

*** İNŞAAT VE YIKINTI ATIĞI DOLGULARIN STATİK VE TEKRARLI YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ***

Investigation of the Behaviour Under Static and Cyclic Loading of Construction and Demolition Waste Embankment

Bahadır OK
İnş. Müh. Anabilim Dalı

Tuğrul TALASLIOĞLU
İnş. Müh. Anabilim Dalı

Abdulazim YILDIZ
İnş. Müh. Anabilim Dalı

ÖZET

Bu çalışmada inşaat ve yıkıntı atıklarının statik veya tekrarlı yüklere maruz dolgularda doğal agregalar yerine kullanılabilmesi durumu yapılan laboratuvar deneyleri ile incelenmiştir. Deneyler inşaat ve yıkıntı atığı malzemeden inşa edilmiş güçlendirmeli ve güçlendirmesiz dolgu tabakaları ve kıyaslamak amacı ile doğal agrega malzemeden inşa edilmiş dolgu tabakaları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde granüler dolgu tabakası yumuşak zemin üzerine yerleştirilmiş ve ayrı ayrı hem statik hem de tekrarlı yüklemelere tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda inşaat ve yıkıntı atığı malzemenin performansının kaliteli doğal agrega malzemeye göre düşük olduğu ve bir iyileştirmeye ihtiyacı olabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Granüler Dolgu, İnşaat ve Yıkıntı Atığı, Yumuşak Zemin, Statik ve Tekrarlı Yükleme

ABSTRACT

In this study, the use of construction and demolition wastes instead of natural aggregates in embankments subjected to static or repeated loads was investigated with the help of laboratory tests. Tests were carried out on the filler layer built from the natural aggregate material to compare comparison with reinforced and unreinforced filler layer built from construction and demolition waste material. In the tests, the granular filler layer was placed on the soft soil, and then static and repeated loads were applied to it, separately. As a result of this study, it was determined that the performance of construction and demolition waste material is lower than that of high quality natural aggregate material and its might need an reinforcement .

Key Words: Granular Fill, Soft Soil, Construction and Demolition Waste, Static and Repeated Load

Giriş

Dünya genelinde tüketilen doğal kaynakların ve üretilen atıkların yaklaşık %50'sinden inşaat sektörü sorumludur. İnşaat mühendisliği uygulamalarında en çok tüketilen doğal kaynaklardan biri agregalardır. Dünya genelinde inşaat sektörünün hızla büyümesi ile agregaların tüketimi de hızla arttırmaktadır. Sektördeki büyüme ile birlikte artan agrega ihtiyacı ise, genellikle açılan yeni taş

* Aynı Başlıklı Doktora Tezinden Üretilmiştir.

ocakları ile karşılanmaktadır. Ayrıca agrega yenilenebilir bir doğal kaynak olmaması sebebi ile herhangi bir taş ocağının rezervi bittiğinde yeni taş ocakları açılmaktadır. Ancak genellikle doğa ile iç içe bulunan taş ocaklarının hızlı artışı çevreyi tahrip etmekte ve agrega kaynaklarını hızla tüketmektedir. Sürdürülebilir çözümler üretilmezse bu doğal kaynakların komple yok olması kaçınılmaz olacaktır.

Artan doğal agrega ihtiyacı, taş ocaklarının çevreye verdiği zararlar, madencilikle ilgili ağırlaşan çevresel yönetmeliklerle doğal agregaya ulaşımın zorlaşması ve maliyetlerin artması doğal agregaya alternatif malzemelerin düşünülmesini teşvik etmiştir. Ayrıca inşaat ve yıkıntı atıklarının bertaraf edilmesi için gerekli depolama alanları, bu depolama alanlarının çevreye vereceği zararlar, harcanacak enerji için gerekli maddi kaynaklar ve kaynakların sürdürülebilirliği düşünüldüğünde bu atıkların mümkün olduğunca geri dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu atıklar, belli oranlarda yeni beton üretiminde, statik yüke maruz çeşitli dolgularda (spor, oyun tesisleri, kablo döşemesi, drenaj sistemlerinde, hafif yapıların altında dolgu olarak ve benzeri alanlarda), tesviye amaçlı dolgularda ve tekrarlı yüke maruz kalabilecek çeşitli dolgularda (düşük hacimli yol temel ve alt temelleri, otoparklar ve yürüyüş parkurları ve benzeri alanlarda) agrega yerine dolgu malzemesi olarak kullanılabilme potansiyeline sahiptir (Arulrajah ve ark., 2011,2013; Rahman ve ark., 2015; Jiménez ve ark., 2012; Vieira ve Pereira, 2015).

Bu çalışmanın amacı inşaat ve yıkıntı atıklarını geri dönüştürerek, statik yüklere maruz dolgularda veya tekrarlı yüklere maruz yol temel/alt temel dolgularında kullanılabilirliğini araştırmaktır. Bu amaç doğrultusunda depreme dayanıksız olduğu belirlenen çok katlı bir binanın kontrollü yıkılmasından sonra çıkan inşaat ve yıkıntı atığı alınmış ve çeşitli işlemlerle geri dönüştürülmüştür. Geri dönüştürülen atık malzeme üzerinde geleneksel laboratuvar deneyleri (elek analizi, birim hacim ağırlık, su emme, yassılık indeksi, Los Angeles, modifiye kompaksiyon ve CBR) yapılarak, malzemenin fiziksel ve geoteknik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların kıyaslanabilmesi için temin edilen ve uygun gradasyona ayarlanan doğal agrega karışımı malzeme üzerinde de benzer laboratuvar deneyleri yapılmıştır. İnşaat ve yıkıntı atıklarından inşa edilecek dolgunun performansı araştırılırken güvenli tarafta kalınarak dolgunun elverişsiz koşullara sahip zayıf zemin üzerindeki davranışı incelenmek istenmiştir. Bu nedenle zayıf zemin üzerine inşaat ve yıkıntı atığı dolgu inşa edilmiş sonrasında üzerinde statik ve tekrarlı plaka yükleme deneyleri yapılmıştır. Benzer deney şartlarında doğal agrega dolgu üzerinde de statik ve tekrarlı plaka yükleme deneyleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında yapılan model deneylerde, ince taneli siltli-killi zemin, biri inşaat ve yıkıntı atığı (CDW) diğeri doğal agrega karışımı (PMT) olmak üzere iki farklı granüler malzeme kullanılmıştır. Tabii zemin için Adana-Karataş yolunun, 10. kilometresi civarından yaklaşık 2.5 metre derinlikte mevcut olan ve su içeriğine bağlı olarak zayıf zemin özellikleri gösterebilen ince taneli zemin kullanılmıştır. Tabii

zemin üzerinde bir dizi laboratuvar deneyi yapılmıştır. Çizelge 1’de deney sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 1. Tabi zemin özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Likit Limit (LL)	%	28
Plastik Limit (PL)	%	21
Plastisite İndeksi (PI)	%	7
Dane Birim Hacim Ağırlığı (γ_s)	kN/m ³	26
Maks. Kuru Birim Hacim. Ağırlık (γ_{kmaks})	kN/m ³	18
Optimum Su İçeriği (ω_{opt})	%	16.1
CBR (%22.5 su içeriğinde)	%	1
C_u (%22.5 su içeriğinde)	kPa	25

İnşaat yıkıntı atığı malzeme Osmaniye’nin Düziçi ilçesinde, depreme dayanıksız olduğu belirlenen ve yıkılan, bodrum, zemin ve yedi normal kattan oluşan, il özel idaresi binasından temin edilmiştir. İnşaat yıkıntı atıkları üzerindeki donatılar binayı yıkan firma tarafından temizlenmiştir. Ayrıca atıklar konkasörden geçirilerek (konkasörde de mıknaatıslı bir sistemden geçirilmiş) farklı gradasyonlarda malzeme elde edilmiştir. Sonrasında atık malzemeler, uygun gradasyona (granüler dolgu gradasyonu) getirmek için belli oranlarda karıştırılmıştır (Şekil 1). İnşaat ve yıkıntı atığı malzemeden elde edilen deney sonuçlarının kıyaslanması için dolgularda sıkça kullanılan doğal agregalar kullanılmıştır. Bu sebeple Mersin/Tarsus Sağlıklı Taş Ocağından farklı çaplarda doğal agregalar temin edilmiştir. Doğal agregalar uygun gradasyona (granüler dolgu gradasyonu) getirmek için belli oranlarda karıştırılmıştır. Hazırlanan hem inşaat ve yıkıntı atığı malzeme hem de doğal agrega malzeme üzerinde bir diz laboratuvar deneyi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 2’de bu deneylerin sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 1. İl özel idaresi binası, yıkılması ve konkasör işlemi

Çizelge 2. İnşaat ve yıkıntı atığı ile doğal agregat özellikleri

Özellik	Birim	PMT	CDW
Üniformluk Katsayısı (C_u)	%	35.88	41.87
Eğrilik Katsayısı (C_c)	%	1.89	1.06
Yassılık İndeksi	%	12.66	11.68
Los Angeles Aşınması (LA)	%	23.40	33.58
Dane Birim Hacim Ağırlığı (γ_s)	kN/m ³	26.90 ⁱ -27.10 ^k	26.30 ⁱ -26.10 ^k
Su emme	%	0.40 ⁱ -0.36 ^k	6.82 ⁱ -4.06 ^k
Maks. Kuru Birim Hac. Ağırlık (γ_{kmaks})	kN/m ³	23.90	20.77
Optimum Su İçeriği (ω_{opt})	%	6.0	9.7
CBR	%	125.16	99.98
ⁱ İnce Dane (4.75 mm elek altı), ^k Kaba Dane (4.75 mm elek üzeri)			

Çalışma kapsamında yapılan model deneyler Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Laboratuvarında mevcut deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Bütün deneyler, eksenel simetri koşullar hakim olacak şekilde yapılmıştır. Deney düzeneği, yükleme çerçevesi, yükleme çerçevesine sabit yükleme motoru (motor kontrollü hidrolik krika), deney tankı (600 mm yükseklik, 600 mm çapa sahip ve alt plakaya sabitlenmiş) ile birlikte yük hücresi (load cell), deplasman ölçer (LVDT), basınç ölçer (basınç transduseri) gibi ölçüm cihazları ve ölçüm cihazlarından gelen verilerin kayıt edilebilmesi için veri kaydetme ünitesi (data logger) ile bilgisayardan oluşmaktadır (Şekil 2). Ayrıca deneylerde zeminin deney tankına yerleştirilebilmesi için sıkıştırma ekipmanları kullanılmıştır. Deneylerde yük, 150 mm çapındaki rijit dairesel plaka ile zemine iletilmiştir.



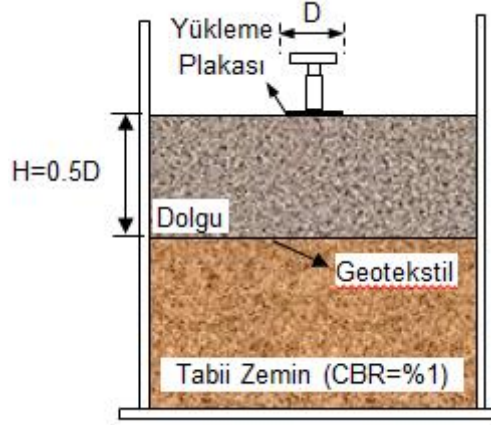
Şekil 2. Deney düzeneği

Deneyisel çalışmada deney tankı içerisine yerleştirilen tabii (zayıf) zeminin üzerine, inşaat yıkıntı atıklarından dolgu inşa edilerek statik ve tekrarlı plaka yükleme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca sonuçların karşılaştırılması için aynı tabii (zayıf) zemin üzerine doğal agrega dolgu inşa edilerek benzer yüklemeli deneyler yapılmıştır.

Tekrarlı ve statik plaka yükleme deneylerinde, deneyin gerçekleştirilmesi için yapılan işlemler aşağıda sıralanmıştır.

- Tabii zemin %22.5 su içeriğine getirilerek zayıf zemin özellikleri kazandırılmıştır.
- Tabii zeminin kasaya 5 cm'lik tabakalar halinde, su içeriği %22.5 ve 19.0 kN/m³ olacak şekilde yerleştirilmiştir. Tabakalar yerleştirilirken her tabaka için ağırlık kontrolü, su içeriği kontrolü ve mukavemet kontrolü yapılmıştır. Zemin tokmakla sıkıştırılmış, sıkıştırılan zeminin tabaka kalınlığı kontrol edilmiş ve dört farklı noktada vane deneyi ve dört farklı noktada penetrometre deneyi (mukavemet kontrolü) yapılmıştır. En son tabaka yüzey düzeltilmiş ve yüzeyin düzgünlüğü su terazisi ile kontrol edilmiştir.
- Zayıf zemin koşullarını sağlayacak şekilde hazırlanan (CBR %1) doğal zemin üzerine, optimum su içeriğine getirilen inşaat ve yıkıntı atığı (CDW) veya doğal agrega karışımı (PMT) kasaya 5 cm'lik tabakalar halinde maksimum kuru birim hacim ağırlık değerini sağlayacak şekilde yerleştirilmiştir. Tabakalar yerleştirilirken her tabaka için ağırlık ve su içeriği kontrolü ve yapılmıştır. Granüler malzemeler dinamik yöntem ile (elektrikle çalışan BOSH GBH 4-32 DFR hilti kullanılarak) sıkıştırılmış ve sıkıştırılan zeminin tabaka kalınlığı kontrol edilmiştir. Her bir tabaka dolgu yüzeyinin düzgün olup olmadığı su terazisi yardımıyla kontrol edilmiştir.
- Zayıf zemin ve dolgu tabakası yerleştirildikten sonra dairesel kasanın tam ortasına dairesel model temel yerleştirilmiş ve model temelin durumu su terazisi ile kontrol edilmiştir. Model temelin üzerindeki oyuğa bilya yerleştirilmiş, sonra yükün eksantrik olmamasına dikkat edilerek model temele statik veya tekrarlı yük uygulanmıştır.
- Deney sonucunda, yükleme sırasında ölçüm aletleri yardımı ile bilgisayara gönderilen deplasman değerleri ile buna karşılık gelen yük ve basınç değerleri bilgisayar ortamında kayıt edilmiştir.

Deneylerin şematik görüntüsü Şekil 3'de gösterilmiştir. Deneylerde dolgu ile zayıf zemin arasına ayırma amaçlı geotekstil yerleştirilmiştir. Kullanılan geotekstil yerli üretim olup, PP bazlı, örgüsüz, 200 g/m² birim ağırlıklı, statik delinme dayanımı 2000 N ve 1 mm kalınlığındadır.



Şekil 3. Deneylerin şematik görüntüsü

Statik yüklemeli deneyler, elektrikli motor yardımı ile sabit 2.33 mm/dk. hızında yapılmıştır. Statik yüklem süreci içerisinde ölçüm aletleri vasıtası ile deplasmana karşılık yük ve basınç değerleri veri kayıt etme ünitesine aktarılmış, deney model temel plaka çapının ($D=150$ mm) yaklaşık olarak %16'sı kadar deplasman yapınca durdurulmuş ve alınan veriler kayıt edilmiştir.

Deneyler sonucunda, zayıf zemin üzerine yerleştirilen granüler dolgunun veya granüler dolgu içerisine yerleştirilen geosentetik güçlendirmelerin etkisinin değerlendirilebilmesi için, bu unsurların taşıma gücündeki artış dereceleri Taşıma Kapasitesi Oranı (BCR) (Binqet ve Lee, 1975) ile tanımlanmıştır. Bütün deneyler için Taşıma Kapasitesi Oranının (BCR) aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır.

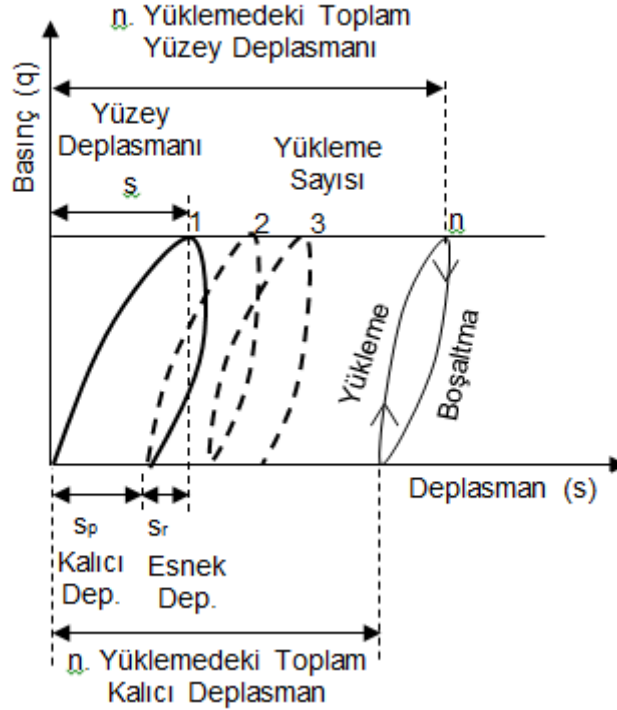
$$BCR = \frac{q_r}{q_0}$$

Denklemdaki q_r granüler dolgu tabakası ile güçlendirilmiş ince daneli zeminden elde edilen taşıma gücü değerini, q_0 ise ince daneli zeminden elde edilen taşıma gücü değerini göstermektedir. Bütün deneyler için 0.05D ($s/D=\%5$), 0.10D ($s/D=\%5$) ve 0.15D ($s/D=\%15$) deplasman oranlarında elde edilen taşıma gücü değerlerine göre BCR değerleri hesaplanmış ve deneylerde elde edilen sonuçlar birbirleri ile kıyaslanmıştır. Ayrıca temel çapının %10'una denk gelen deplasman değerine karşılık basınç değeri ise zemini taşıma gücü değeri olarak alınmıştır.

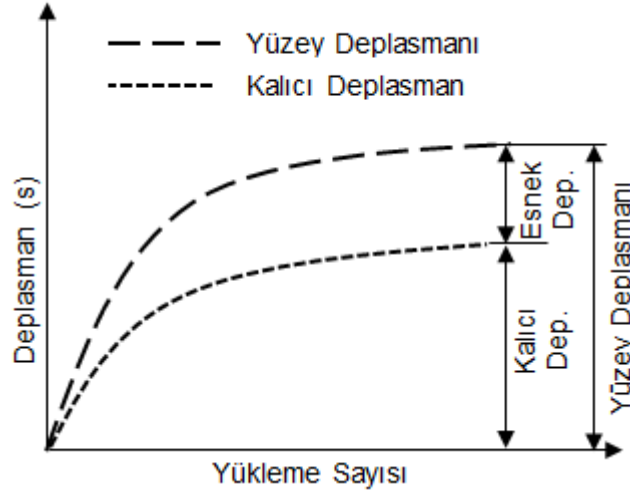
Trafik yükleri, petrol tankları ve benzeri tekrarlı yükler düşünülerek tekrarlı yüklemeli deneyler statik yüklemeli deneylerden farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Yüklemeye plakasına 80 kN'luk çift tekerli ağır taşıtların eşdeğer dingil yükünü modellemek için yaklaşık olarak 560 kPa'lık basınç (Thakur ve ark., 2012; Yang ve ark., 2012; Abu-Farsakh ve Chen 2011; Acharya 2011), hafif trafik yüklerini de modellemek için dört kademe halinde verilmiştir (Mehrijardi ve ark., 2012). Tekrarlı

yüklemeye 140 kPa, 280 kPa, 420 kPa ve 560 kPa olmak üzere dört kademede ve her kademede yaklaşık 10 kere istenilen yüke kadar yüklemeye, sıfıra kadar boşaltma ve tekrar istenilen yüke kadar yüklemeye döngüsü şeklinde yapılmıştır. Deneylerden herhangi biri, herhangi bir yüklemeye aşamasında toplam 50 mm düşey deplasmana ulaştığı anda durdurulmuştur (Mehrijardi ve ark., 2012).

Şekil 4'te tekrarlı yüklemeli deneyler sonucunda elde edilen, yüklemeye boşaltma aşamalarında uygulanan basınç ve oluşan deplasman grafiği gösterilmiştir. Ayrıca şekilde kalıcı deplasman (permanent-plastic displacement), esnek deplasman (resilient-elastic displacement), yüzey deplasmanı (surface-footing displacement), toplam kalıcı deplasman (cumulative permanent displacement) ve toplam yüzey deplasmanı (cumulative surface displacement) değerleri de açıklanmıştır. Şekil 5'de ise deneyler sonucunda elde edilen deplasman ve yüklemeye sayısı grafiği gösterilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen bütün sonuçları birbirleri ile kıyaslanarak sunulmuştur.



Şekil 4. Tekrarlı yüklemeli deneylerde basınç deplasman eğrisi

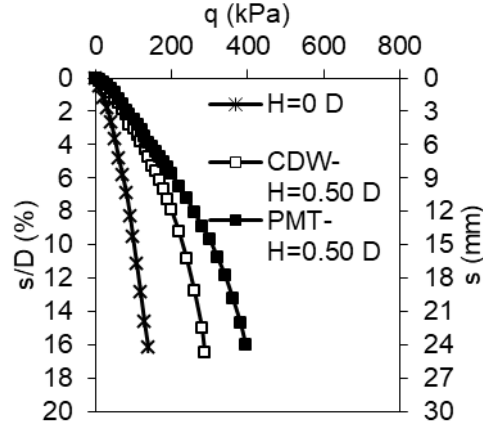


Şekil 5. Tekrarlı yüklemeli deneylerde yükleme sayısı deplasman eğrisi

Tekrarlı yüklemeli deneylerde her yükleme için esnek deplasman oranı belirlenmiştir. Esnek deplasman oranı her yüklemede oluşan yüzey deplasmanın o yüklemede oluşan esnek deplasmana göre yüzdesi şeklinde belirlenmiştir (Acharya, 2011; Thakur ve ark., 2012).

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Zayıf zemin üzerine inşaat ve yıkıntı atığı (CDW) malzemeden veya doğal agrega (PMT) malzemeden granüler dolgu tabakası yerleştirilip statik yükleme yapılan deneyler sonrasında, bu iki malzemenin gerilme deplasman veya deplasman oranı eğrilerinin kıyaslanması Şekil 6'da gösterilmektedir. Temel çapının %5, %10 ve %15'ine karşılık gelen oturma değerleri dikkate alındığında granüler dolgulu zeminlerin taşıma gücü ve BCR değerleri Çizelge 3'de sunulmuştur.



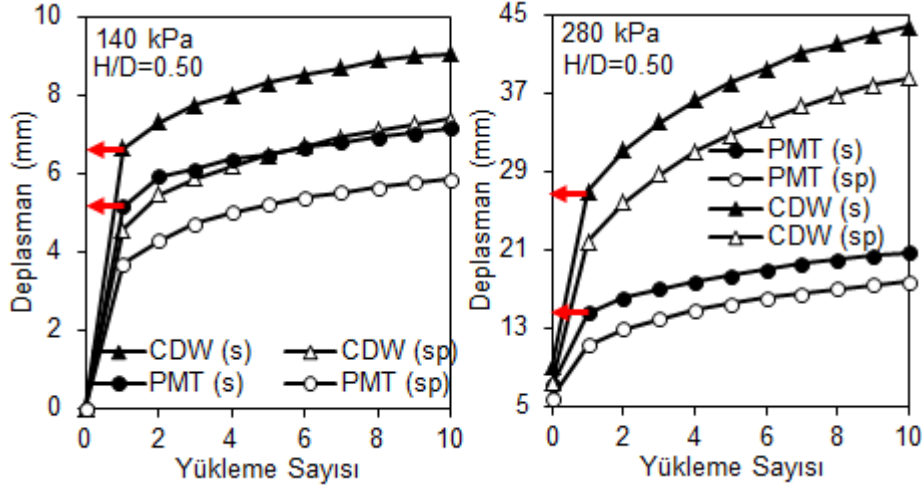
Şekil 6. CDW ve PMT'li dolguların gerilme deplasman eğrisi kıyaslaması

Çizelge 3. Dolgulu durum için taşıma gücü ve BCR değerleri

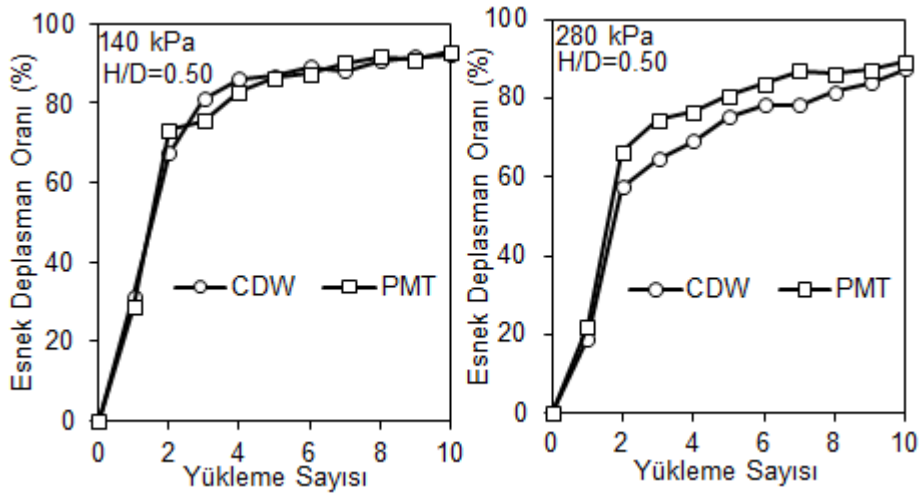
H/D	$q_u(kPa)$		BCR		s/D(%)
	PMT	CDW	PMT	CDW	
0.50	180.90	145.60	2.91	2.34	5
0.50	305.01	230.20	2.96	2.23	10
0.50	383.14	279.26	2.89	2.11	15

Bütün oturma oranları için (s/D), PMT malzemeli dolgunun BCR değerleri CDW malzemeli dolguya göre yüksek çıkmıştır. Ayrıca iki dolgulu durumun başlangıçta benzer davranış gösterdiği (s/D yaklaşık %5 ile %10'a kadar) ancak artan deplasman oranlarında PMT dolgulu durumun CDW dolgulu duruma göre daha fazla yük alması ile aralarındaki farkın arttığı görülmüştür.

Zayıf zemin üzerine inşaat ve yıkıntı atığı (CDW) malzemeden veya doğal agregası (PMT) malzemeden granüler dolgu tabakası yerleştirilip tekrarlı yükleme yapılan deneyler sonrasında, yükleme sayısı deplasman değişimi Şekil 7'de, yükleme sayısı esnek deplasman oranı değişimi Şekil 8'de gösterilmiştir. İnşaat ve yıkıntı atığı (CDW) dolgulu tekrarlı yüklemeli deneyin ilk iki yük kademesinde (140 kPa ve 280 kPa) 10'ar yükleme yapıldıktan sonra, üçüncü yük kademesindeki (420 kPa) ilk yükleme bitmeden deplasman sınırı olan 50 mm'ye ulaşılmıştır. Doğal agregası (CDW) dolgulu tekrarlı yüklemeli deneyin ilk iki yük kademesinde (140 kPa ve 280 kPa) 10'ar yükleme yapıldıktan sonra, üçüncü yük kademesinin (420 kPa) onuncu yüklemesinde deplasman sınırı olan 50 mm'ye ulaşılmıştır.



Şekil 7. CDW ve PMT'li dolguların yükleme sayısı kalıcı ve yüzey deplasman değişimi



Şekil 8. CDW ve PMT'li dolguların yükleme sayısı esnek deplasman oranı değişimi

140 kPa ve 280 kPa basınç kademelerindeki ilk yüklemelemlerde PMT dolgulu durum CDW dolgulu duruma göre sırası ile daha az deplasman yapmıştır. Ayrıca 140 kPa basınç kademesindeki artan tekrarlı yüklerde esnek deplasman oranları birbirine çok yakınken, 280 kPa basınç kademesi için PMT dolgulu durumdaki esnek deplasman oranları CDW dolgulu duruma göre daha fazla çıkmıştır.

Sonuçlar

Statik yüklemeli deneylerde PMT dolgulu durumda CDW dolgulu duruma göre $s/D=5\%$, 10% ve 15% 'deki BCR değerleri sırası ile 24% , 32% ve 36% daha fazla çıkmıştır. Bu durumda CDW malzemenin PMT malzemesinin performansını yakalaması için bir iyileştirme yapılması gerektiği açıktır. Ayrıca iki dolgulu durumun yük deplasman davranışı PMT dolgulu durumunda biraz daha iyi olmakla birlikte başlangıçta (s/D yaklaşık 5% ile 10% 'a kadar) benzerdir. Ancak artan deplasman oranlarında PMT dolgulu durumun CDW dolgulu duruma göre daha fazla yük alması ile aralarındaki farkın arttığı görülmüştür.

PMT ve CDW dolgulu deneyler kıyaslandığında, 140 kPa ve 280 kPa basınç kademelerindeki ilk yüklemelerde PMT dolgulu durum CDW dolgulu duruma göre sırası ile 22% ve 59% daha az deplasman yapmıştır. Ayrıca 140 kPa basınç kademesindeki artan tekrarlı yüklerde esnek deplasman oranları birbirine çok yakınken, 280 kPa basınç kademesi için PMT dolgulu durumdaki esnek deplasman oranları CDW dolgulu duruma göre ortalama 9% daha fazla çıkmıştır. Bu sebeple özellikle 280 kPa basınç kademesinde CDW ile PMT dolgu arasında önemli derecede deplasman farkları oluşmuştur. Bu durumda CDW malzemenin hem ilk yüklemelerde hem de esnek davranış açısından PMT malzemesinin performansını yakalaması için bir iyileştirme yapılması gerektiği açıktır.

Kaynaklar

- Abu-Farsakh M. Y., Chen Q., 2011. Evaluation of Geogrid Base Reinforcement in Flexible Pavement Using Cyclic Plate Load Testing, International Journal of Pavement Engineering, 12(3):275–288.
- Acharya, B. 2011. Experimental Study on Geocell-Reinforced Flexible Pavements with Recycled Asphalt Pavement (RAP) Bases under Cyclic Loading. MSc. Thesis, Tribhuvan University, Institute of Engineering, Nepal, 123s.
- Arulrajah, A., Piratheepan, J., Aatheesan, T., Bo, M. W., 2011. Geotechnical Properties of Recycled Crushed Brick in Pavement Applications. J. Mater. Civ. Eng., 23(10): 1444–1452.
- Arulrajah A., Piratheepan J., Disfani M. M., Bo M. W., 2013. Geotechnical and Geoenvironmental Properties of Recycled Construction and Demolition Materials in Pavement Subbase Applications. Journal of Materials in Civil Engineering, 25(8):1077-1088.
- Binquet, J., Lee, K.L., 1975. Bearing Capacity Tests on Reinforced Earth Slabs. Journal of Geotechnical Engineering Division ASCE, 101(12):1241-1255
- Jiménez J. R., Ayuso J., Agrela F., López M., Galvín A. P., 2012a. Utilisation of Unbound Recycled Aggregates from Selected CDW in Unpaved Rural Roads. Resources, Conservation and Recycling, 58:88–97.
- Mehrdadi T., Tafreshi, S.N., Dawson A.R., 2012. Combined Use of Geocell Reinforcement and Rubber Soilmixtures to Improve Performance of Buried Pipes. Geotextiles and Geomembranes, 34:116-130.

- Rahman MA, Imteaz MA, Arulrajah A, Piratheepan J, Disfani MM., 2015. Recycled Construction and Demolition Materials in Permeable Pavement Systems: Geotechnical and Hydraulic Characteristics. *J Cleaner Prod.*, 90:183–94.
- Thakur, J.K., Han J., Pokharel S.K., Parsons R.L., 2012. Performance of Geocell-Reinforced Recycled Asphalt Pavement (RAP) Bases over Weak Subgrade under Cyclic Plate Loading. *Geotextiles and Geomembranes*, 35:14-24.
- Vieira C. S. ve Pereira P.M., 2015. Use of Recycled Construction and Demolition Materials in Geotechnical Applications: A review. *Resources. Conservation and Recycling*, 103:192–204.
- Yang, X., Han, J., Pokharel, S.K., Manandhar, C., Parsons, R.L., Leshchinsky, D., Halahmi, I., 2012. Accelerated Pavement Testing of Unpaved Roads with Geocell-Reinforced Sand Bases. *Geotextiles and Geomembranes*, 95–103.