

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETON MALZEME-GEOTEKSTİL SİSTEMİNİN GEÇİRİMLİLİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF FILTRATION PERFORMANCE OF RECYCLED CONCRETE MATERIAL-GEOTEXTILE SYSTEM

Mehmet Halil ÇALIM¹, Ayşegül BAYIN SARIAHMETOĞLU², Aslı YALÇIN DAYIOĞLU³,
Mustafa HATİOPĞLU⁴, Sabriye Banu İKİZLER⁵

ÖZET

Bu çalışmada, geri dönüştürülmüş beton agregasının (RCA) yol altı drenaj sistemlerinde filtrasyon malzemesi olarak kullanılabilirlik performansı incelenmiştir. Geri dönüştürülmüş beton agregası ve geotekstilden oluşan drenaj sisteminin zamana bağlı geçirimsizlik davranışının incelenmesi için geliştirilerek yeniden imalatı yapılan *ASTM D 5101 (2023)* deney sisteminde uzun süreli filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirilmiş *ASTM D 5101 (2023)* deneyi ile geri dönüştürülmüş beton-geotekstil sisteminde su akışına ve ince dane malzeme göçüne bağlı olarak yaşanması beklenen tıkanmalar incelenmiştir. Çalışmamızda, geliştirilmiş *ASTM D 5101 (2023)* standartlarında yapılan uzun süreli filtrasyon deneyi ile yol altı drenaj sistemlerinde kullanılması planlanan doğal filtre malzemeleri yerine geri dönüştürülmüş beton malzemenin kullanılabileceğini göstermek amaçlanmaktadır. Geri dönüştürülmüş beton malzemenin tekrar kullanılması ile atık malzemelerin depolama sorununa çözüm bulunması, çevre kirliliğinin önlenmesi ve geoteknik mühendisliği açısından sürdürülebilir malzeme yönetimine (*SMM*) katkıda bulunulması planlanmaktadır. Farklı hidrolik eğimler altında gerçekleştirilen deneylerde geri dönüştürülmüş beton agregası-geotekstil sisteminin tıkanma performansını incelemek amacıyla hidrolik eğim oranı (*GR*) ve geçirimsizlik oranı (*KR*) değerleri belirlenmiştir. Yapılan deneylerde, filtrasyon performansı göz önünde bulundurularak örgüsüz geotekstiller tercih edilmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen veriler ışığında, geri dönüştürülmüş beton malzemenin performansının doğal malzeme ile kabul edilebilir seviyede karşılaştırılabilir olduğu görülmüştür. Geri dönüştürülmüş malzemenin yeniden kullanılması ile atık malzeme depolama sorununa, milli servetin ve çevrenin korunmasına katkıda bulunulmuş olacaktır.

¹ Araştırma Görevlisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, mhcalim@ktu.edu.tr (Sorumlu yazar)

² Öğretim Görevlisi Doktor, İstanbul Teknik Üniversitesi, aysegbayin@itu.edu.tr

³ Doçent Doktor, İstanbul Teknik Üniversitesi yalcinas@itu.edu.tr

⁴ Öğretim Üyesi Doktor, İstanbul Teknik Üniversitesi, hatipoglu1@itu.edu.tr

⁵ Profesör Doktor, Karadeniz Teknik Üniversitesi, banuh@ktu.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Geri dönüştürülmüş beton agregası, geosentetikler, filtrasyon, geliştirilmiş ASTM D 5101 filtrasyon deneyi, sürdürülebilirlik

ABSTRACT

In this study, the performance of recycled concrete aggregate (RCA) as a filtration material in under road drainage systems was investigated. In order to investigate the time-dependent filtration behavior of the drainage system consisting of recycled concrete aggregate and geotextile, long-term filtration experiments were carried out in an improved and remanufactured *ASTM D 5101* (2023) test system. With the improved *ASTM D 5101* (2023) test, the expected clogging in the recycled concrete-geotextile system due to water flow and fine grain material migration were investigated. In our study, it is aimed to show that recycled concrete material can be used instead of natural filter materials planned to be used in under road drainage systems with the long-term filtration test performed in accordance with the improved *ASTM D 5101* (2023) standards. By reusing the recycled concrete material, it is planned to find a solution to the storage problem of waste materials, prevent environmental pollution and contribute to sustainable material management (*SMM*) in terms of geotechnical engineering. Gradient ratio (*GR*) and permeability ratio (*KR*) values were determined to investigate the clogging performance of the recycled concrete aggregate-geotextile system in the experiments performed under different hydraulic gradients. Gradient ratio (*GR*) and permeability ratio (*KR*) values were determined. In the experiments, non-woven geotextiles were preferred considering the filtration performance. In the light of the data obtained from the experiments, it was seen that the performance of the recycled concrete material was comparable to the natural material at an acceptable level. By reusing the recycled material, it will contribute to the problem of waste material storage, national wealth and environmental protection.

Keywords: Recycled concrete aggregate, geosynthetics, filtration, modified ASTM D 5101 filtration test, sustainability

1. GİRİŞ

Gelişen ve globalleşen dünyamızda, toplumların değişen ve büyüyen ihtiyaçları, doğada sınırlı miktarda bulunan kaynaklarımızın geri yerine konulamayacak hızda tüketilmesine sebep olmaktadır. Global ölçekte yaşanan büyük çapta tüketime bağlı inşaat/yıkım işlerinden açığa çıkan atıklar her yıl milyonlarca tonu bulabilen miktarlara ulaşmaktadır (Environmental Protection Agency., 2020). Açığa çıkan bu inşaat/yıkım atıkları birçok geri dönüştürülebilir veya geri kazanılabilir materyal içermektedir. Ülkemizde ve sürdürülebilirliğe önem veren diğer ülkelerde, inşaat/yıkım atıklarının tekrardan hammadde olarak kullanılması ekonomiye pozitif katkısı ve doğal kaynakların korunması açısından bir seçenek olmaktan çıkıp zorunluluk haline gelmiştir. Bu açıdan geri dönüştürülmüş veya geri kazanılmış malzemenin yeniden kullanılması sürdürülebilirlik ilkesinin uygulanabilmesi için önem arz etmektedir (Kabirifar vd., 2020)

İnşaat/yıkım atık malzemelerinin inşaat mühendisliği uygulamalarında yeniden kullanılması, çevrenin korunması ve hammadde sürdürülebilirliği hususuna dikkat çekilmesi ve ekonomik getirisi sebebiyle bilimsel çalışmalara konu olmuştur (Arulrajah vd., 2012;



Bestgen vd., 2016; Ok vd., 2020). İnşaat mühendisliği uygulamalarında inşaat/yıkım atıklarının geri kazanımı, sürdürülebilirlik prensipleri doğrultusunda doğal kaynakların verimli kullanımı ve çevresel etkisinin azaltılması hususunda büyük önem arz etmektedir (Sarıahmetoğlu vd., 2021). Sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında, inşaat/yıkım atıklarının çevresel negatif etkisini ve insan sağlığına olan risklerini minimize etmek amacıyla, geri kazanımın öncelik olarak kabul edildiği 'Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü' gibi kapsamlı atık yönetim planları geliştirilmekte ve birçok ülkede yasal düzenlemelerle sürdürülebilirlik ve çevrenin korunması adına uygulama zorunluluğu getirilmektedir (U.S. Environmental Protection Agency., 2020).

Drenaj sistemleri, karayollarının hizmet ömrü boyunca güvenli ve yüksek performansta hizmet verebilmesi için kritik öneme sahip yapı elemanlarından. Yol altı drenaj sistemlerinin performansı ve kullanım ömrü, sistemde kullanılan dolgu malzemesinin dane çapı dağılımına ve geçirimsizlik katsayısına (k) doğrudan bağlıdır. Sistemin geçirimsizlik katsayısı zamana ve akıma dayalı ince dane göçüne bağlı olarak negatif olarak etkilenebilir. Bu durum, drenaj sisteminin performansını negatif etkileyerek, sistemin performansını olumsuz etkileyebilir. Sonuç olarak, drenaj yapısının filtrasyon ve geçirimsizlik performansı ve hizmet ömrü negatif etkilenebilir. Drenaj sisteminin uzun süreli filtrasyon performansı yapının servis ömrü süresince işlevini tam manasıyla yerine getirebilmesi için kritik bir öneme sahiptir. Hatalı veya eksik olarak inşa edilen drenaj sistemleri, karayollarında kritik hasarlara sebebiyet vererek ulaşım ciddi zararlar verebilmektedir. Bu sebeple, drenaj sistemi tasarımı yapılırken yapının işlevselliği ve maliyeti göz önünde bulundurulmalıdır. Drenaj sistemlerindeki dolgularda kullanılan agregalar genelde doğal kaynaklardan tercih edilmektedir. Doğal kaynakların tercih edilmesi hem doğal kaynaklarımızın tükenmesine hem de çevresel anlamda tahribata neden olmaktadır. İnşaat/yıkım atıklarının tekrardan kullanılması, doğal kaynaklı agrega kullanımına önemli bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. İnşaat/yıkım atıklarının geri dönüştürülerek drenaj sistemlerinde tekrardan kullanılması atık depolama sorununa ciddi bir ölçüde çözüm olmakla birlikte doğal kaynakların korunması konusunda da katkı sağlamaktadır. Böylelikle inşaat/yıkım atıklarının yeniden kullanılmasıyla çevresel hasarın azaltılmasına ve sürdürülebilirliğe pozitif katkıda bulunmaktadır (Mehrijardi vd., 2020; Behera vd., 2014).

Yol altı drenaj sistemlerinde kullanılan geosentetiklerden olan örgüsüz geotekstiller, birçok araştırmacı tarafından çalışmalarına konu edilmiştir (Dolez ve Blond, 2017; Miskowaska vd., 2017; Kermani vd., 2018). Örgüsüz geotekstillerin geri kazanılmış agregalarla birlikte kullanılması durumundaki davranış ve performansı, uzun süreli filtrasyon deneyleri ile ASTM D 5101 (2023) standardına uygun olarak incelenmektedir. Söz konusu standartta tanımlanmış olan hidrolik eğim oranı (GR) ve geçirimsizlik oranı (KR) sistemin tıkanma performansının en önemli göstergeleridir. Zaman içerisinde akışa bağlı olarak ince daneli malzeme, su akışının yönünde geotekstil yüzeyine doğru göç ederek zamanla geotekstil-agrega arayüzünde malzeme birikimine sebebiyet vermektedir. Bu birikimin tıkanmaya sebep olabileceği görülmüştür (Faure vd., 2004).

Bu çalışmada sürdürülebilirliği ve doğal kaynakların korunmasını desteklemek amacıyla, geri dönüştürülmüş beton agrega (RCA) malzemesinin drenaj sistemlerinde kullanılabilirliği deneysel yöntemlerle araştırılmıştır. Yapılan deneylerde yol altı drenaj sistemlerinde



karşılaşılması daha muhtemel, gerçeğe daha yakın olan $i = 1$ ve $i = 2,5$ hidrolik eğimleri tercih edilmiştir. Geliştirilmiş *ASTM D 5101* uzun süreli filtrasyon deney sisteminde yapılan deneylerde, sistemin potansiyel tıkanma mekanizması ve buna bağlı parametreleri incelenmiştir. Geri dönüştürülmüş beton agregası malzemesinin, filtrasyon parametrelerinin $i = 1$ ve $i = 2,5$ hidrolik eğimleri için kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı görülmüştür.

2. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER

Geliştirilmiş *ASTM D 5101* (2023) deney sisteminde uzun süreli filtrasyon deneylerinde geri dönüştürülmüş beton agregası ve örgüsüz geotekstil kullanılmıştır.

2.1. Geri Dönüştürülmüş Malzeme

Çalışmamızda, geliştirilmiş *ASTM D 5101* (2023) deney sisteminde yapılan uzun süreli filtrasyon deneyinde kullanılan geri dönüştürülmüş beton agregası numunelerinin, piknometre, standart ve modifiye proktor ve Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneylerinden elde edilen verileri Tablo 1’de sunulmuştur (Sarıahmetoğlu, 2021). Geri dönüştürülmüş beton agregası numunesi Şekil 1’de sunulmuştur. Söz konusu numuneler Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)’ne göre sınıflandırılmış, iyi derecelenmiş kum – siltli kum (SW-SM) sınıfına mensup olduğu görülmüştür. Kullanılan geri dönüştürülmüş beton agregasının fiziksel özellikleri ve zemin sınıflandırılması Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 1. Geri dönüştürülmüş beton agregasının endeks özellikleri

Malzeme	Gs	Standart		Modifiye		CBR (%)
		W _{opt} (%)	γ _{kmax} (%)	W _{opt} (%)	γ _{kmax} (%)	
RCA	2.61	16.5	18.32	12	19.5	47

G_s: Dane özgül yoğunluğu, W_{opt}: optimum su muhtevası, γ_{kmax}: Maksimum kuru birim hacim ağırlık, CBR: Kaliforniya taşıma oranı

Tablo 2. Geri dönüştürülmüş beton agregasının fiziksel özellikleri

Malzeme	İDO (%)	Kaba Dane(%)			Zemin Sınıflandırması			
		Kum (%)	Çakıl (%)	C _c	C _u	PI	USCS	AASHTO
RCA	12	74	14	1.8	45.5	NP	SW-SM	A-1-b

İDO: İnce dane oranı, C_c: Derecelenme katsayısı, C_u: Uniformluk katsayısı, PI: Plastisite indisi, USCS: Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi, AASHTO: Amerikan karayolları zemin sınıflandırma sistemi



Şekil 1. Geri dönüştürülmüş beton agregası



2.2. Örgüsüz Geotekstil

Agregayla geotekstilin beraber kullanılması, sıklıkla tercih edilen etkin bir drenaj çözümüdür. Bu sistemde geotekstillerin filtrasyon performansı sistemin total filtrasyon performansında asıl belirleyici etkindir. Bu sebeple drenaj sistemi için uygun geotekstilin seçimi oldukça mühim bir konudur. Geotekstilin amaca uygun seçimi, kabul edilebilir ve sürdürülebilir filtrasyon performansı elde edilmesinde büyük rol oynamaktadır (Aydilek vd., 2002). Yapılan çalışmada geotekstil görünür göz açıklığı 0.1 mm olarak seçilmiştir. Geotekstilin diğer fiziksel, mekanik ve hidrolik özellikleri Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Geotekstilin fiziksel, mekanik ve hidrolik özellikleri

Özellikler	Deney Standardı	B/E	
Fiziksel Özellikler	Birim ağırlık (g/m ²)	ASTM D 5261 (2018)	150
	Kalınlık (mm)	ASTM D 5199 (2019)	1.6
	Çekme Dayanımı (kN/m)	ASTM D 4632 (2023)	9.5
Mekanik Özellikler	Kopma Uzaması (%)	ASTM D 4632 (2023)	Min.50
	Statik Delinme (N)	ASTM D 6241 (2022)	1800
Hidrolik Özellikler	Su Geçirgenliği (l/s m ²)	ASTM D 4491 (2022)	95
	Görünür Göz Açıklığı (mm)	ASTM D 4751 (2021)	0.1



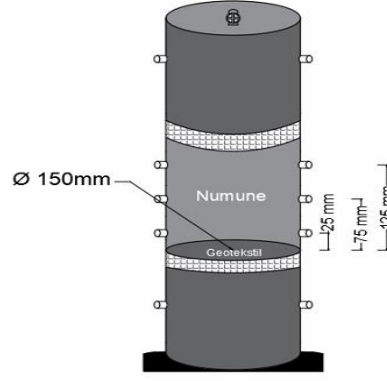
Şekil 2. Örgüsüz geotekstil

3. YÖNTEM

Plastisite indisi 5'ten küçük değer alan ($I_p < 5$) non-plastik agregaya ve örgüsüz geotekstilden oluşan drenaj sisteminin uzun süreli filtrasyon davranışını belirlemek için ASTM D 5101 (2023) standardında verilen deney sistemi yeniden tasarlanarak geliştirilmiş ve imalatı yaptırılmıştır. Standartta verilen deney sisteminde kullanılan numunelerin uzun süreli filtrasyon performansını gerçeğe daha yakın ve kapsamlı şekilde değerlendirmek için gerekli geliştirmeler yapılmıştır. Bu geliştirmeler ile deney sisteminden elde edilen verilerin daha gerçekçi olması sağlanmıştır. Geliştirilmiş ASTM D 5101 (2023) uzun süreli filtrasyon deney sistemi Şekil 3'te sunulmuştur.



GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETON MALZEME-GEOTEKSİL SİSTEMİNİN GEÇİRİMLİLİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ



Şekil 3. Geliştirilmiş uzun süreli filtrasyon deney sistemi

ASTM D 5101 (2023) standardına uyarak yapılan diğer çalışmalarda numune 100 mm çapında ve 100 mm yüksekliğinde kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerde, çapı 150 mm ve yüksekliği 150 mm olan silindirik numuneler tercih edilmiştir. Ayrıca çalışmamızda, geotekstilin yerleştirildiği noktadan itibaren 25 mm, 75 mm ve 125 mm yüksekliklerinde manometre girişleri bulunmaktadır. Bu sayede, standart filtrasyon deneyine kıyasla, geliştirilmiş filtrasyon testinden elde edilen veriler bizlere daha hassas sonuçlar sunmaktadır.

Geliştirilmiş ASTM D 5101 (2023) uzun süreli filtrasyon deneyinden elde edilen veriler, hidrolik eğim oranı (GR) ve geçirimsizlik oranının (KR) belirlenmesine fırsat vermektedir. Standartta belirtilen 24 saatlik deney süresinin aksine, çalışmada yapılan deneyler, numunelerin uzun süreli filtrasyon performansını inceleyebilmek adına, toplamda 1 aydan uzun süre boyunca devam ettirilmiştir.

Numune deney hücresine, 5 tabaka şeklinde optimum su muhtevasında yerleştirilmiştir. Numunenin doygunluğu, alt hücreden çok yavaş bir şekilde su verilerek sağlanmıştır. Manometrelerin tıkanma durumu, aynı yükseklikte bulunan 2 farklı manometreden elde edilen okumalar gözlemlenerek yapılmıştır. Numune doygunluğa ulaştırıldıktan sonra, uzun süreli filtrasyon deneyleri başlatılmıştır. KR ve GR değerleri ASTM D 5101 (2023)'de sunulan şekliyle hesaplanmıştır. GR ve KR oranlarının son beş değerindeki değişim %5'ten az olduğu durumda sistemin stabilize olduğu kabul edilmiş ve hidrolik eğim değiştirilmiştir.

Farklı yüksekliklere konumlandırılmış manometre girişlerinden elde edilen veriler, Denklem 1, 2, 3, ve 4'te sunulan formüllerde kullanılmış ve GR değerleri hesaplanmıştır.

$$GR_1 = \frac{i_{0-25}}{i_{25-75}} = 2 \times \frac{h_{25}-h_0}{h_{75}-h_{25}} \quad (1)$$

$$GR_2 = \frac{i_{25-75}}{i_{75-125}} = \frac{h_{75}-h_{25}}{h_{125}-h_{75}} \quad (2)$$

$$GR_3 = \frac{i_{0-25}}{i_{25-125}} = 4 \times \frac{h_{25}-h_0}{h_{125}-h_{25}} \quad (3)$$

$$GR_4 = \frac{GR_1+GR_2}{2} \quad (4)$$



Burada verilen h_0 , h_{25} , h_{75} ve h_{125} , geotekstilin tabanından itibaren farklı yüksekliklerdeki manometre okumalarını, i ise hidrolik eğimi ifade etmektedir. ASTM D 5101 (2023) Standardında verilen KR parametresi, agreganın permeabilite katsayısının (Denklem 5) sistemin permeabilite katsayısına (Denklem 6) oranı olarak verilmektedir.

$$k_{sistem} = \frac{Q}{A \times t} \times \frac{1}{i_{sistem}} \times \frac{\mu_T}{\mu_{20}} = \frac{Q}{A \times t} \times \frac{l}{h_{150} - h_0} \times \frac{\mu_T}{\mu_{20}} \quad (5)$$

$$k_{agrega} = \frac{Q}{A \times t} \times \frac{1}{(U_{ort} - A_{ort})} \times \frac{\mu_T}{\mu_{20}} \quad (6)$$

- k_{sistem} : Sistemin 20 °C sıcaklıktaki permeabilite değeri (cm/s),
 Q : t zamanında biriken akış miktarı, (cm³),
 i : Hidrolik eğim,
 A : Numune kesit alanı, (cm²),
 t : Q miktar drene edilen suyun toplanması için gerekli olan zaman, (s),
 μ_T : T sıcaklıkta suyun viskozitesi,
 μ_{20} : 20 °C sıcaklıkta suyun viskozitesi,
 l : Numunenin uzunluğu,
 U_{ort} : Üst manometre okumalarının ortalaması,
 A_{ort} : Alt manometre okumalarının ortalaması.

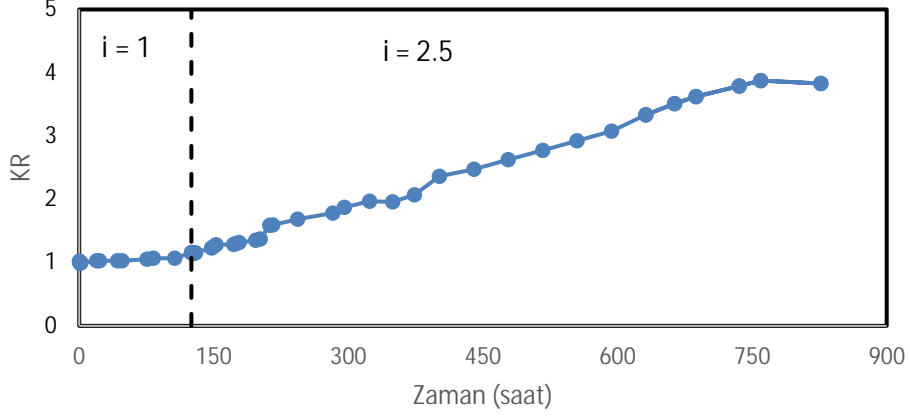
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Geri dönüştürülmüş beton agregası-örgüsüz geotekstil sistemi ile farklı hidrolik eğimlerde, geliştirilmiş ASTM D 5101 (2023) deney sistemi ile yapılmış uzun süreli filtrasyon deneyi sonuçları söz konusu standartta belirtilen GR ve KR değerleri ile analiz edilmiştir.

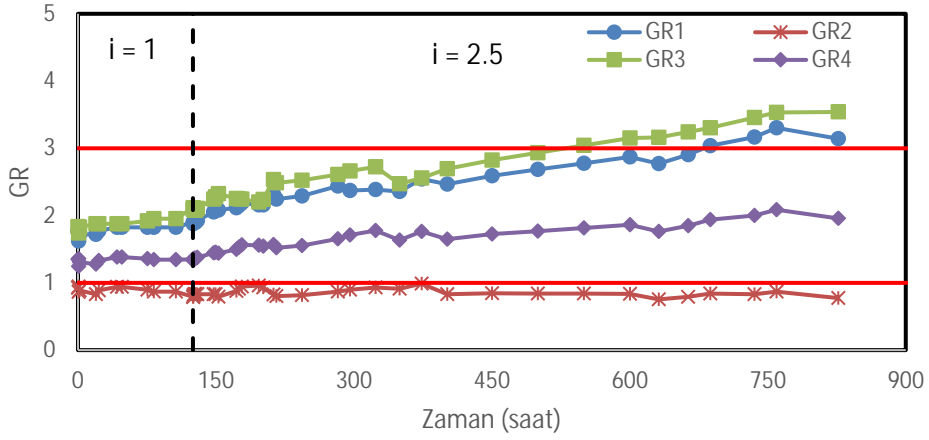
Tıkanma yaşanmaya başlamış bir sistemin GR >1 olması beklenmektedir. Bu durumda ince daneli malzemenin su akışı etkisiyle yer çekimi yönünde aşağıya doğru hareket ettiği ve sistemi tıkadığını göstermektedir. GR <1 olması durumunda ise, sistemde borulanma olayının gerçekleştiği yani göç eden ince daneli malzemenin geotekstilden de geçip sistemin drenajını kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Ancak sistemin filtrasyon performansının değerlendirilmesi için KR ve GR değerlerinin her ikisinin de birlikte kullanılması daha sağlıklı olacaktır.

ASTM D 5101 (2023) Standardına kullanılan uzun süreli filtrasyon deneyi sisteminden farklı olarak, çalışmamızda, numune ebatları 150 mm çap ve 150 mm yükseklik olarak kullanılmış olup, görece hassas ölçümlerde bulunabilmek için, yerleştirilen geotekstilden itibaren 25 mm, 75 mm ve 125 mm yüksekliklerinde manometre girişleri yerleştirilmiş ve bu manometrelerden elde edilen veriler ışığında GR ve KR hesaplamaları yapılmıştır. Zamana bağlı KR değerinin değişimi Şekil 4'te, zamana bağlı GR değerlerinin değişimi Şekil 5'te sunulmuştur.





Şekil 4. KR değerinin zaman bağılı değişimi



Şekil 5. GR değerlerinin zamana bağlı değişimi

Zamana bağlı GR değişimi incelendiğinde, hidrolik eğimin artışından dolayı oluşan ince dane göçünün sistemi tıkamaya başladığı ($GR < 3$) anlaşılmaktadır. Ek olarak sistemin GR değerleri incelendiğinde tüm hidrolik eğimler için neredeyse tüm GR değerleri 1'den büyük olduğu ($GR > 1$) görülmüş olup, kısmi bir tıkanıklığın yaşandığı düşünülmektedir. Zamana bağlı olarak artan KR değerleri de mevcut hipotezleri desteklemektedir.

5. SONUÇLAR

Geri dönüştürülmüş beton agregası ve örgüsüz geotekstilden oluşan drenaj sistemlerinin filtrasyon ve tıkanma performansını değerlendirmek için, ASTM D 5101 (2023) standardına uygun şekilde geliştirilmiş deney sisteminde uzun süreli filtrasyon deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki yargılara varılmıştır (Sarıahmetoğlu vd., 2024):

1. Geliştirilmiş ASTM D 5101 (2023) uzun süreli filtrasyon deneylerinde hidrolik eğim oranı (GR) 1'den büyük olduğunda sistemde ince daneli malzeme göçünün başladığı söylenebilir.
2. Deneyden elde edilen veriler ışığında, hidrolik eğimin artışına bağlı ince dane göçünün sistemi tıkamaya başladığı ($GR > 3$) söylenebilir.



3. Deneylelerden elde edilen GR'nin tıkanma davranışının yorumlanmasında tek başına bir parametre olarak kullanılmaması gerektiği, KR parametresi ile birlikte kullanılmasının daha sağlıklı sonuçlar doğuracağı söylenebilir.
4. Yapılan deneylelerden elde edilen veriler ışığında, geri dönüştürülmüş beton agregasının filtrasyon performansı, kabul edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır. Doğal agregaya yerine geri dönüştürülmüş beton agregası kullanmanın, sürdürülebilirliğe, atık depolama probleminin çözümüne ve milli servetin korunmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Geotekstillerin temininden dolayı İSTANBUL TEKNİK İNŞAAT firmasına teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- American Society for Testing and Materials, (2018), "Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geotextiles", USA, ASTM Standard D 5261.
- American Society for Testing and Materials, (2019), "Standard Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Geosynthetics", USA, ASTM Standard D 5199.
- American Society for Testing and Materials, (2021), "Standard Test Methods for Determining Apparent Opening Size of a Geotextile", USA, ASTM Standard D 4751.
- American Society for Testing and Materials, (2022), "Standard Test Method for Static Puncture Strength of Geotextiles and Geotextile-Related Products Using a 50-mm Probe", USA, ASTM Standard D 6241.
- American Society for Testing and Materials, (2022), "Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity", USA, ASTM Standard D 4491.
- American Society for Testing and Materials, (2023), "Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles", USA, ASTM Standard D 4632
- American Society for Testing and Materials, (2023), "Standard Test Method for Measuring the Filtration Compatibility of Soil-Geotextile Systems", USA, ASTM Standard D5101.
- Arulrajah, A., Jegatheesan, P. ve Bo, M. W. (2012), "Geotechnical Properties of Recycled Concrete Aggregate in Pavement Sub-Base Applications", *Geotechnical Testing Journal*, 35(5), 1-9.
- Aydilek A.H., Oguz S.H. ve Edil T.B. (2002), "Digital image analysis to determine pore opening size distribution of nonwoven geotextiles" *Journal of Computing in Civil Engineering*, 16(4), 280-290.
- Behera, M., Bhattacharyya, S.K., Minocha, A.K., Deoliya, R. ve Maiti, S. (2014). "Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete – A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review", *Construction and Building Materials*, 68, 501-516.
- Bestgen, O.J., Hatipoglu, M., Cetin, B. ve Aydilek, A.H. (2016) "Mechanical and Environmental Suitability of Recycled Concrete Aggregate as a Highway Base Material", *J. Mater. Civ. Eng.*, 28(9), 1-13



- Dolez, I.P. ve Blond, E. (2017), "Evaluation of Geotextile Performance for the Filtration of Fine-Grained Tailings", *Geotechnical Frontiers*, 269 – 277
- Environmental Protection Agency, (2020), "Construction and Demolition Debris Management in the United States, 2015". US. Environmental Protection Agency, Office of Resource Conservation and Recovery, US.
- Faure, Y.H., Baudoin, A., Pierson, P. ve Ple, O. (2004), "Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review", *Geotextile and Geomembranes*, 11-20
- Kabirifar K., Mojtahedi M., Wang C. ve Tam V.W.X. (2020), "Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: A review", *Journal of Cleaner Production*, 263, 121265.
- Kermani, B., Xiao, M., Stoffels, S. M. ve Qiu, T. (2018), "Reduction of subgrade fines migration into subbase of flexible pavement using geotextile", *Geotextiles and Geomembranes*, 46, 377-383
- Mehrjardi G.T., Azizi A., Haji-Azizi A. ve Asdollafardi G. (2020), "Evaluating and improving the construction and demolition waste technical properties to use in road construction". *Transportation Geotechnics*, 23, 100349.
- Miszkowaska, A., Lenart, S. ve Koda, E. (2017), "Changes of Permeability of Nonwoven Geotextiles due to Clogging and Cyclic Water Flow in Laboratory Conditions", *Water*, 9(9), 660.
- Ok B., Sarici T., Talaslioglu T. ve Yildiz A. (2020), "Geotechnical properties of recycled construction and demolition materials for filling applications", *Transportation Geotechnics*, 24, 100380.
- Sariahmetoğlu A.B. (2021), "Atık malzemelerin drenaj sistemlerinde kullanım uygunluğunun deneysel olarak incelenmesi", Doctoral dissertation, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Sariahmetoğlu, A.B, İyisan R., Dayioğlu A.Y. ve Hatipoğlu M. (2021), "Pamukkale Univ Muh Bilim Derg", 27(6), 683-695.
- Sariahmetoglu, A.B., Hatipoglu, M. ve Dayioglu, A.Y. (2024), "Comparative Evaluation of the Long-Term Filtration Performance of Recycled Materials in Highway Drainage Systems." *Geotechnical Testing Journal*, Vol 47, no. 1 ,45–64.
- U.S. Environmental Protection Agency, (2020), "Historical Recycled Commodity Values". Office of Resource Conservation and Recovery, USA.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
Cc	Derecelenme katsayısı	İ _{agrega-geotekstil}	Agre-geotek. hidro. eğimi
Cu	Uniformluk katsayısı	K _{agrega}	Agre. permea. kats. (m/s)
G _R	Hidrolik eğim oranı	K _{sistem}	Sistem perma. kats. (m/s)
K _R	Geçirimsizlik oranı	W _{opt}	Optimum su muhtevası
i	Hidrolik eğim	γ _{KMAKS}	Maks. kuru bir. hac. ağırlık
İ _{agrega}	Agremanın hidrolik eğimi	İDO	İnce dane oranı

