

YAPIM YIKIM ATIKLARININ YOL TEMELLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Bahadır OK (ORCID: 0000-0001-8333-5671)¹
Ahmet DEMİR (ORCID: 0000-0003-3559-8113)^{2*}

¹*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Adana, Türkiye*
²*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, Türkiye*

Geliş / Received: 11.05.2017
Kabul / Accepted: 13.07.2017

ÖZ

Granüler malzemeler dolgular, istinat duvarları, yol temelleri ve demir yolu balastı gibi inşaat mühendisliği uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Ancak gün geçtikçe artan doğal kaynakların azalması ve madencilikle ilgili düzenlenen çevresel yönetmelikler, doğal kayaların ekonomik ve kolay çıkarılmasını daha da zorlaştırmaktadır. Bu durum ülkeleri doğal agregaya alternatif malzeme arayışına itmiştir. Bu çalışmada kentsel dönüşüm projesi kapsamında depreme dayanıksız olduğu belirlenen yapıdan yıkıntı atıklarının birtakım işlemlerden geçirilerek geri dönüşümü yapılmıştır. Daha sonra laboratuvar deneyleri ile bu atıkların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek karayolu dolgularında kullanılabilmesi durumu incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar farklı ülkelerde yapılan çalışmalar ile karşılaştırılarak ülkemizdeki yıkıntı atıklarının dünyadaki yıkıntı atıklarına benzerlikleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda ülkemizdeki binalardan elde edilen yapım ve yıkım atıklarının geri dönüştürülerek karayolu dolgularında kullanılmasına engel bir sonuç ile karşılaşmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapım ve yıkım atıkları, geri dönüşümlü beton agregası, temel/alt temel tabakası, dolgu

INVESTIGATION OF THE USABILITY OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTES IN ROAD BASES

ABSTRACT

Granular materials are commonly used in civil engineering applications like embankments, retaining walls, road bases and railway ballast. However, the availability of areas where natural rock can easily and economically be mined is becoming more difficult depending previous depletion of resources and environmental regulations associated with mining. This situation has pushed searching alternative materials to virgin aggregate of contractors. In this study, construction and demolition wastes taken from a structure that have low endurance against earthquake were subjected to some process and recycled. Then, its suitability of physical and mechanical properties for using as a filling material in base/subbase layer of road was investigated by laboratory tests. The results were compared with studies from different countries to examine the similarity of the wastes in Turkey. Finally, as it is seen, the waste material in Turkey has potential for using in base/subbase course of roads.

Keywords: Construction and demolition waste, recycled concrete aggregate, base/subbase course, filling

1. GİRİŞ

Dolgu malzemesi olarak genellikle doğal kayalar ve doğal kayaların parçalanması ile oluşturulan doğal agregalar kullanılmaktadır. Bu malzemeler ayrıca betonarme yapılar, istinat duvarları, yol temelleri ve demir

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 505 601 05 66; e-mail / e-posta: geotekdemir@gmail.com

YAPIM YIKIM ATIKLARININ YOL TEMELLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

yolu balastı gibi birçok inşaat mühendisliği uygulamasında da sıkça kullanılmaktadır. Dünya genelinde inşaat sektörünün hızla büyümesi, doğal agrega tüketimini de büyük ölçüde arttırmıştır. Gün geçtikçe artan talep doğrultusunda doğal kaynakların azalması ve madencilikle ilgili düzenlenen çevresel yönetmelikler doğal kayaların ekonomik ve kolay çıkarılmasını daha da zorlaştırmıştır [1].

Yapıların yıkımı, onarımı ve tekrar inşa edilmesi gibi inşaat faaliyetler sonucunda elde edilen atıklara genel olarak yapım yıkım atıkları-YYA (construction and demolition waste-CDW) denmektedir. Bu atıklar heterojen olarak birçok farklı malzeme içerebilmektedirler. Yapım yıkım atıkları-YYA aşağıdaki malzemeleri içerebilir [2]:

- Beton, tuğla, kiremit ve seramik
- Ahşap, cam ve plastik
- Bitümlü karışımlar, kömür ve petrol ürünleri
- Metaller
- Zemin ve taş parçaları
- Yalıtım malzemeleri ve asbest içeren yapı malzemeleri
- Alçı bazlı inşaat malzemeleri
- Diğer bazı yapım atıkları

Avrupa genelinde yılda 310 ila 720 milyon ton YYA oluşmakta ve bu miktar gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemizde ise 2012 yılında çıkan 6306 sayılı 'Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun' ile riskli bulunan yaklaşık 6-7 milyon yapının yıkılması planlanmaktadır. YYA malzemelerin geri dönüştürülerek tekrar kullanılması, çevreye olan etkileri açısından, inşaat endüstrisi tarafından üretilen katı atıkların depolama maliyetlerini düşürmesi, atık depolama gereksinimini azaltması, inşaat için zeminden elde edilen doğal kaynakların kullanımını azaltması, atık malzemelerin daha çok değerlendirilmiş olması, enerji israfını azaltması ve sürdürülebilirliğin artması gibi olumlu etkiler yapabilmektedir [1-6].

Hem granüler malzeme gibi yenilenemeyen doğal kaynakların azalması hem de atık malzemelerin çevreye olumsuz etkileri, insanları geri dönüşümlü malzeme kullanmaya teşvik etmektedir. Bu doğrultuda Avrupa Komisyonu YYA malzemelerin geri dönüştürülerek tekrar kullanımının büyük bir potansiyele sahip olduğunu belirtmiştir [2]. Ayrıca konu ile ilgili yapılan önceki çalışmalarda araştırmacılar, çeşitli projelerde YYA'nın tekrar kullanılmasını teşvik etmek için alternatifler önermenin önemini vurgulamışlardır [1].

Son yıllarda YYA'nın karayolu temel ve alt temellerindeki performansı ile ilgili bazı çalışmalar mevcuttur [3-6]. Yapılan çalışmalarda genel olarak YYA'nın karayolu temel ve alt temellerinde kullanmak için bir alternatif olabileceği kabul edilmiştir [1-6].

Literatür incelendiğinde YYA'nın karayolu temel/alt temellerinde kullanımı ile ilgili geleneksel laboratuvar deneyleri ile malzemenin geoteknik ve/veya çevresel özelliklerinin karayolu temel/alt temellerinde kullanmak için uygun olup olmadığını belirlemek üzerine çalışmaların olduğu görülmüştür [1-23]. Yapılan çalışmalarda genellikle YYA malzemelerin karayolu dolgularında kullanmak için iyi bir alternatif olduğu belirtilmiştir. Ancak YYA'nın kalitesi, elde edildiği bölge, o bölgedeki geleneksel yapı özelliklerine ve kullanılan yapı malzemesinin kalitesine göre değişim gösterebilmektedir. Ülkemizdeki yapılardan elde edilecek YYA'nın karayolu dolgularında kullanılabilmesinin laboratuvar deneyleri ile araştırıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada ülkemizde kentsel dönüşüm projesi kapsamında depreme dayanıksız olduğu belirlenen yapıdan alınan yıkıntı atıklarının geri dönüştürülerek karayolu dolgularında kullanılabilmesi durumu yapılan laboratuvar deneyleri ile (elek analizi, su emme, yassılık indeksi, Los Angeles, modifiye kompaksiyon ve CBR) incelenmiştir. Bu kapsamda alınan YYA önce zararlı metallere arındırılmış, uygun gradasyona getirilmiş, içerdiği farklı malzemelerin oranı saptanmıştır. Daha sonra laboratuvar deneyleri yapılarak atıkların fiziksel ve geoteknik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar farklı ülkelerde yapılan çalışmalar ile karşılaştırılarak ülkemizdeki yıkıntı atıkların, farklı ülkelerde dolgu malzemesi olarak kullanılması düşünülen yıkıntı atıklarına benzerlikleri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Yapım Yıkım Atığının (YYA) Temini ve Hazırlanması

YYA temini için Çukurova bölgesinde yıkılması planlanan yapılar araştırılmıştır. Bu kapsamda YYA temini için daha önce deprem performansının incelenip yıkılmasına karar verilen Osmaniye'nin Düziçi ilçesindeki il özel idaresi binası seçilmiştir. Mevcut bina bodrum, zemin ve yedi normal kattan oluşmaktadır (Şekil 1). Binanın deprem performansı incelenirken alınan karot numunelerinden ortalama beton basınç mukavemeti 14,5 MPa bulunmuştur. Karot numunelerinden elde edilen basınç mukavemetleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Deprem

B. OK, A. DEMİR

performansının yetersiz görülmesinin ardından iş makineleri yardımı ile binanın yıkım işlemine başlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. Osmaniye Düziçi İl Özel İdaresi binası dış görünümü

Tablo 1. Karot numune beton basınç mukavemetleri

Kat	Eleman	Basınç Mukavemeti (MPa)	Kat	Eleman	Basınç Mukavemeti (MPa)*
Zemin	C-1 Kolon	15,4	4. Kat	B-6 Kolon	11,5
Zemin	B-1 Kolon	15,0	4. Kat	C-7 Kolon	10,7
Zemin	A-1 Kolon	11,0	4. Kat	F-1 Kolon	21,8
1. Kat	B-6 Kolon	16,6	5. Kat	E-4 Kolon	7,4
1. Kat	B-7 Kolon	12,8	5. Kat	B-7 Kolon	12,9
1. Kat	C-2 Kolon	16,0	5. Kat	BC-1 Kolon	14,0
2. Kat	AC-2 Kolon	15,8	6. Kat	B-6 Kolon	11,1
2. Kat	C-2 Kolon	13,0	6. Kat	E-2 Kolon	11,0
2. Kat	BC-3 Kolon	24,0	6. Kat	C-3 Kolon	12,5
3. Kat	B-6 Kolon	17,2	7. Kat	A-8 Kolon	10,2
3. Kat	BE-5 Kolon	20,9	7. Kat	F-8 Kolon	16,2
3. Kat	D-2 Kolon	15,3	7. Kat	E-4 Kolon	14,5

*Ortalama Basınç Mukavemeti 14,5 MPa



Şekil 2. Yıkım işlemi

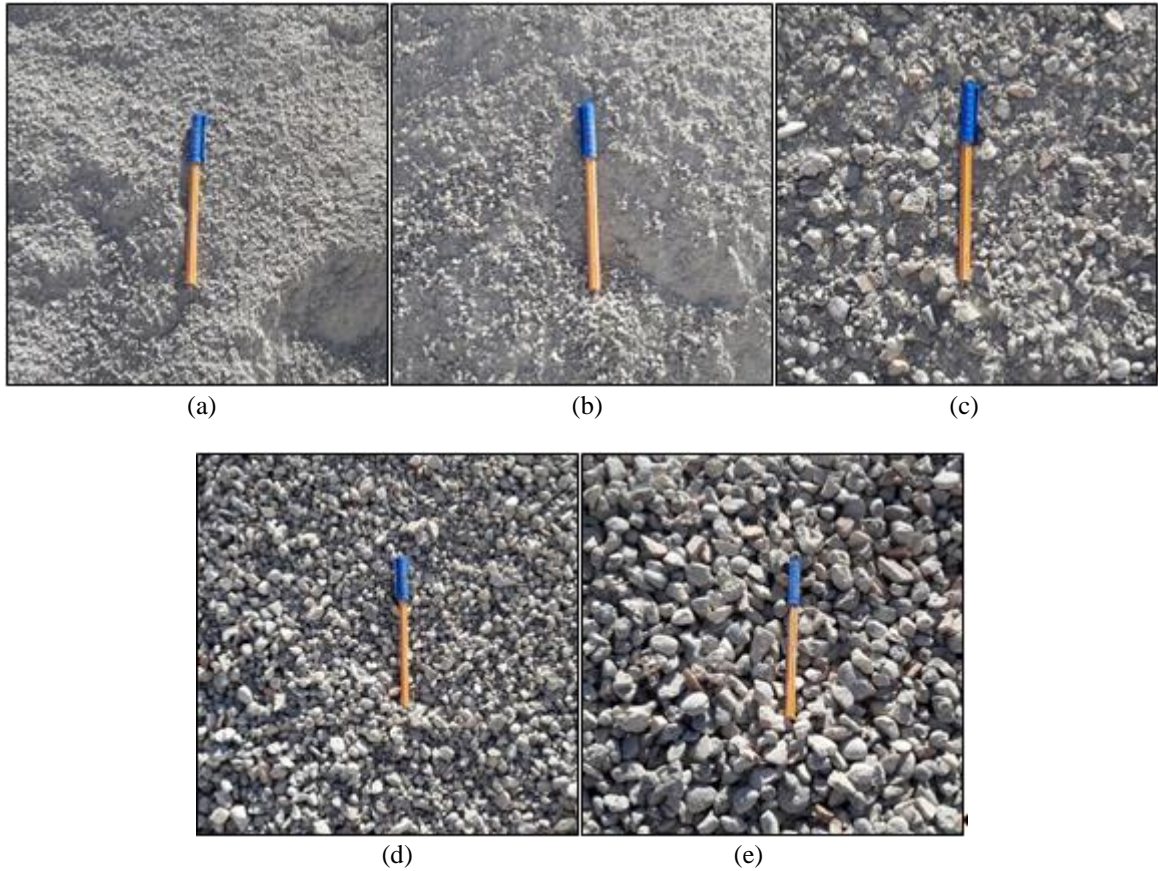
YAPIM YIKIM ATIKLARININ YOL TEMELLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Binanın yıkılması ile ortaya çıkan molozlarda mevcut donatı ve metal parçalarının çok büyük bir kısmı binayı yıkan firma tarafından ayıklanarak alınmıştır. Sonrasında atık malzeme kamyonlara taşınarak uygun bir yere serilmiş ve kalan donatı, metal gibi yabancı maddeler ayıklanmıştır. Daha sonra malzeme taş ocağına taşınmış ve taş ocağında mevcut konkasöre yerleştirilmiştir. Malzeme konkasöre girerken mıknaş sisteminden geçirilmiştir (Şekil 3).



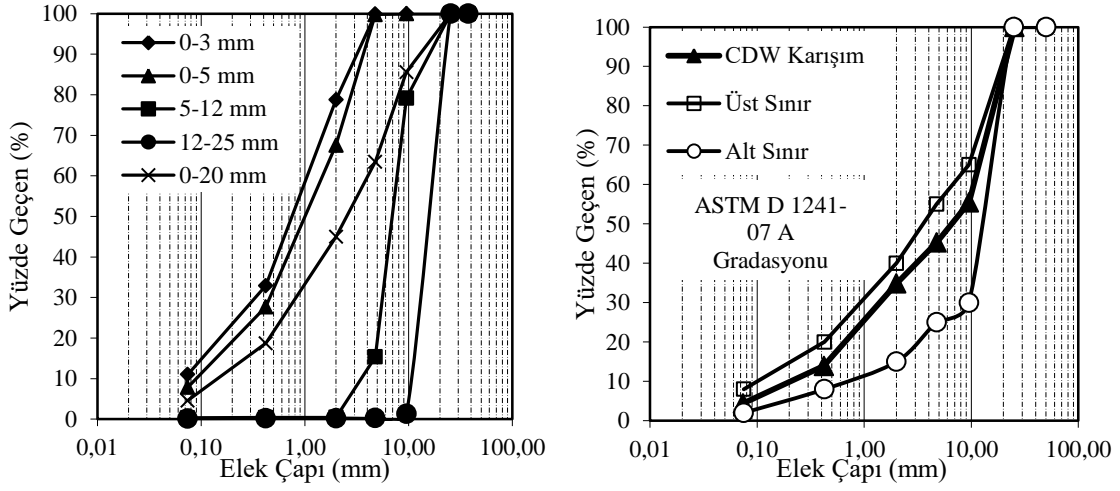
Şekil 3. YYA malzemenin konkasör ile parçalanması işlemi

Konkasör sonrası 0-3 mm, 0-5 mm, 5-12 mm ve 12-25 mm ve 0-20mm olmak üzere beş farklı çap aralığına sahip YYA malzeme elde edilmiştir (Şekil 4). Konkasörden çıkan farklı gradasyonlardaki YYA malzeme üzerinde laboratuvarında elek analizleri yapılmıştır [24]. Elek analizi sonuçlarına göre karayolu temel ve/veya alt temel dolgularında kullanmak için bir karışım hesabı yapılmıştır [25] (Şekil 5). Karışım yapılarak hazırlanan zeminin sınıfı TS 1500'e göre GW "Düzgün Dane Dağılımlı Çakıl" olarak belirlenmiştir [26].



Şekil 4. YYA malzemeler a) 0-3 mm malzeme, b) 0-5 mm malzeme, c) 0-20 mm malzeme, d) 5-12 mm malzeme, e) 12-25 mm malzeme

B. OK, A. DEMİR



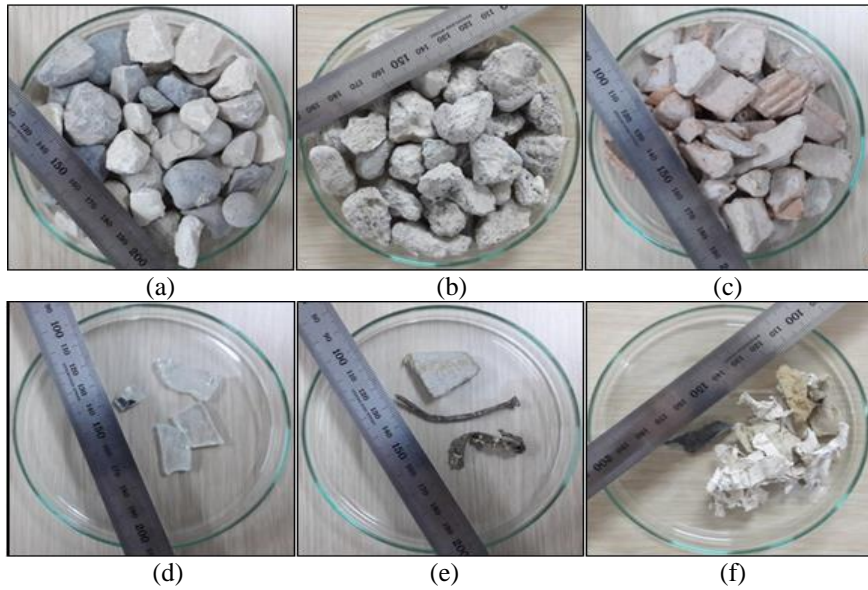
Şekil 5. YYA numuneleri ve yapılan karışımının gradasyonu

2.2. YYA Malzemenin Bileşenlerinin Belirlenmesi

Temin edilen YYA malzeme beton, agrega, tuğla, cam ve bazı diğer malzemeler içermektedir. Bu malzemelerin YYA malzeme içerisindeki ağırlıkça yüzdelerini BS EN 933-11:2009 [27] standardına göre hesap edilmiştir [6]. YYA malzemenin içindekilerin bileşen oranları Tablo 2’de sunulmuştur. Bu malzemeler Şekil 6’da gösterilmiştir.

Tablo 2. YYA malzeme bileşenleri

Bileşen	Değer
Beton, Beton Ürünleri, Harç R_c (%)	36,33
Agrega, Bağlayıcısız Agregat, Hidrolik Bağlı Agregat R_u (%)	52,65
Tuğla, Kalsiyum Silikatlı Duvar Üniteleri R_b (%)	10,53
Cam R_g (%)	0,11
Diğer Malzemeler (Metaller, Yüzmeyen Ahşap Plastik Kavuçuk, Alçı) X (%)	0,38
Yüzen Parçacıklar FL (cm^3/kg)	0,07

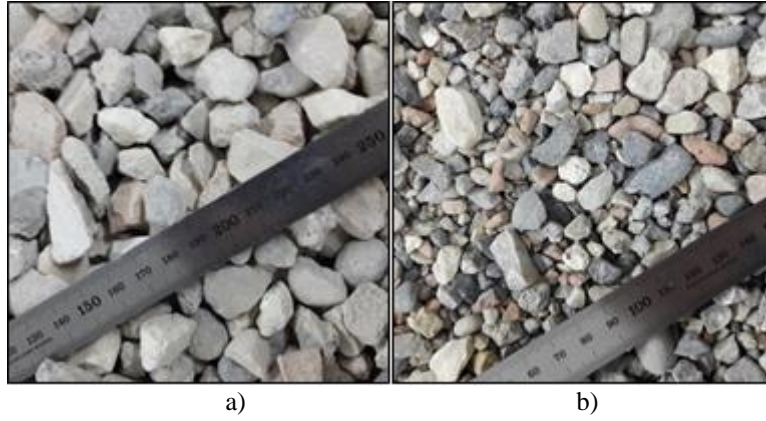


Şekil 6. YYA’nın içindeki malzemeler a) Agregat b) Beton c) Tuğla d) Cam e) Diğler malzemeler f) Yüzen malzemesi

YAPIM YIKIM ATIKLARININ YOL TEMELLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

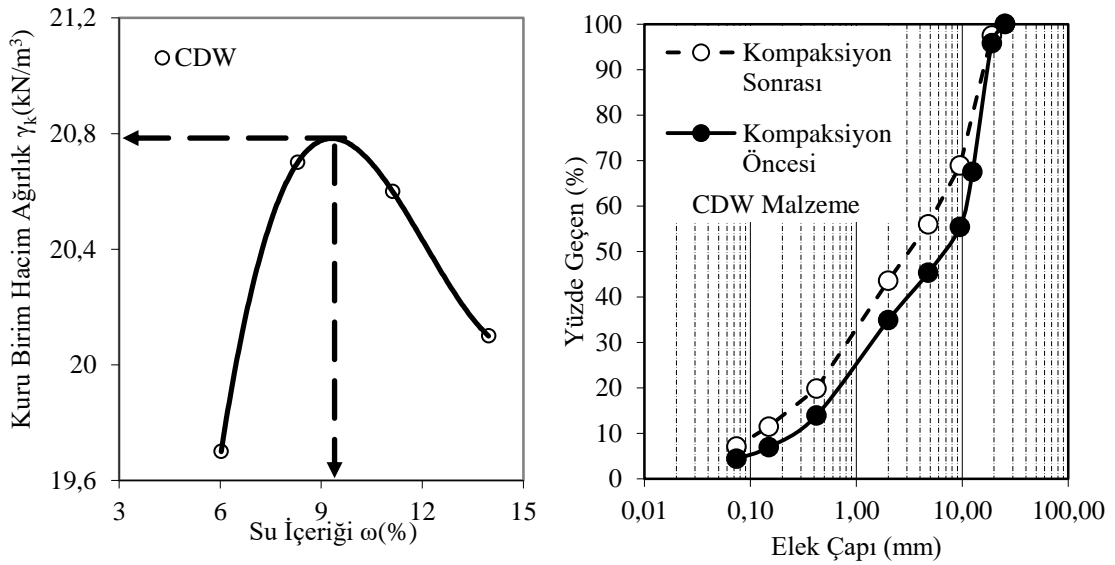
2.3. YYA Malzemenin Fiziksel ve Geoteknik Özellikleri

Hazırlanan malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için laboratuvarında yassılık indeksi, Los Angeles, su emme, modifiye kompaksiyon ve CBR deneyleri yapılmıştır. Ayrıca modifiye kompaksiyon deneyi sonrasında numuneye tekrar elek analizi yapılarak malzemenin gradasyon değişimi incelenmiştir. Atık malzemenin dane birim hacim ağırlığı (γ_s) ortalama ince danelerde $26,30 \text{ kN/m}^3$, kaba danelerde $26,10 \text{ kN/m}^3$, su emmesi ise ince danelerde %6,82 kaba daneler için %4,06 çıkmıştır [28, 29]. Yassılık indeksi deney sonucunda malzemenin yassılık indeksi %11,68 çıkmıştır [30]. Genel olarak YYA malzemenin içindeki tuğla (R_b) ve cam (R_g) parçalarının beton (R_c) ve agrega (R_u) parçalarına göre daha yassı danelerden oluştuğu görülmüştür. Los Angeles deneyi (500 devir) sonucu malzemenin aşınması %33,58 çıkmıştır [31]. Deney sonucunda atık malzeme içindeki beton (R_c), tuğla (R_b) ve cam (R_g) parçalarının agrega (R_u) danelerine göre daha çok parçalandığı görülmüştür. YYA malzemenin Los Angeles deneyi öncesi ve sonrası Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. YYA malzeme için Los Angeles deneyi a) Deney öncesi, b) Deney sonrası (1,7 mm elek üzeri)

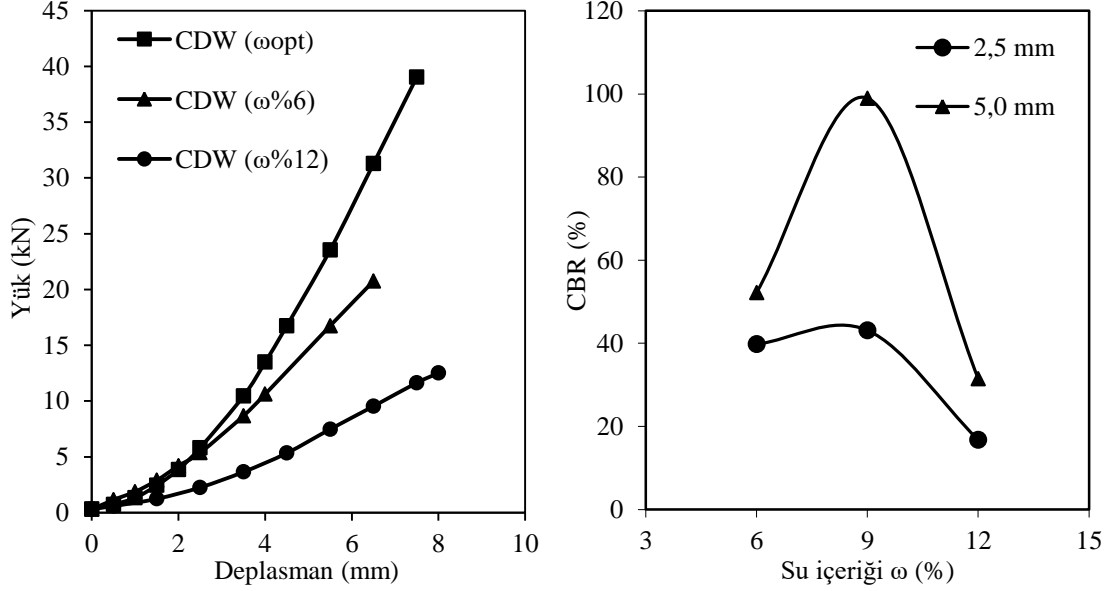
Modifiye kompaksiyon deney sonucunda maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmaks}) $20,77 \text{ kN/cm}^3$ optimum su içeriği (ω_{opt}) %9,7 olarak bulunmuştur [32]. Kompaksiyon eğrisi ve kompaksiyon öncesi ve sonrası yapılan elek analizine göre belirlenen gradasyon değişimi Şekil 8’de sunulmuştur. Malzemenin kompaksiyon öncesi ve sonrasındaki gradasyonları birbirine benzemektedir [3].



Şekil 8. YYA malzemenin kompaksiyon eğrisi ve gradasyon değişimi

B. OK, A. DEMİR

YYA malzeme üzerinde optimum, %6 ve %12 su içeriğinde olmak üzere farklı su içeriklerinde CBR deneyi yapılmıştır [33]. Malzemenin optimum su içeriğindeki CBR değeri %99,98 olarak bulunmuştur. Farklı su içeriklerindeki yük deformasyon eğrileri ve CBR su içeriği grafiği Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. YYA malzeme için CBR deneyi grafikleri

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneyler sonucunda elde edilen YYA malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri toplu olarak Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3. YYA malzemenin fiziksel ve geoteknik özellikleri

Özellik	CDW
Üniformluk Katsayısı C_u (%)	41,87
Eğrilik Katsayısı C_c (%)	1,06
Yassılık İndeksi (%)	11,68
Los Angeles Aşınması LA (%)	33,58
Birim Hacim Ağırlık γ_s (kN/m ³)	26,30 ⁱ -26,10 ^k
Su emme (%)	6,82 ⁱ -4,06 ^k
Maks. Kuru Birim Hac. Ağ. γ_{kmaks} (kN/m ³)	20,77
Optimum Su İçeriği ω_{opt} (%)	9,7
CBR (%)	99,98

ⁱ İnce Dane, ^k Kaba Dane

Tablo 4’te YYA malzemenin bileşenlerinin literatür ile karşılaştırılması sunulmuştur. Tablo 5’te YYA malzemenin gradasyon özellikleri literatürdeki çalışmalarla kıyaslanmıştır. Çalışma kapsamında ülkemizde depreme dayanıksız olduğu belirlenen bir yapıdan elde edilen YYA’nın bileşenleri ve gradasyon özellikleri literatürdeki farklı ülkelerde yapılmış çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

Tabloda belirtilen RCA: Geri Dönüşümlü Beton Agregası, RAP: Geri Dönüşümlü Asfalt Kaplaması, CB: Geri Dönüşümlü Kil Tuğla Parçaları, CDW: Yapım Yıkım Atığı, Rc: Beton, Beton Ürünleri Parçaları, Rb: Tuğla,

YAPIM YIKIM ATIKLARININ YOL TEMELLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Kagir Birim Parçaları, Fayans, Seramik, Ru: Doğal Agregata, Ra: Bitüm, Rg: Cam, Rs: Zemin, X: Diğer Malzemeleri (Metal, Plastik, Kavuçuk, Kereste vb.) ifade etmektedir.

Tablo 4. YYA malzemenin bileşenlerinin literatür karşılaştırması

Önceki Çalışmalar	Kullanılan Malzemenin İçeriği									
	RCA (%)	RAP (%)	CB (%)	CDW						
				R _c (%)	R _b (%)	R _u (%)	R _a (%)	R _g (%)	R _s (%)	X (%)
[23] (1)	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[23] (2)	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-
[34]	-	-	-	23,8	10,8	33,7	0,5	1,0	17,1	0,1
[13] (1)	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[13] (2)	75	-	25	-	-	-	-	-	-	-
[13] (3)	50	-	50	-	-	-	-	-	-	-
[3] (1)	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[3] (2)	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-
[18]	-	-	-	25,6	29,5	42,0	2,0	0,6	-	0,3
[35]	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[36]	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[36] (2)	85	15	-	-	-	-	-	-	-	-
[36] (3)	70	30	-	-	-	-	-	-	-	-
[36] (4)	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-
[6]	-	-	-	76,0	3,1	20,8	-	-	-	0,1
[37] (1)	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[37] (2)	60	40	-	-	-	-	-	-	-	-
[38]	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[39]	-	-	-	68,0	13,0	17,0	1,9	0,3	-	0,1
[16] (1)	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[16] (2)	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[40]	-	-	-	55,0	-	45,0	-	-	-	-
[21] (1)	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[21] (2)	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-
[41]	75	20	5	-	-	-	-	-	-	-
[42] (1)	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[42] (2)	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mevcut Çalışma	-	-	-	36,33	10,53	52,65	-	0,11	-	0,38

Çalışmada kullanılan YYA malzemenin fiziksel özelliklerini belirlemek için yapılan laboratuvar deneyleri sonrasında elde edilen sonuçların literatürde çalışılan YYA malzemelere göre kıyaslanması Tablo 6’da verilmiştir. YYA malzeme üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı değerleri, Los Angeles aşınma yüzdeleri, birim hacim ağırlık değerleri ve su emme yüzdeleri literatürdeki farklı ülkelerde yapılmış çalışmalar ile karayolu temellerinde dolgu olarak kullanmak için bir alternatif olabileceği belirtilmiş YYA malzemeler ile benzer sonuçlara sahiptir. Ayrıca YYA malzemenin optimum su içeriğindeki CBR değeri %99,98 çıkmıştır. Literatürde özetlenmiş çalışmalardaki YYA’nın CBR değerleri %43 ile %160 arasında değişmektedir ki çalışmamızdaki YYA bu aralık içinde kalmıştır.

Tablo 5. YYA malzemenin gradasyonunun literatür karşılaştırması

Önceki Çalışmalar	Gradasyon Özellikleri					
	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	C _u	C _c	Yassılık İndeksi
[23] (1)	0,11	1,05	7,00	66,67	1,50	-
[23] (2)	1,50	4,00	9,50	6,33	1,12	-
[34]	0,06	0,35	1,40	23,33	1,46	-
[13] (1)	0,45	2,60	8,50	18,85	1,77	-
[13] (2)	0,90	3,20	9,00	10,00	1,26	-
[13] (3)	0,80	3,00	8,50	10,63	1,32	-
[3] (1)	0,24	1,30	7,50	31,25	0,94	11,00
[3] (2)	0,18	1,70	8,00	44,44	2,01	14,00
[18]	0,70	0,90	6,00	85,71	1,93	26,50
[35]	0,10	1,90	10,50	105,00	3,44	-
[36]	0,24	1,40	7,30	30,42	1,12	11,00
[36] (2)	0,36	1,70	7,50	20,83	1,07	37,00
[36] (3)	0,16	2,40	9,00	56,25	4,00	37,90
[36] (4)	0,20	2,70	9,70	48,50	3,76	33,14
[6]	0,22	2,30	9,50	43,18	2,53	8,00
[37] (1)	10,00	11,50	12,50	1,25	1,06	-
[37] (2)	0,80	5,20	10,70	13,38	3,16	-
[38]	0,10	1,40	7,00	70,00	2,80	-
[39]	0,22	1,50	10,75	48,86	0,95	-
[16] (1)	0,15	1,50	7,00	46,67	2,14	-
[16] (2)	0,25	2,20	8,50	34,00	2,28	-
[40]	0,30	2,30	9,00	30,00	1,96	-
[21] (1)	-	-	-	33,30	1,70	-
[21] (2)	-	-	-	46,90	2,70	-
[41]	0,33	2,05	9,90	30,00	1,29	12,00
[42] (1)	0,40	4,30	9,50	23,75	4,87	-
[42] (2)	0,20	0,80	5,00	25,00	0,64	-
Mevcut Çalışma	0,24	1,60	10,05	41,87	1,06	11,68

Ayrıca yapılan deneyler sonucunda YYA malzemesinin karayolu temel/alttemellerinde kullanılabilirliği Karayolları Teknik Şartnamesine göre incelenmiş ve YYA malzemesinin yassılık indeksi, Los Angeles Aşınma yüzdesi ve CBR değerlerinin uygun olduğu, su emme yüzdesinin ise biraz yüksek olduğu görülmüştür [43]. Su emme yüzdesinin azaltmak için su emmesi nispeten yüksek olan ince YYA malzemesi yerine su emmesi düşük olan doğal ince bir malzeme kullanılabilir [18].

4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında ülkemizdeki kentsel dönüşüm projesi kapsamında depreme dayanıksız olduğu belirlenen yapıdan alınan yıkıntı atıklarının geri dönüştürülerek karayolu dolgularında kullanılabilmesi durumu yapılan laboratuvar deneyleri ile (elek analizi, yassılık indeksi, Los Angeles, modifiye kompaksiyon ve CBR) incelenmiştir. Bu kapsamda alınan YYA önce zararlı metallere arındırılmış, uygun gradasyona getirilmiş, içerdiği farklı malzemelerin oranı saptanmıştır. Daha sonra laboratuvar deneyleri yapılarak atıkların fiziksel ve geoteknik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar farklı ülkelerde yapılan çalışmalarda alınan sonuçlar ile karşılaştırılarak ülkemizdeki atıkların dünyadaki atıklara benzerlikleri incelenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

YAPIM YIKIM ATIKLARININ YOL TEMELLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Tablo 6. YYA malzemenin fiziksel özelliklerinin literatür ile karşılaştırması

Önceki Çalışmalar	Fiziksel Özellikleri					
	γ_{kmax} (kN/m ³)	(ω_{opt}) (%)	PI	(γ_s) (kN/m ³)	LA Aşınma (%)	Su Emme (%)
[23] (1)	18,40	13,71	-	-	-	-
[23] (2)	18,90	10,53	-	-	-	-
[34]	-	-	-	-	-	-
[13] (1)	20,20	11,80	-	-	-	-
[13] (2)	19,70	12,70	-	-	-	-
[13] (3)	18,20	16,00	-	-	-	-
[3] (1)	19,13	11,00	-	27,10 ^k -26,00 ⁱ	44,00	4,70 ^k -9,80 ⁱ
[3] (2)	19,73	11,25	-	26,20 ^k -25,80 ⁱ	41,00	6,20 ^k -6,90 ⁱ
[18]	19,20	12,00	N.P.	25,70	37,00	7,72
[35]	22,10	9,00	-	25,27	32,90	1,43
[36]	19,60	12,00	-	27,60 ^k -26,50 ⁱ	28,00	4,66 ^k -9,75 ⁱ
[36] (2)	19,50	12,20	-	29,00 ^k -25,00 ⁱ	39,00	8,40 ^k -18,60 ⁱ
[36] (3)	19,40	12,00	-	21,50 ^k -18,00 ⁱ	36,00	5,72 ^k -7,40 ⁱ
[36] (4)	20,30	11,50	-	21,90 ^k -16,70 ⁱ	33,00	6,00 ^k -8,13 ⁱ
[6]	18,80	11,60	N.P.	21,38	34,00	8,80
[37] (1)	-	-	-	-	33,50	-
[37] (2)	-	-	-	-	31,00	-
[38]	20,38	11,75	N.P.	-	28,00	-
[39]			N.P.	-	-	-
[16] (1)	19,20	11,50	2,00	26,00	39,00	8,90
[16] (2)	19,90	11,00	1,00	25,50	37,00	5,50
[40]	22,30	5,60	N.P.	-	38,00	4,72
[21] (1)	19,60	12,00	-	27,10 ^k -26,00 ⁱ	28,00	4,70 ^k -9,80 ⁱ
[21] (2)	20,20	10,70	-	26,20 ^k -25,80 ⁱ	36,00	6,20 ^k -6,90 ⁱ
[41]	20,50	9,50	N.P.	-	34,00	-
[42] (1)	18,30	9,70	N.P.	-	31,00	5,20
[42] (2)	20,20	10,60	N.P.	-	17,00	6,50
Mevcut Çalışma	20,77	9,70	-	26,30ⁱ-20,10^k	33,58	4,06^k-6,82ⁱ

^kKaba Dane, ⁱİnce Dane

- Temin edilen YYA malzemenin içerisinde %36,33 Beton R_c, %10,33 tuğla R_b, %52,53 agrega R_u, %0,11 cam R_g, ve diğer malzemeler (metaller, yüzmeyen ahşap, plastik, kavuçuk, alçı) bulunduğu belirlenmiştir. Literatürde mevcut YYA'nın geri dönüştürülerek kullanıldığı çalışmalarda malzemenin bileşenlerinin benzer oranlarda olduğu görülmüştür. Ayrıca YYA malzemenin içerisindeki yüzen parçacıklar FL (cm³/kg) % 0,07 olarak bulunmuştur.
- Yassılık indeksi deney sonuçlarına göre YYA malzemenin yassılık indeksi %11,68 çıkmıştır. Malzemenin içindeki tuğla (R_b) ve cam (R_g) parçalarının beton (R_c) ve agrega (R_u) parçalarına göre daha yassı danelerden oluştuğu görülmüştür.
- YYA malzemenin aşınma durumunu belirlemek için Los Angeles deneyi ve kompaksiyon öncesi ve sonrası elek analizleri yapılmıştır. YYA malzemenin aşınması %33,58 çıkmıştır. YYA malzemesinin içindeki tuğla parçalarının diğer parçalara göre daha çok aşındığı görülmüştür. Ayrıca YYA malzemenin kompaksiyon öncesi ve sonrası gradasyon değişimlerine bakıldığında çok aşırı bir farklılık görülmemiştir.
- YYA malzemenin dane birim hacim ağırlığı (γ_s) ince danelerde 26,30 kN/m³, kaba danelerde 26,10 kN/m³, su emmesi ise ince danelerde %6,82 kaba daneler için %4,06 çıkmıştır. Malzemenin içerisindeki çimento bazlı danelerin diğer danelere göre su emmesinin yüksek olduğu düşünülmektedir.
- Kompaksiyon deney sonucuna göre YYA malzemenin optimum su içeriği %9,7 çıkmıştır. Optimum su içeriği üzerinde, malzemenin yüksek su emme yüzdesinin de etkili olduğu düşünülmektedir. Benzer sonuçlar farklı ülkelerde yapılan çalışmalarda da mevcuttur. Bu malzemedan optimum su içeriğinde dolgu

B. OK, A. DEMİR

inşa ederken gerekli olacak su ihtiyacını azaltmak için su emmesi %6,82 olan ince malzeme yerine su emmesi düşük olan doğal ince bir malzeme kullanılabilir [18].

- YYA malzemenin optimum su içeriğindeki CBR değeri %99,98 çıkmıştır. Bu değer farklı ülkelerde yapılan çalışmalarda elde edilen CBR değerlerine yakındır.
- Ülkemizde depreme dayanıksız olduğu belirlenen bir yapıdan elde edilen YYA malzemenin, farklı ülkelerde yapılmış çalışmalar ile karayolu temellerinde dolgu olarak kullanmak için bir alternatif olabileceği belirtilen YYA malzemeler ile benzer sonuçlara sahip olduğu görülmüştür. Bu sebeple ülkemizdeki yapılardan elde edilecek YYA malzemelerinin de geri dönüştürülerek karayolu dolgularında doğal malzemelere alternatif olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir.
- Elde edilen sonuçlarda YYA malzemeyi oluşturan bileşenlerin yüzdelerinin önemli olduğu bu yüzdelerin değişmesi fiziksel ve mekanik özelliklerin farklılık gösterebileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca atıkların alındığı betonarme yapının betonunun basınç mukavemetlerinin de sonuçları etkileyeceği düşünülmektedir. Bu sebeple yazarlar, herhangi bir yapıdan alınacak atık malzemeleri geri dönüştürülerek dolgularda kullanmadan önce üzerinde bir takım laboratuvar deneylerinin yapılmasını önermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] ARULRAJAH, A., PIRATHEEPAN, J., ATHEESAN, T., BO, M.W., “Geotechnical Properties of Recycled Crushed Brick in Pavement Applications”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(10), 1444–1452, 2011.
- [2] VIERIA, C.S., PEREIRA P.M., “Use of Recycled Construction and Demolition Materials in Geotechnical Applications: A Review Resources”, *Conservation and Recycling*, 103, 192–204, 2015b.
- [3] ARULRAJAH, A., PIRATHEEPAN, J., DISFANI M.M., BO M.W., “Geotechnical and Geoenvironmental Properties of Recycled Construction and Demolition Materials in Pavement Subbase Applications”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(8), 1077-1088, 2013a.
- [4] RAHMAN, M.A., ARULRAJAH, A., PIRATHEEPAN, J., BO, M.W., IMETEAZ M.A., “Resilient Modulus and Permanent Deformation Responses of Geogrid-Reinforced Construction and Demolition Materials”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(3), 512-519, 2014.
- [5] RAHMAN, M.A., IMTEAZ, M.A., ARULRAJAH, A., PIRATHEEPAN, J., DISFANI, M.M., “Recycled Construction and Demolition Materials in Permeable Pavement Systems: Geotechnical and Hydraulic Characteristics”, *Journal of Cleaner Production*, 90, 183–94, 2015.
- [6] JIMENEZ, J.R., AYUSO, J., AGRELA, F., LOPEZ, M., GALVIN, A.P., “Utilisation of Unbound Recycled Aggregates From Selected CDW in Unpaved Rural Roads”, *Resources, Conservation and Recycling*, 58, 88– 97, 2012.
- [7] O’MAHONY, M.M., MILLIGAN, G.W.E., “Use of Recycled Materials in Subbase Layers”, *Transp. Res. Rec.* 1310, 73–80, 1991.
- [8] BENNERT, T., PAPP, W., MAHER, A., GUCUNSKI, N., “Utilization of Construction and Demolition Debris under Traffic-Type Loading in Base and Subbase Applications Transport”, *Res. Rec.: J. Transp. Res. Board*, 1714, 33–39, 2000.
- [9] CHINI, A., KUO, S., ARMAGHANI, J., DUXBURY, J., “Test of Recycled Concrete Aggregate in Accelerated Test Track”, *Journal of Transportation Engineering*, 127, 486–492, 2001.
- [10] NATAATMADJA, A., TAN, Y., “Resilient Response of Recycled Concrete Road Aggregates”, *Journal of Transportation Engineering*, 127, 450–453, 2001.
- [11] MOLENAAR, A., VAN NIEKERK, A., “Effects of Gradation, Composition, and Degree of Compaction on the Mechanical Characteristics of Recycled Unbound Materials”, *Transp. Res. Rec.: J. Transp. Res. Board* 1787, 73–82, 2002.
- [12] SIVAKUMAR, V., MC KINLEY, J.D., FERGUSON, D., “Reuse of Construction Waste: Performance Under Repeated Loading”, *Proceedings of ICE - Geotechnical Engineering*, 157(2), 91–96, 2004.
- [13] POON, C.S., CHAN, D., “Feasible Use of Recycled Concrete Aggregates and Crushed Clay Brick as Unbound Road Sub-base”, *Construction and Building Materials*, 20, 578–585, 2006.
- [14] SANTOS, E.C.G., VILAR, O.M., “Use of Recycled Construction and Demolition Wastes (RCDW) as Backfill of Reinforced Soil Structures”, In: *Proceedings of the Fourth European Geosynthetics Conference, EUROGEO 4*, Paper No. 1992008, Edinburg, Scotland, 2008.
- [15] LEITE, F.C., MOTTA, R.S., VASCONCELOS, K.L., BERMUCCI, L., “Laboratory Evaluation of Recycled Construction and Demolition Waste for Pavements”, *Construction and Building Materials*, 25, 2972–2979, 2011.

YAPIM YIKIM ATIKLARININ YOL TEMELLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

- [16] GABR A R., CAMERON, D.A., “Properties of Recycled Concrete Aggregate for Unbound Pavement Construction”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24(6), 754-764, 2012.
- [17] BARBUDO, A., AGRELA, F., AYUSO, J., JIMENEZ, J.R., POON, C.S., “Statistical Analysis of Recycled Aggregates Derived from Different Sources for Sub-base Applications”, *Construction and Building Materials*, 28, 129–138, 2012.
- [18] CERNI G., CARDONE F., BOCCI M., “Permanent Deformation Behaviour of Unbound Recycled Mixtures”, *Construction and Building Materials*, 37, 573-580, 2012.
- [19] ARULRAJAH, A., RAHMAN, M.A., PIRATHEEPAN, J., BO, M.W., IMTEAZ, M.A., “Interface Shear Strength Testing of Geogrid-Reinforced Construction and Demolition Materials”, *Advances in Civil Engineering Materials*, 2(1), 189–200, 2013b.
- [20] ARULRAJAH, A., RAHMAN, M.A., PIRATHEEPAN, J., BO, M.W., IMTEAZ, M.A., “Evaluation of Interface Shear Strength Properties of Geogrid-Reinforced Construction and Demolition Materials Using a Modified Large Scale Direct Shear Testing Apparatus”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26, 974–982, 2014b.
- [21] ARULRAJAH, A., DISFANI M.M., HORPIBULSUK, S., SUKSIRIPATTANAPONG, C., PRONGMANEE N., “Physical Properties and Shear Strength Responses of Recycled Construction and Demolition Materials in Unbound Pavement Base/subbase Applications”, *Construction and Building Materials*, 58, 245–257, 2014c.
- [22] DISFANI, M. M., ARULRAJAH, A., BO, M. W., HANKOUR, R., “Recycled Crushed Glass in Road Work Applications”, *Waste Management*, 31(11), 2341–2351, 2011.
- [23] AYAN V., LIMBACHIYA, M.C., OMER J.R., AZADANI S.M.N., “Compaction Assessment of Recycled Aggregates for Use in Unbound Subbase Application”, *Journal of Civil Engineering and Management*, 20(2), 169-174, 2014.
- [24] ASTM D 422-63, “Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils”. West Conshohocken, U.S.A., 2009.
- [25] ASTM D 1241-07, “Standard Specification for Materials for Soil-Aggregate Subbase, Base, and Surface Courses”. West Conshohocken, U.S.A., 2007.
- [26] TS 1500, “İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması”, Ankara, Türkiye, 2000.
- [27] BS EN 933-11, “Tests for Geometrical Properties of Aggregates Part 11: Classification Test for the Constituents of Coarse Recycled Aggregate”. London, U.K., 2009.
- [28] ASTM C 127 – 01, “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate” West Conshohocken, U.S.A., 2001.
- [29] ASTM C 128 – 01, “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate” West Conshohocken, U.S.A., 2001.
- [30] TS 9582 EN 933-3, “Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 3: Tane Şekli Tayini-Yassılık Endeksi”, Ankara, Türkiye, 1999.
- [31] ASTM C 131–03, “Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine”. West Conshohocken, U.S.A., 2003.
- [32] ASTM D 1557, “Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort”. West Conshohocken, U.S.A., 2012.
- [33] ASTM D 1883–99, “Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils”. West Conshohocken, U.S.A., 1999.
- [34] VIERIA, C.S., PEREIRA, P.M., “Damage induced by recycled Construction and Demolition Wastes on the Short-Term Tensile Behaviour of two Geosynthetics”, *Transportation Geotechnics*, 4, 64-75, 2015a.
- [35] PARK, T., “Application of Construction and Building Debris as Base and Subbase Materials in Rigid Pavement”, *Journal of Transportation Engineering*, 129, 558–563, 2003.
- [36] ARULRAJAH, A., PIRATHEEPAN, J., DISFANI, M.M., “Reclaimed Asphalt Pavement and Recycled Concrete Aggregate Blends in Pavement Subbases: Laboratory and Field Evaluation”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(2), 349-357, 2014a.
- [37] KAZMEE H., TUTUMLUER E., “Evaluation of Aggregate Subgrade Materials Used as Pavement Subgrade/Granular Subbase”, Illinois Center for Transportation. Research Report FHWA-ICT-15-013, 2015.
- [38] DISFANI, M.M., ARULRAJAH, A., HAGHIGHI, H., MOHAMMADINIA, A., HORPIBULSUK, S., “Flexural Beam Fatigue Strength Evaluation of Crushed Brick as a Supplementary Material in Cement Stabilized Recycled Concrete Aggregates”, *Construction and Building Materials*, 68, 667–676, 2014.
- [39] NEVES, J., FREIRE, A.C., ROQUE, A.J., MARTINS, I., ANTUNES, M.L., FARIA, G., “Utilization of Recycled Materials in Unbound Granular Layers Validated by Experimental Test Sections”, In: Ninth

B. OK, A. DEMİR

- International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields, Trondheim, Norway, 2013.
- [40] PEREZ P., AGRELA F., HERRADOR R., ORDONEZ J., “Application of Cement-Treated Recycled Materials in the Construction of a Section of Road in Malaga, Spain”, *Construction and Building Materials*, 44, 593–599, 2013.
- [41] HERRADOR, R., PEREZ, P., GARACH, L., ORDONEZ, J., “Use of Recycled Construction and Demolition Waste Aggregate for Road Course Surfacing”, *Journal of Transportation Engineering*, 138(2), 182–190, 2012.
- [42] BLANKENAGEL B.J., “Characterization of Recycled Concrete for Use as Pavement Base Material”, Brigham Young University, Department of Civil and Environmental Engineering, Master of Science, 66s, 2005.
- [43] KARAYOLLARI TEKNİK ŞARTNAMESİ “Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler”, Ankara, Türkiye, 2013.