimi yönünden 10 cm kalınlığındaki kum-çakıl zarf malzemesi yerine kullanılabileceği belirlenmiştir. Böylece, hem ülkemizde her yıl hurdaya çıkan yaklaşık 30 milyon lastik drenaj zarf malzemesi olarak değerlendirilerek depolandığı veya yığıldığı yerlerdeki çevre zararlarının önüne geçilmiş olacak hem de drenajda siltasyon birikimini önleyecek şekilde çevre sorunu yaratmadan yok edilmiş olacaktır.

Anahtar kelimeler: Doğa dostu, Geri dönüşüm, ÖTL, Permeametre, Sediment.

Investigation of the Possibilities of Using Scrap Tires as an Envelope Material in Subsurface Drainage Systems in Reducing Solid Waste Emissions

Abstract

Drainage is defined as the removal of excess water from soil surface or root zone by various engineering methods in order to create a well aerated plant root zone. In subsurface drainage, organic and inorganic envelope materials are used to make the flow of water to the drains easy and to prevent siltation in the drains. In this case, the use of end-of-life vehicle tires with rubber properties as envelope material is very important in terms of waste utilization. Scrap tires, which are reduced to different sizes by various methods, are widely used in different areas. However, no information has been found about the use of this material as an envelope material in drainage. In this study, 10 and 20 cm thick granule materials of different sizes obtained from scrap tires were tested in laboratory conditions, under different water heads, using a constant head permeameter and the results are compared with a 10 cm thick sand-gravel envelope material whether they could be used as an envelope material in subsurface drainage. As a result of the study, it has been determined that the 20 cm thick granule material obtained from the scrap tires can be used instead of the sand-gravel envelope material with a thickness of 10 cm in terms of flow rate and sediment accumulation. Thus, approximately 30 million scrap tires that are released every year in our country will be used as envelope

materials to prevent silt accumulation in the drains, avoiding environmental damages in the places where they are stored or piled up, and will be destroyed without causing environmental problems.

Key words: Nature friendly, Recycle, Scrap tire, Permeameter, Sediment.

Giriş

Toprakaltı drenlerini korumak için kullanılan zarf malzemeleri, ekonomik olarak bulunabilen geçirgen gözenekli malzemelerin hemen hepsini içermektedir. Kullanılan maddelerin bileşimine bağlı olarak, bunlar mineral, organik ve sentetik zarflar olmak üzere üç genel kategoriye ayrılır (Vlotman et al., 2000).

Toprakaltı drenaj sistemlerinde zarf malzemesi gerekliliğine ve hangi zarf malzemesinin kullanılacağına ilişkin genellikle iki yaklaşım yaygın olarak kullanılmaktadır: a) Amerika Birleşik Devletleri Toprak Koruma Servisi (United States Soil Conservation Service) tarafından da yaygın olarak kullanılan ve Terzaghi tarafından 1940'lı yıllarda geliştirilen dane çapına ilişkin kriterler (Saatçılar ve Becer 1980, Güngör ve ark., 2011); b) Vlotman et al., (2000) tarafından geliştirilen kriterlerdir. Bu bağlamda, Terzaghi (1943) tarafından önerilen zarf malzemesi kriterleri Çizelge 1'de verilmiştir. Eşitliklerde; D50F, zarf malzemesinin % 50'sinden küçük dane çapını; D50T, toprağın % 50'sinden küçük dane çapını; D15F, zarf malzemesinin % 15'inden küçük dane çapını; D15T, toprağın % 15'inden küçük dane çapını ve D85T, toprağın % 85'inden küçük dane çapını göstermektedir.

Birçok araştırmacı farklı zarf malzemelerinin toprakaltı drenajda kullanımına ilişkin filtreleme işlevi, hidrolik işlev, mekanik işlev ve yataklama işlevinin sağlanabileceğini bildirmişlerdir (Becer, 1984; Shafiq-ur-Rehman, 1995; Anapalı ve Hanay, 1996; Rathod et al., 2006; Bal, 2007; Kamble et al., 2008; Ağar, 2011; Ebrahimian et al., 2011; Pedram et al., 2011; Kumar et al., 2013).

Faydalı ömrünü tamamladığı belirlenerek araçtan sökülen, orijinal veya kaplanmış, bir daha araç üzerinde lastik olarak kullanılamayacak durumda olan veya üretim esnasında ortaya çıkan ıskarta lastiklere "atık lastik", "ömrünü tamamlamış lastik" ya da kısaca "ÖTL" denir. Kırıntı ve toz haline getirilen atık lastikler otomotiv endüstrisinde, spor alanlarının yer kaplamalarında ve inşaat malzemeleri üretiminde kullanılmaktadır. Newman et al., (1997) %25 granül atık lastik içeren yetiştirme ortamında sardunya (*Pelargonium hortorum* Bailey) bitkisinin geleneksel yetiştirme ortamı ile karşılaştırıldığında bitki kalitesinde herhangi bir azalmaya neden olmadığını bildirmişlerdir. Koçak ve Alpaslan (2011) atık

lastiklerin çimento ve beton sektöründe birim ağırlıklarının düşük olmasından dolayı hafif agregalar olarak değerlendirildiğine ve zemin dolgusu olarak kullanımına işaret etmektedir. Tapas ve Baleshwar (2013) atık lastiklerin jeoteknik mühendisliğinde kullanımına ilişkin olarak atık lastiklerin yer altı suları kirliliği açısından zararlı atık malzeme olmadığını belirtmişlerdir. Öte yandan, USEPA (2010) de benzer şekilde, spor sahalarında ve çocuk oyun alanlarında kullanılan atık lastiklerde bulunan metal ve diğer organik kimyasal maddelerin insan sağlığı açısından risk oluşturacak şekilde zararlı olmadığını vurgulamışlardır.

Ömrünü tamamlamış lastiklerin toprakaltı drenaj zarf malzemesi olarak kullanımına ilişkin bir çalışmaya literatür taramalarında rastlanılmamıştır. Öte yandan o kadar çok araç lastiği üretilmektedir ki eskimiş lastiklerin ne olacağı önemli bir sorun haline gelmiştir. Hurda lastiklerin yığıldığı ve atıldığı yerlerde iki büyük sorun oluşmaktadır: a) Bu yığınlarda meydana gelen şiddetli yangınlar ve bu yangınlar sonucu ortaya çıkan hava kirliliği, b) Bu yığınlarda rahatça çoğalma fırsatı bulan böcekler nedeniyle toplum için oldukça tehdit edici hastalıkların yayılma ihtimalidir. Söz konusu olumsuzlukları gidermek için bu çalışmada ömrünü tamamlamış atık lastiklerden elde edilen farklı boyutlardaki granüle malzemenin laboratuvar koşullarında toprak altı drenajda zarf malzemesi olarak kullanım olanakları araştırılmıştır.

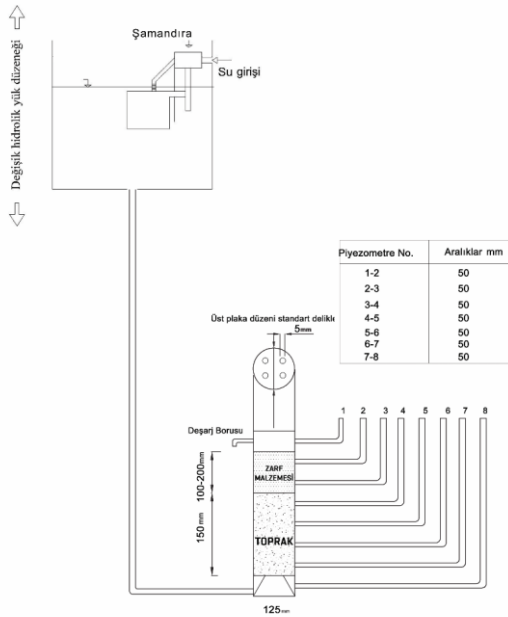
Materyal ve Metot

Deneysel çalışmalar Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü laboratuvarında yürütülmüştür. Çalışmada kullanılan toprağın bünye analizi sonucu Çizelge 1'de verilmiştir. Denemede kullanılan su C₂S₁ kalitesinde olup şehir su şebekesinden sağlanmıştır. Zarf materyali olarak kum-çakıl (10 cm kalınlık) ve ömrünü tamamlamış lastik granül (10 ve 20 cm kalınlık) kullanılmıştır. Standart ASTM elek analizi yöntemi ile toprak ve zarfların granülometre eğrileri Asghar ve Vlotman (1995)'e göre oluşturulmuştur.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan toprağın bünye analizi.

Toprak Bünyesi	Kum %	Silt%	Kil %
Kumlu-Tın	53	32	15

İki katmanlı olan permeametre düzeneğinde üst katmanda zarf malzemesi, alt katmanda toprak bulunacak şekilde tasarlanmıştır. Toprak parçacıklarının permeametre dibine düşmesini engellemek için permeametrenin altına destekleyici bir elek ve bunun üzerine de elek çapında kesilmiş bir sargı bezi yerleştirilmiştir. Yerleştirilen elek; toprağı, kum-çakıl veya zarf malzemesini ve en üstte de dren olarak kullanılan delikli plakayı taşımaktadır. Destekleyici elek altına, tabanı tamamen açılmış yedi numaralı bir küçük saksı ters konularak bir platform oluşturulmuştur. Su çıkışı sağlayan plaka üzerinde çapı 5 mm olan dört adet delik açılmıştır. Permeametre düzeneğinde (Şekil 1) su çıkışı bir deşarj borusu ile sağlanmış ve bunun altına yerleştirilen toplama kabı ile debi ölçülmüştür (Vlotman et al., 1993).



Şekil 1. Denemede kullanılan permeametre düzeneği

Deneme süresince alınan debi, piyezometre yük farkları ve su sıcaklığı değerleri kullanılarak poroz ortamda makroskobik ölçekte geçerli olan Darcy eşitliği kullanılmıştır. Sistemin toplam hidrolik iletkenliği, toprakların ve zarf materyallerinin hidrolik iletkenlikleri, permeametrede toprak ve zarf içerisinde ve **Çizelge 2.** Zarf malzemesi seçiminde yaygın olarak kullanılan dane çapına ilişkin kriterler.

bunların birleşim yerinde oluşan hidrolik eğimler ile iletkenlikler aşağıdaki eşitliklerle (Eşitlik 1, 2) hesaplanmıştır (Vlotman et al., 2000).

$$K_T = \frac{Q}{i \times A} \quad (1)$$

$$i = \frac{\Delta h}{l} \quad (2)$$

Eşitliklerde K_T , test sıcaklığında hidrolik iletkenliği (cm s^{-1}); Q , debiyi ($\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$); A , permeametre kesit alanını (cm^2); i , Hidrolik eğimi (cm cm^{-1}); Δh , su yükseklikleri arasındaki farkı (cm) ve l , düşey mesafeyi (cm) vermektedir.

Denemeler dört su yükü altında yürütülmüştür: a) 65 cm (SY65), b) 90 cm (SY90), c) 115 cm (SY115) ve d) 140 cm (SY140). Su yükü yüksekliği permeametreden su çıkış ağız ile rezervuardaki su seviyesi arasındaki düşey mesafe olarak belirlenmiştir. Denemeler her bir su yükünde 4 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Denemelerde permeametre içerisindeki toprak yüksekliği permeametre çapının iki katından az olacak şekilde 15 cm olarak belirlenmiştir.

Denemede elde edilen verilerin farklılıkları tek yönlü varyans analizi ile elde edilmiştir. ($p < 0.05$). Ortalamalar arasındaki farklılıkların harflendirilmesi çoklu karşılaştırma testlerinden Duncan testi ile yapılmıştır. İstatistik analizlerin yapılması amacıyla SPSS paket programı kullanılmıştır.

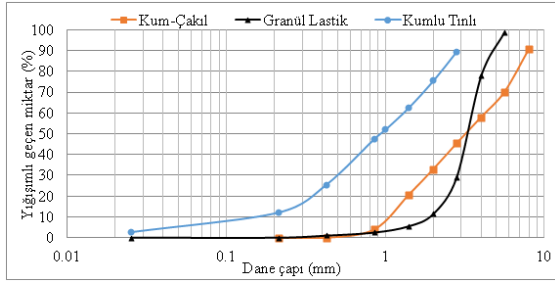
Bulgular ve Tartışma

Deneyel çalışmalarda kullanılan toprak ve zarf malzemelerinin granülometre eğrileri Şekil 2'de verilmektedir. Denemede kullanılan kumlu-tınlı toprağın dane çaplarının 0.025 ile 4 mm arasında değiştiği görülmektedir. Granül lastik zarf malzemesinin dane çapı 0.025 ile 8 mm arasında, kum-çakıl malzemenin ise 0.2 ile 10 mm arasında değiştiği belirlenmiştir.

Zarf malzemelerinin iyi derecelenmiş olması ve zamanla hidrolik iletkenliklerinin değişmemesi istenmektedir (USBR 1993). Zarf granülometri eğrileri Amerikan İslah Bürosu kriterlerine göre değerlendirildiğinde, kum-çakıl için Cu katsayısının 4 ve Cc katsayısının ise 1, granül lastik için ise söz konusu katsayıların sırasıyla 1.75 ve 1.3 olduğu belirlenmiştir. Bu değerlerden de zarf malzemelerinin iyi derecelenmiş olduğu söylenebilir.

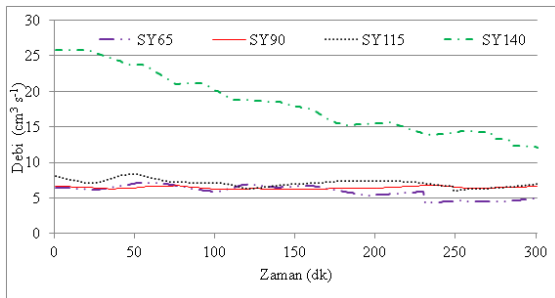
Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3
$\frac{D_{50}F}{D_{50}T} = 12 - 58$	$\frac{D_{15}F}{D_{15}T} = 12 - 40$	$\frac{D_{15}F}{D_{85}T} \leq 5$

Zarf malzemeleri Amerikan Toprak Koruma Servisi tarafından geliştirilen kriterlere göre değerlendirildiğinde Çizelge 2'deki kriter 1 hariç diğer kriterlerin sağlandığı görülmektedir.

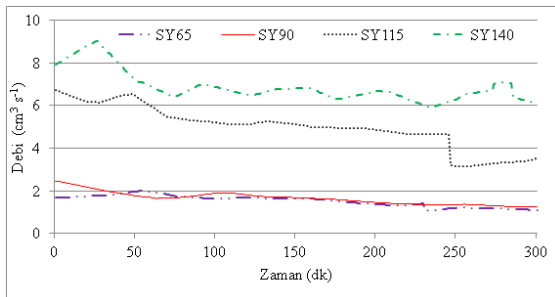


Şekil 2. Toprak ve zarf malzemelerinin granülometre eğrileri

Kumlu-tınlı toprakta dört farklı su yükünde (SY65, SY90, SY115 ve SY140) sırasıyla kum-çakıl, ÖTL20 ve ÖTL10 zarf malzemelerinin kullanılması durumunda debinin zamanla değişimi Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir.

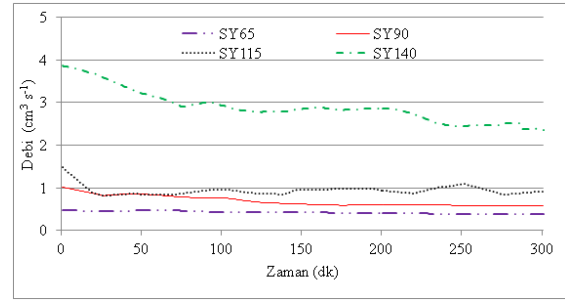


Şekil 3. Kum-çakıl kullanılması durumunda dört farklı su yükünde (SY65, SY90, SY115 ve SY140) debinin zamanla değişimi



Şekil 4. ÖTL20 kullanılması durumunda dört farklı su yükünde (SY65, SY90, SY115 ve SY140) debinin zamanla değişimi

Zarf malzemelerinin su yüküne bağlı olarak hidrolik iletkenliklerinin (K_{z-z}) değişimi Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8'den de anlaşılacağı üzere en



Şekil 5. ÖTL10 kullanılması durumunda dört farklı su yükünde (SY65, SY90, SY115 ve SY140) debinin zamanla değişimi

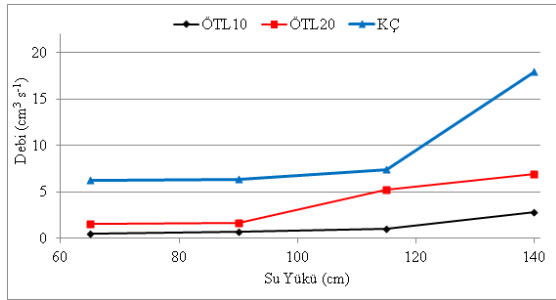
Şekil 3 ve 4 incelendiğinde kum-çakıl, ÖTL20 ile karşılaştırıldığında SY140 hariç debinin azaldığı görülmektedir. Bunun da, zarf malzemesinin dren boruları etrafında nispeten yüksek geçirgenliğe sahip bir poroz ortam oluşturarak dren üzerindeki açıklıklardan dren içerisine su girişini kolaylaştırmasından kaynaklandığı söylenebilir (Vlotman et al., 2000; Becer 1984). Her üç zarf malzemesinde de elde edilen debi değerlerinde (Şekil 3, 4, 5) tekerrürler arası değişimlerin azalması sistemin üçüncü ve dördüncü su yüklerinde birinci su yüküne göre daha kararlı hale geldiğini göstermektedir. Bunun nedeni ise Stuyt ve Dierickx (2006)'in de belirttiği gibi küçük parçacıkların mikro ölçekte erozyonu sonucu makro gözeneklerin artması ile açıklanabilir. Ancak, permeametreler şeffaf olmadığından bu oluşuma görsel olarak tanıklık edilememiştir.

Ortalama debinin farklı su yüklerine bağlı olarak değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'dan da görüleceği üzere üçüncü su yüküne (SY115) kadar debi ile su yükü arasında doğrusal bir ilişki gözlenirken dördüncü su yükünde (SY140) ise söz konusu ilişkinin bozulduğu belirlenmiştir. Bu durum kum-çakıl zarf malzemesinde daha fazla kendini göstermiştir. Poroz ortamda genellikle su hızı yavaş olduğundan laminar akış koşulları geçerlidir (Vlotman et al., 2000). Burada elde edilen doğrusallıktan sapmanın nedeni su yüküne bağlı olarak permeametre içerisinde su hızının artması ve buna bağlı olarak laminar akış koşullarının bozulması ile açıklanabilir.

Uygulanan su yüküne bağlı olarak topraktan zarfa geçişte oluşan hidrolik gradient (i_{t-z}) değişimi Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde artan su yüküne bağlı olarak söz konusu gradient de artmaktadır. En yüksek artış 10 cm kalınlığında granül lastik zarf malzemesinde (ÖTL10) gözlenmiştir.

yüksek hidrolik iletkenlik kum-çakıl zarf malzemesinden (KÇ) elde edilmiştir.

Zarf malzemesinin en önemli işlevlerinden biri sedimentasyonu önlemek diğeri ise drenlere olan su akışını kolaylaştırmaktır. Bu özellikler dren içerisinde biriken sediment miktarı ve dren debisi ile ölçülmektedir. Çizelge 3’de farklı zarf malzemelerinin, tüm su yüklerinden elde edilen ortalama debi miktarlarına olan etkisi istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, %1 önem düzeyinde farklı olduğu bulunmuştur. En fazla debi KÇ zarf malzemesinde görülmüştür. Zarf malzemelerinin sediment miktarlarına olan etkisi Çizelge 4’te verilmiştir. İstatistiksel sonuçlar incelendiğinde farklı zarf malzemelerindeki sediment birikiminin %1 düzeyinde önemli olduğu bulunmuştur. Sediment birikiminin en az ÖTL20 konusunda görüldüğü belirlenmiştir.



Şekil 6. Ortalama debinin farklı su yüklerine bağlı olarak değişimi.

Çizelge 3. Farklı zarf malzemelerinin, tüm su yüklerinden elde edilen ortalama debi miktarlarına olan etkisi.

Zarf Malzemesi	Ortalama Debi, cm³ s⁻¹
Kum Çakıl (KÇ)	9.47 a
Ömrünü Tamamlamış Lastik (ÖTL10)	1.23 c
Ömrünü Tamamlamış Lastik (ÖTL20)	3.82 b
Önemlilik	**

Rakamların yanındaki küçük harfler yatay (satır boyunca) verilen ortalamaların Duncan testine göre %5 önem seviyesinde karşılaştırmasını göstermektedir. **: %1 olasılık seviyesinde önemlidir.

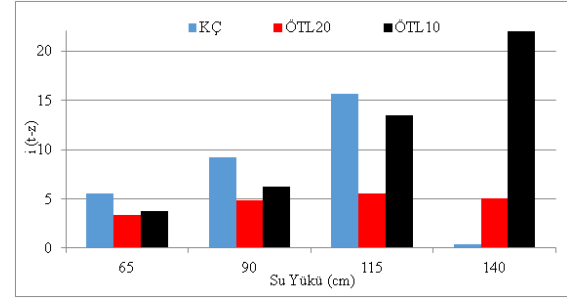
Çizelge 4. Zarf malzemelerinin sediment miktarlarına olan etkisi.

Zarf Malzemesi	Ortalama Sediment Miktarı, g
Kum Çakıl (KÇ)	90.02 a
Ömrünü Tamamlamış Lastik (ÖTL10)	29.51 b
Ömrünü Tamamlamış Lastik (ÖTL20)	10.29 c
Önemlilik	**

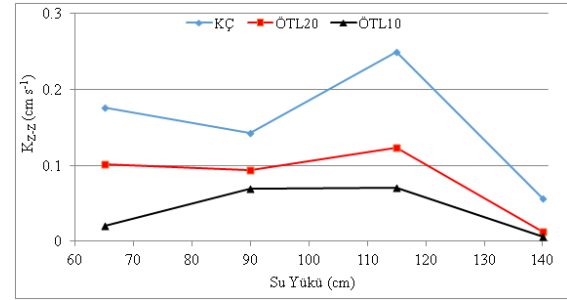
Rakamların yanındaki küçük harfler yatay (satır boyunca) verilen ortalamaların Duncan testine göre %5 önem seviyesinde karşılaştırmasını göstermektedir. **: %1 olasılık seviyesinde önemlidir.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada ömrünü tamamlamış lastiklerden elde edilen granül malzemenin toprakaltı drenajda zarf malzemesi olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Bu amaçla sabit seviyeli permeametre kullanılarak laboratuvar koşullarında deneme yürütülmüştür. Denemede 10 cm kalınlığında kum-çakıl karışımı zarf



Şekil 7. Uygulanan su yüküne bağlı olarak topraktan zarfa geçişte oluşan hidrolik gradient (i_{t-z}) değişimi.



Şekil 8. Zarf malzemelerinin su yüküne bağlı olarak hidrolik iletkenliklerinin (K_{x-z}) değişimi.

malzemesinin yanında 10 ve 20 cm kalınlığında ömrünü tamamlamış lastiklerden edilen granül malzemenin kumlu tınlı toprakta dört farklı su yükü (SY65, SY90, SY115 ve SY140) altında performansları araştırılmıştır. Deneme dört tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlar debi, topraktan zarfa geçişte meydana gelen hidrolik gradient, zarf malzemesinin hidrolik

iletkenliği ve sediment birikimi yönünden karşılaştırılmıştır.

Debinin su yüküne bağlı doğrusal olarak değiştiği belirlenmiştir. Ortalama debinin istatistiksel olarak %1 önem düzeyinde farklı olduğu bulunmuştur. Debi açısından en iyi sonucu KÇ zarf malzemesi göstermiştir. ÖTL20 konusu debisinin ÖTL10 konusuna kıyasla yaklaşık dört kat fazla olduğu belirlenmiştir. Denemede gözlemlenen bu durum ile granül zarf malzemesinin kalınlığının artmasıyla debi artışının sağlanabileceği sonucuna ulaşılmaktadır.

Sediment birikimi açısından sonuçlar incelendiğinde, zarf malzemelerindeki sediment birikiminin %1 düzeyinde önemli olduğu bulunmuştur. Sediment birikiminin en az ÖTL20 konusunda görüldüğü belirlenmiştir. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde, ömrünü tamamlamış lastiklerin drenlerde zarf malzemesi olarak kullanılmasıyla sorunlu topraklardaki dispersiyon sonucu artan siltasyonu azaltabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, 10 cm kalınlığında kum-çakıl zarf malzemesi ile 20 cm kalınlığında granül lastik malzemenin dren

zarflarından beklenen su akışını kolaylaştırma ve sedimentasyonu önleme amaçlarını birlikte yerine getirebildikleri ve toprakaltı drenajda zarf malzemesi olarak ömrünü tamamlamış lastiklerden elde edilen granül malzemenin kum-çakıl malzeme yerine zarf malzemesi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Böylece hem zarf malzemesi olarak sürekli kendini yenileyen bir kaynak sağlanmış olacak hem de atık lastikler bertaraf edilerek çevre kirliliği yaratması önlenecektir.

Teşekkür: Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (FYL-2016-1839) ve 6. Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi'nde sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı: Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti: Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynaklar

- Akcura, M., Kaya, Y., Taner, S., Ayranci, R. 2006. Anapalı Ö, Hanay A (1996). Drenajda kaplama malzemesi olarak hafif agreganın kullanımı. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 27(3): 423-438.
- Asghar MN, Vlotman WF (1995). Evaluation of sieve and permeameter analyses methods for subsurface drain envelope laboratory research in Pakistan. *Agricultural Water Management*, 27:(2) 167-180.
- Becer AT (1984). Tarımsal drenaj sistemlerinde kullanılan boru ve filtre malzemelerinin etkinliği ile ilgili model çalışmaları, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Merkez TOPRAKSU Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları No: 103, Rapor No: 43, Ankara, p. 41.
- Ebrahimian H, Parsinejad M, Liaghat A, Akram M (2011). Field research on the performance of a rice husk envelope in a subsurface drainage system (Case study Behshahr, Iran). *Irrigation and Drainage*, 60: 216-228.
- Güngör Y, Erözel, AZ Öztürk A (2011). Drenaj Sistemlerinin Tasarımı Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 1590, Ders Kitabı: 542, Ankara, 251s.
- Kamble BM, Rathod SD, Phalke DH (2008). Effect of sub-surface drainage (ssd) system with different filters (envelopes) on improvement of chemical properties of salt affected and water logged soil. *International Journal of Agricultural Engineering*, 1(2): 123-125.
- Koçak Y, Alpaslan (2011). Atık lastiklerin çimento ve beton sektöründe kullanım potansiyelleri, 6. International Advanced Technologie Symposium (IATS11): 118-122, 16-18 May 2011, Elazığ.
- Kumar R, Bhaker, SR, Singh, PK (2013). Evaluation of hydraulic characteristic sand management strategies of subsurface drainage system in Indira Gandhi canal comment. *Agricultural Engineering Int; CIGR Journal*, 15(2): 1-9.
- Newman SE, Panter KL, Roll MT (1997). Growth and nutrition of geraniums grown in media developed from waste tire components. *Hort Science*, 32(4): 674-676.
- Pedram S, Hassonoghli A, Liaghat A (2011). Assessment of clogging potential of synthetic envelopes used in drainage of saline soil. *ICID 21st International*

Congress on Irrigation and Drainage: 231-245, 15-23 October 2011, Tehran, Iran.

- Rathod SD, Kamble BM, Chougule BA, Rathod PK (2006). Performance of different filter (envelope) materials in subsurface drainage system. *Asian J. Of Biological Society*, 1(2): 104-105.
- Saatçılar M, Becer AT (1980). Drenaj boru ve filtre malzemeleri ile ilgili araştırmalar. *Topraksu Araştırma Ana Projesi, Proje No: 553, Ankara*, p. 25.
- Shafiq-Ur, R (1995). Laboratory testing of envelope materials for pipe drains. Department of Agricultural and Biosystems Engineering Macdonald Campus, Mcgill University Sten-Anne-de-Bellevue, Canada.
- Stuyt LCPM, Dierickx W (2006). Design and performance of materials for subsurface drainage system in agriculture. *Agriculture Water Management*, (86): 63-74.
- Tapas D, Baleshwar S (2013). Benefits and impacts of scrap tyre use in geotechnical engineering. *Journal of Environmental Research and Development*, 7: 1262-1271.
- Terzaghi K. (1943). *Theoretical soil mechanics*, Wiley, New York, USA, p. 510.
- Terzaghi K, Peck RB, Mersi G (1940). *Soil mechanics in engineering practice*. Wiley Interscience Publication, Alcester, United Kingdom, p. 588.
- USBR (1993). *Drainage manual*. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation. Denver Colorado, USA, 212-218.
- Vlotman WS, Rehman S, Haider I (1993). Granular envelope research in Pakistan. *Irrigation and Drainage Systems*, 6: 325-343.
- Vlotman WS, Willardson LS, Dierickx, W (2000). *Envelope design for subsurface drains*. ILRI, Wageningen, Netherlands, p. 358.