



Experimentally investigating the usability of waste interlocking concrete paver in the plant-mix base layer

Burak Kılıç*^{ID}, Perihan Biçer^{ID}

Department of Civil Engineering, Corlu Faculty of Engineering, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, 59850, Turkey

Highlights:

- Reduction of construction and demolition waste
- Waste interlocking concrete paver as an alternative material to natural aggregate
- Determination of mechanical and physical properties of waste interlocking concrete paver

Keywords:

- Construction and demolition waste
- Plant-mix base
- Waste interlocking concrete paver
- Natural aggregate

Article Info:

Research Article
Received: 16.05.2021
Accepted: 25.09.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.937944

Correspondence:

Author: Burak Kılıç
e-mail: muhburakkilic@gmail.com
phone: +90 282 250 2319

Graphical/Tabular Abstract

In the study, water absorption test, Los Angeles abrasion test, clay lumps and friable particles test, organic content test, flakiness index test, plastic limit test, methylene blue test and freeze thaw test were carried out in order to determine the physical properties of the materials. The results of the tests carried out were compared with the specification limit. As a result of the comparison, it was determined that the water absorption and abrasion values of the waste interlocking concrete paver did not meet the specification limit.

Table A. Physical properties of materials

Experiment	Natural Aggregate	Waste Interlocking Concrete Paver	Specification Limit
Water absorption, %	1,1	6,52	≤ 3
Los Angeles abrasion, %	10,84	35,79	≤ 35
Clay lumps and friable particles, %	0,37	0,27	≤ 1
Organic content	Negative	Negative	Negative
Flakiness index, %	21,06	23,22	≤ 30
Plastic limit	NP	NP	NP
Methylene blue test , g/kg	4,5	1,5	≤ 4,5
Freeze thaw test, %	11,64	18,75	≤ 20

Purpose: The aim of this study is to determine the mechanical and physical properties of waste interlocking concrete paver, which is a construction and demolition material, and to investigate its use as an alternative material to natural aggregate in the plant-mix base layer.

Theory and Methods: In this study, the gradation was determined according to the plant-mix base layer type 1 specified in the Turkey Highway Technical Specification 2013, and the base design was made to remain within these gradation limits. For the designed plant-mix base layer; in order to determine the physical and mechanical properties of the natural aggregate and waste interlocking concrete paver samples to be used alone and the mixture samples obtained by mixing these materials in certain proportions, the tests specified in the Turkey Highway Technical Specification were carried out. The obtained results have been compared with the limit values in the Turkey Highways Technical Specification 2013 and the test results obtained from natural aggregate samples.

Results: When the experimental results were examined, it was determined that the water absorption and abrasion values of the waste interlocking concrete paver material were higher than the natural aggregate material and that it did not meet the specification limit. However, in the other test results, the waste interlocking concrete paver material met the specification limits.

Conclusion: As a result, it has been determined that the foundation layers formed by mixing the waste interlocking concrete paver material or natural aggregate in certain proportions alone can be alternative to the foundation layers formed by using natural aggregate. Thus, it can contribute to the economy by reusing the waste interlocking concrete paver in the storage areas and most importantly to the protection of the environment.



Atık parke taşı malzemesinin plent-miks temel tabakasında kullanımının deneysel olarak incelenmesi

Burak Kılıç*^{ID}, Perihan Biçer^{ID}

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- İnşaat ve yıkıntı atıklarının azaltılması
- Doğal agregaya alternatif bir malzeme olarak atık parke taşı kullanımı
- Atık parke taşı malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 16.05.2021

Kabul: 25.09.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.937944

Anahtar Kelimeler:

İnşaat ve yıkıntı atığı,
atık parke taşı,
doğal agregaya,
plent-miks temel tabakası

ÖZ

Son yıllarda inşaat sektöründe yaşanan büyüme nedeniyle özellikle doğal agregalara olan ihtiyaç artış göstermiştir. Bu ihtiyaç artışı nedeniyle doğal agregaya alternatif malzeme arayışına başlanmıştır. Bu malzemelerin başında inşaat ve yıkım faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan inşaat ve yıkıntı atıkları yer almaktadır. İnşaat ve yıkıntı atıkları genellikle beton, tuğla, çelik, asfalt gibi malzemelerden oluşmaktadır. Bu atıkların geri dönüşümünün sağlanarak yeniden kullanımı doğal agregaların tüketiminin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında, depolama tesisinden elde edilen atık parke taşının (APT) doğal agregaya (DA) yerine karayolu plent-miks temel tabakasında kullanılabilirliği incelenmiştir. Çalışmada Karayolu Teknik Şartnamesinde 2013'de (KTŞ 2013) belirtilen plent-miks temel tabakası tip 1'e göre gradasyon belirlenmiş ve temel tasarımı bu gradasyon limitlerinde kalınacak şekilde yapılmıştır. Tasarımı yapılan plent-miks temel tabakası için tek başına kullanılacak olan DA ve APT numunelerinin ve bu malzemelerin belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen karışım numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için KTŞ 2013'de belirtilen deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, KTŞ 2013'de yer alan limit değerleri ve doğal agregaya numunelerinden elde edilen deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde, APT malzemesine ait su emme ve aşınma değerinin DA malzemesine göre daha yüksek olduğu ve şartname limitini sağlamadığı belirlenmiştir. Ancak diğer deney sonuçlarında APT malzemesi şartname limitlerini sağlamıştır.

Experimentally investigating the usability of waste interlocking concrete paver in the plant-mix base layer

H I G H L I G H T S

- Reduction of construction and demolition waste
- Waste interlocking concrete paver as an alternative material to natural aggregate
- Determination of mechanical and physical properties of waste interlocking concrete paver

Article Info

Research Article

Received: 16.05.2021

Accepted: 25.09.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.937944

Keywords:

Construction and demolition
waste,
plant-mix base,
waste interlocking concrete
paver,
natural aggregate

ABSTRACT

Due to the growth in the construction industry in recent years, the need for natural aggregates has increased. Due to this increase in need, the search for alternative materials to natural aggregate has begun. Construction and demolition wastes generated as a result of construction and demolition activities are among these materials. Construction and demolition wastes generally consist of materials such as concrete, brick, steel and asphalt. The recycling and reuse of these wastes is of great importance in terms of reducing the consumption of natural aggregates. Within the scope of this study, the usability of waste interlocking concrete paver (ICP) obtained from the storage facility in the plant-mix base layer instead of natural aggregate (NA) was examined. In this study, the gradation was determined according to the plant-mix base layer type 1 specified in the Turkey Highway Technical Specification 2013 (THTS 2013), and the base design was made to remain within these gradation limits. For the designed plant-mix base layer; in order to determine the physical and mechanical properties of the DA and APT samples to be used alone and the mixture samples obtained by mixing these materials in certain proportions, the tests specified in the THTS 2013 were carried out. The obtained results have been compared with the limit values in the THTS 2013 and the test results obtained from natural aggregate samples. When the experimental results were examined, it was determined that the water absorption and abrasion values of the ICP material were higher than the NA material and it did not meet the specification limit. However, in the other test results, the ICP material met the specification limits.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde, nüfus artışı ile birlikte artan konut ve altyapı ihtiyacını karşılamak için doğal agregalara olan ihtiyaç giderek artmış ve önemli seviyelere ulaşmıştır. Mevcut doğal agrega kaynaklarının hızla tüketilmesi sonucunda kaynaklar azalmaktadır. Azalan bu kaynakların yerine yeni kaynakların bulunması ve işletilmesi hem çevresel hem de ekonomik olarak birçok problemi beraberinde getirmektedir. Bu nedenle doğal agregaya alternatif malzeme bulma çalışmaları hız kazanmıştır. Doğal agregaya alternatif olabilecek malzemelerin başında inşaat ve yıkıntı atıkları yer almaktadır. Geri dönüştürülmüş atıklardan biri olan inşaat ve yıkıntı atıkları genellikle yapıların ve diğer altyapıların inşaatı, yeniden inşası, genişletilmesi, bakımı ve yıkım faaliyetlerinden oluşan atıklar olarak tanımlanmaktadır. Bu atıklar, farklı tipte malzemelerden oluşur ve bir inşaat ya da altyapının parçası olan herhangi bir malzemeyi ve inşaat çalışmaları sırasında kullanılan diğer malzemeleri içerebilen heterojen bir atıktır. Bu malzemeler; beton, tuğla, fayans, seramik, ahşap, cam, plastik, bitümlü karışımlar, metaller vb. atıklardır [1]. Önceki çalışmalar incelendiğinde, inşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüşümünden elde edilen malzemelerden olan geri dönüştürülmüş beton agrega (RCA), geri dönüştürülmüş asfalt kaplama (RAP) ve kırılmış tuğlanın (CB) genel olarak karayolu temel ve alttemelleri için kullanımının uygun olup olmadığının belirlenmesi için laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Bennert vd. [2], RCA ve RAP kullanarak, karayollarında kullanılan doğal agrega ile karşılaştırılmasını yapmak için bu malzemeleri ayrı ayrı ve belli oranlarda karıştırarak bir dizi laboratuvar deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirdikleri çalışma sonucunda, bölgelerinde kullanılan doğal malzemenin %75'i ile %25 RCA karışımının veya bölgelerinde kullanılan doğal malzemenin %75'i ile %25 RAP karışımının kalıcı deformasyon özelliklerinin, doğal malzemeyi yakaladığını ve bu atıkların karayolu dolgularında kullanılmasının uygun olacağını belirtmişlerdir. Aattheesan vd. [3], yaptıkları çalışmada çeşitli oranlarda bazalt agregası ve CB karışımlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda, %30'a kadar CB'nin yol alttemel uygulamalarında güvenle eklenebileceğini ifade etmişlerdir. Arulrajah vd. [4], çalışmalarında CB'yi kırmataş ve RCA ile karıştırarak, bir dizi laboratuvar deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmalarında, dane büyüklüğü dağılımı, dane yoğunluğu, modifiye proktor deneyi, su emme deneyi, CBR, Los Angeles aşınma kaybı, tekrarlı üç eksenli deneyleri, pH ve organik içerik gibi deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, RCA ve kırmataşın %25 CB'ye kadar yol alttemel uygulamalarında güvenle karıştırılabilir olduğunu göstermiştir. Edil [5], yaptığı çalışmada karayolu temel tabakası inşaatı için, RAP ve RCA kullanımını kapsamlı deneyler yaparak incelemiştir. Çalışmanın sonucu olarak, RCA ve RAP'ın rijitlik, donma-çözünme ve ıslak-kuru dayanıklılık, sağlamlık açısından doğal agregalara eşit veya üstün performans gösterdiklerini belirtmiştir. Ayrıca RCA ve RAP'ın bağlayıcısız temel tabakalarında kullanım için uygun bir malzeme olabileceğini

göstermiştir. Önceki çalışmalar incelendiğinde, inşaat ve yıkıntı atık malzemeleri tek başlarına veya farklı oranlarda karıştırılarak kullanılmış aynı zamanda bazı çalışmalarda bölgelerinde doğal agrega olarak kullanılan malzemeler ile karşılaştırılması yapılarak bu tür atıkların kullanımının uygun olup olmadığı belirlenmiştir. Önceki çalışmaların sonucu olarak, inşaat ve yıkıntı atıklarının temel veya alttemel olarak kullanılmasının bazı şartlar göz önünde bulundurularak mümkün olacağı belirtilmiştir.

Bu çalışmada, KTSŞ 2013'e [6] göre tasarımı yapılan plent-miks temel tabakasında kullanılmak üzere doğal agrega (DA) ve inşaat ve yıkıntı atığı olarak atık parke taşı (APT) temin edilmiştir. Bu malzemelerin tek başına ve APT malzemesinin DA içerisine belirli oranlarda karıştırılarak elde edilen karışımların plent-miks temel tabakası için uygunluğunun kontrolü için, malzemeler üzerinde fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerin sonuçları, doğal agrega üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçları ve şartname limitleri ile karşılaştırılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Çalışmada, inşaat ve yıkıntı atığı olarak plent-miks temel tabakasında kullanımının incelenmesi için atık parke taşı (APT) kullanılmıştır. Beton parke taşları çimento, agrega, su ve bazı katkı maddelerinin belirli oranlarda karıştırılması ile makine vasıtasıyla üretimi yapılan yapı elemanlarıdır. Fabrikalarda üretimi yapılan parke taşları belirli standartlarda, çeşitli şekil ve boyutlarda üretilmektedir. Beton parke taşları genel olarak ağır taşıt trafiğinin olmadığı şehir içi yollarda, kaldırımlarda kullanılmaktadır. Ancak yoğun trafiğe maruz kalan parke taşlarında zamanla deformasyonlar görülmektedir. Deforme olmuş parke taşları yerine yeni parke taşları yerleştirilmektedir. Atık olarak ortaya çıkan parke taşları atık depolama alanlarında depolanmaktadır. Beton parke taşlarının %75'i agrega olduğu düşünüldüğünde bu yapı malzemesinin yeniden değerlendirilmesi hem ekonomik hem de çevre açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle çalışmada geri dönüştürülmüş beton agregası (RCA) olarak atık parke taşı (APT) kullanılmıştır.

Çalışmada, Şekil 1'de gösterilen 80 mm kalınlığında ve "I" şeklindeki atık parke taşı Tekirdağ Büyükşehir Belediyesi Çorlu şantiyesi ve Çorlu Belediyesinin Fen İşleri Müdürlüğünde atık olarak depolanan parke taşlarından temin edilerek konkasör yardımıyla kırımı gerçekleştirilmiştir. Konkasörde kırımı yapılan atık parke taşları çeşitli ele gruplarına ayrılarak, kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Çalışmada, plent-miks temel tabakası için atık parke taşının (APT) uygunluğunun kontrol edilebilmesi için doğal agrega (DA) kullanılmıştır. Kullanılan doğal agrega doğada en yaygın olarak bulunan ve volkanik bir kayaç olan bazalt agregasıdır. Çorlu bölgesinden kırma taş tozu (0-5 mm), mıcır 1 (5-12 mm), mıcır 2 (12-19 mm), mıcır 3 (19-37,5

mm) olmak üzere Şekil 2’de gösterildiği gibi dört elek grubu şeklinde temin edilmiştir.



Şekil 1. Atık parke taşı (Waste interlocking concrete paver)

Deneysel çalışmaların yapılabilmesi için KTŞ 2013’e göre plent-miks temel tabakası tasarımı yapılmıştır. Plent-miks temel tabakası kırılmış çakıl, kırılmış çüruf, kırma taş ve ince malzeme kullanılarak şartnamede belirtilen gradasyon limitleri içerisinde sürekli gradasyon verecek şekilde kaba ve ince olmak üzere en az üç ayrı dane boyutu grubunun uygun oranda su ile plentte karıştırılmasıyla hazırlanan temel tabakasıdır [6]. Bu nedenle tasarım için farklı elek gruplarından temin edilen doğal agreganın dane boyutu dağılımı elde edilmiştir. Şekil 3’de ise elde edilen granülometri eğrisi gösterilmiştir. Doğal agreganın için tasarımı yapılan plent-miks temel karışım gradasyonu, APT ve karışım numuneleri için de kullanılmıştır.

2.1. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler (Experiments to Determine Physical Characteristic)

Karayolu plent-miks temel tabakasında kullanılacak olan DA ve APT için bir dizi deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ilk olarak; malzemelerin

fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için %100 DA ve %100 APT kullanılarak plent-miks temel tabakası numuneleri oluşturulmuştur. Oluşturulan numuneler üzerinde Karayolu teknik şartnamesine uygun olarak; su emme ve özgül ağırlık deneyi (TS EN 1097-6) [7], Los Angeles aşınma deneyi (TS EN 1097-2) [8], yassılık indeksi deneyi (BS 812) [9], organik madde içeriğinin tayini (TS EN 1744-1) [10], kil toprakları ve dağılabilen dane oranı tayini (ASTM C142) [11], hava tesirine karşı dayanıklılık deneyi (TS EN 1367-2) [12], likit limit ve plastik limit deneyi (TS 1900-1) [13], metilen mavisi deneyi (TS EN 933-9) [14] gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada ayrıca doğal agreganın ve atık parke taşının birbirleriyle belirli oranlarda karıştırılması sonucunda elde edilen karışım numunelerinin su emme oranları elde edilmiş ve KTŞ 2013 şartname limitleri ve literatürde geri dönüşümlü beton agregası (RCA) üzerinde elde edilen su emme değerleri ile karşılaştırılmıştır.

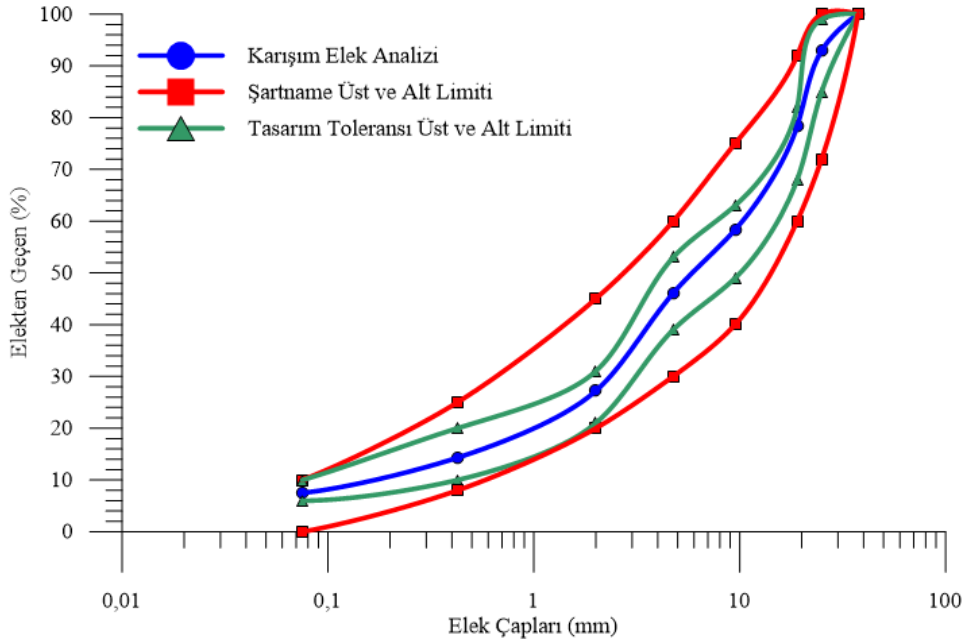
2.2. Modifiye Proktor Deneyi ve Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deneyi (Modified Proctor and California Bearing Ratio)

KTŞ 2013’de belirtilen ve Şekil 3’de verilen plent-miks temel tip-1 gradasyon tasarımına uygun olarak %100 doğal agreganın (DA) ve %100 atık parke taşının (APT) yanı sıra DA’nın içerisine %85, %75, %50, %25, %15 oranlarında APT katılarak numuneler hazırlanmış ve malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için numuneler üzerinde modifiye proktor (TS 1900-1), Kaliforniya taşıma oranı (CBR) (AASHTO T 193) [15] gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada DA, APT ve DA’nın içerisine %85, %75, %50, %25, %15 oranlarında APT katılarak oluşturulan karışımların, optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığının bulunması için 5 tabaka halinde ve her bir tabakaya 45 cm yükseklikten 4,5 kg tokmak ile 56 vuruş olacak şekilde modifiye proktor deneyi uygulanmıştır. Modifiye proktor deneyi sonucunda her bir numune için kuru birim hacim-su muhtevası grafikleri elde edilmiştir. Grafikler üzerinden optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları okunmuştur. CBR deneyinin yapımında her bir karışım için 2 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler, modifiye proktor deneyi ile elde edilen optimum su muhtevaları kullanılarak sıkıştırılmıştır.



Şekil 2. (a) kırmataş tozu (0-5 mm), (b) micır 1 (5-12 mm), (c) micır 2 (12-19 mm), (d) micır 3 (19-37,5 mm)
(a) crushed stone dust (0-5 mm), (b) crushed stone 1 (5-12 mm), (c) crushed stone 2 (12-19 mm), (d) crushed stone 3 (19-37.5 mm))



Şekil 3. Plent-miks temel tabakası granülometri eğrisi (Particle-size distribution curve of plant-miks base layer)

Ayrıca modifiye proktor sıklığında elde edilen numunelerin su muhtevalarının ve sıkışma yüzdelерinin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırma yapıldıktan sonra numuneler üzerine, arazide zeminin üzerine gelecek yükü temsil eden 4,5 kg'dan az olmayacak şekilde ağırlık yerleştirilerek, numuneler Şekil 4'de gösterildiği gibi kür havuzunda 4 gün boyunca su içerisinde bekletilmiştir. Bu süre zarfında şişme olup olmadığı kontrol edilmiştir. 4. günün sonunda sudan çıkarılan numuneler, CBR deney aletine yerleştirilerek üzerlerine ağırlık ve 4,95 cm çaplı piston yerleştirilmiştir. Piston 1,25 mm/dk hızla numuneye batarak belirli penetrasyon miktarlarındaki yük okunmuştur. Elde edilen değerler ile yük-penetrasyon eğrisi elde edilmiştir. Elde edilen eğriler üzerinde gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Düzeltmeler sonucunda 2,5 mm ve 5,0 mm penetrasyon değerlerine karşılık gelen CBR değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4. Suda bekletilen CBR numuneleri (CBR samples soaked in water)

2.3. Esneklik Modülü Deneyi (Resilient Modulus Test)

Karayolu tabakalarının trafik yükü altında davranışının tam olarak bilinebilmesi için karayolu tabakalarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu durum karayolu tabakalarının tasarımının doğru olarak yapılmasına ve karayolu tabakalarının performansında önemli etkilere sahiptir. Tabakalara aktarılan gerilme, hareketli tekerlek yükü nedeniyle oldukça karmaşıktır. Bağlayıcı bulunmayan tabakalarda, düşey ve yatay gerilmeler pozitifdir, kayma gerilmesi ise yük geçerken ters çevrilmekte ve böylece ana gerilme eksenlerinin dönmesine neden olur. Trafik yükü altındaki karayolu tabakalarının deformasyon tepkileri, esnek ve kalıcı deformasyon olmaktadır [16].

Tasarımı yapılan plent-miks temel tabakası için hazırlanan %100 doğal agrega ve %100 atık parke taşı bulunan numunelerin yanı sıra doğal agreganın içerisine %85, %75, %50, %25 atık parke taşı katılarak oluşturulan toplam 6 adet numune üzerinde Karayolları Genel Müdürlüğü'nün zemin mekaniği laboratuvarında esneklik modülü deneyi gerçekleştirilmiştir. Esneklik modülü değerinin belirlenmesi için AASHTO T 307 [17] standardı kullanılmıştır. AASHTO T 307 standardına göre taban zemini ve temel/alttemel malzemeleri için farklı prosedürler uygulanmaktadır. Bu çalışma kapsamında kullanılan malzemeler temel malzemesi olarak değerlendirileceğinden esneklik modülü deneyi AASHTO T 307'de temel/alttemel malzemeleri için uygulanan numune hazırlanması, sıkıştırılması ve esneklik modülü deneyinin gerçekleştirilmesi için gerekli olan prosedürler uygulanmıştır. Tasarımı yapılan plent-miks temel tabakasında kullanılacak olan numunelerin esneklik modülünün belirlenebilmesi için daha önceden elde edilen

optimum su muhtevaları kullanılarak hazırlanan numune 150 mm çapında, yüksekliği 315 mm olan ortadan ayrılabilen kalıp içerisinde 6 tabaka halinde sıkıştırılır. Sıkıştırılan numune kalıptan çıkarılarak Şekil 5’de gösterildiği gibi hücre içerisine yerleştirilmiştir. Esneklik modülü deneyinde farklı yükleme serilerinde farklı gerilmeler uygulanmaktadır.

Esneklik modülü deneyi sonrasında elde edilen veriler, herhangi bir yükleme serisine ait son 5 yüklemekten elde edilmiş olan ortalama esneklik modülü değerleridir. Her numune için elde edilen esneklik modülü değerlerini değerlendirebilmek için araştırmacılar esneklik modülünün farklı gerilme durumlarında değişimini belirlemek amacıyla değişik matematiksel modeller oluşturmuşlardır. Bu modellerin başında Eş. 1’de gösterilen AASHTO (K-θ) ve Eş. 2’de gösterilen Uzan (Universal) modelleri gelmektedir. Çalışmada esneklik modülü deneyi sonucunda her bir numune için elde edilen bulguların daha iyi değerlendirilebilmesi için AASHTO ve Uzan (Universal) modelleri kullanılmıştır. Ayrıca AASHTO ve Uzan (Universal) model denklemleri kullanılarak her bir numunenin tasarım esneklik modülü (SMR) değeri hesaplanmıştır. Tasarım esneklik modülü (SMR) hesaplanabilmesi için 34,5 kPa çevre basıncı ve 103,4 kPa deviator gerilme kullanılmıştır [18].

$$M_R = k_1(\theta)^{k_2} \quad (1)$$

$$\frac{M_R}{\sigma_{atm}} = k_1 \left(\frac{\theta}{\sigma_{atm}} \right)^{k_2} \left(\frac{\sigma_d}{\sigma_{atm}} \right)^{k_3} \quad (2)$$

Burada;

M_R : Esneklik modülü
 θ : $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ Toplam gerilme (Bulk Gerilme)
 σ_d : Deviator gerilme
 σ_{atm} : Atmosfer basıncı
 k_1, k_2, k_3 : Regresyon katsayıları

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

3.1. Fiziksel Özellik Deney Sonuçları (Physical Characteristic Test Results)

Bu bölümde, Karayolu teknik şartnamesine göre fiziksel özelliklerin belirlenmesi için yapılan deneylerin sonuçları verilmiştir. Tablo 1’de APT malzemesinin ve DA’nın deney sonuçları gösterilmektedir. APT için elde edilen sonuçlar, KTŞ 2013 ve DA’dan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında; APT malzemesinin Los Angeles değerinin şartnamenin biraz üzerinde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. Numunenin hücre içerisine yerleştirilmesi işlemleri (Placing the sample in the cell)

Tablo 1. Malzemelerin fiziksel özellikleri (Physical characteristic of materials)

Deney	Malzeme		Şartname Limiti
	Doğal Agregata	Atık Parke Taşı	
Dane Yoğunluğu: İri (kN/m ³)	26,9	23,0	-
Dane Yoğunluğu: İnce (kN/m ³)	25,5	21,8	-
Los Angeles Aşınma Deneyi, %	10,84	35,79	≤ 35
Kil Topağı ve Dağılabilen Dane, %	0,37	0,27	≤ 1
Organik Madde İçeriği	Negatif	Negatif	Negatif
Yassılık İndeksi Deneyi, %	21,06	23,22	≤ 30
Plastik Limit Deneyi	NP	NP	NP
Metilen Mavisini Deneyi, g/kg	4,5	1,5	≤ 4,5*
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, %	11,64	18,75	≤ 3,0
			≤ 20

* Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanmaması durumunda bu şart aranacaktır.

Tablo 2. Literatürde bulunan deney sonuçları (Test results found in the literature)

Geçmişte Yapılan Çalışmalar	Malzeme	Deneyler ve Sonuçlar			
		Dane Yoğunluğu: İri (kN/m ³)	Los Angeles Aşınma Deneyi, %	Yassılık İndeksi Deneyi, %	Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, %
Edil [5]	RCA	22,0-24,0	-	-	-
Arulrajah vd. [22]	RCA	27,1	28,0	-	-
Mohammadinia vd. [23]	RCA	26,9	30,8	16,44	-
Cai vd. [24]	RCA	26,06	37,0	-	-
Gabr ve Cameron [25]	RCA	26,0-25,5	39,0-37,0	-	19,7
Jimenez vd. [26]	RCA	-	34,0	8,0	-
Haider vd. [27]	RCA	-	-	-	14,3-15,7
Kumar [28]	RCA	-	30,2-33,8	-	16,17
Çalışma	APT	23,0	35,79	23,22	18,75

Diğer deneyler için elde edilen sonuçlar şartname limitinin altında olduğu, DA ile karşılaştırıldığında ise DA ile benzer performans gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 2’de literatürde, RCA için elde edilen laboratuvar deney sonuçları verilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre APT malzemesi için elde edilen özgül ağırlık değerinin, Los Angeles aşınma değerinin ve hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyinden elde edilen sağlamlık değerinin RCA için elde edilen değerlere benzer olduğu görülmüştür. Ancak APT için elde edilen yassılık indeksi değeri, önceki çalışmalarda RCA için elde edilen yassılık indeksi değerlerine göre yüksek bulunmuştur.

Tablo 3’de DA, APT ve bunların birbiriyle belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen numunelerin su emme değerleri şartname limitleri ile birlikte sunulmuştur. APT malzemesinin su emme değerinin KTŞ 2013’deki limit değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. DA ile oluşturulan karışım numuneleri incelendiğinde ise DA içerisine konulan APT oranı azaldığında su emme değerinin azaldığı belirlenmiştir.

Geçmiş çalışmalarda, RCA malzemesi için elde edilen su emme değerleri ile APT malzemesi için elde edilen su emme

değerleri arasında benzerlik bulunmaktadır. Literatürde, RCA malzemesinin su emme değerleri %5,5- %6,9 [5], %5- %6,5 [19], %6,5 [20], %6,3 [21] olarak bulunmuştur. APT malzemesinin, DA içerisine belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen karışımların su emme değerleri ile geçmiş çalışmalarda, DA içerisine belirli oranlarda RCA konulması ile elde edilen karışımların su emme değerleri arasında bir benzerlik söz konusudur. Tahmoorian ve Samali [21], yaptıkları çalışmada doğal agregata olarak kullandıkları bazalt agregası içerisine %25, %50, %75 oranlarında RCA katılmasıyla oluşturdukları karışımlar üzerinde gerçekleştirdikleri su emme deney sonuçlarını sırasıyla %2,94, %3,71, %4,62 olarak belirlemişlerdir.

Tablo 3. Su emme deney sonuçları (Water absorption test results)

Malzeme	Su Emme, % (Absorpsiyon)	Şartname Limiti
%100 DA	1,1	≤ 3
%85 DA+%15 APT	2,58	≤ 3
%75 DA+%25 APT	3,04	≤ 3
%50 DA+%50 APT	4,11	≤ 3
%25 DA+%75 APT	4,75	≤ 3
%15 DA+%85 APT	5,34	≤ 3
%100 APT	6,52	≤ 3

3.2. Modifiye Proktor ve Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Sonuçları (Modified Proctor and California Bearing Ratio Test Results)

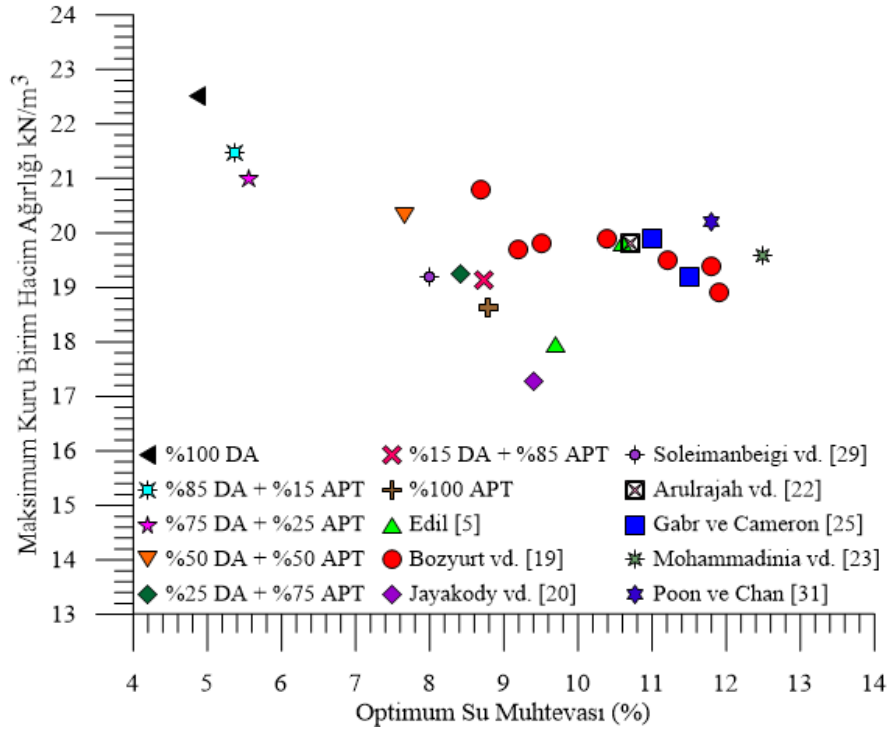
DA ve APT malzemelerinin üzerinde yapılan modifiye proktor deneyi sonucunda elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası değerleri ile literatürde RCA malzemesi için elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası değerleri Şekil 6'da gösterilmiştir. DA içerisindeki APT oranına göre elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlık-optimum su muhtevası arasındaki ilişki incelendiğinde APT içeriğinin artmasıyla numunelerin maksimum kuru birim hacim ağırlığının azaldığı, optimum su muhtevası yüzdesinin ise arttığı belirlenmiştir.

Literatürde, RCA malzemesi için elde edilen optimum su muhtevası değerleri; %8,7- %11,9 [5], %8,7- %11,7 [19], %9,4 [20], %8,0 [29], maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri ise; 19,4 kN/m³- 20,9 kN/m³ [5], 18,9 kN/m³- 20,8 kN/m³ [19], 17,3 kN/m³ [20], 19,2 kN/m³ [29] olarak

belirlenmiştir. Bu çalışmada, APT için elde edilen optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri ile geçmiş çalışmalarda RCA için elde edilen değerler arasında benzerlik bulunmaktadır.

Malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen diğer bir deney CBR deneyidir. DA, APT ve DA içerisine belirli oranlarda APT konulması ile elde edilen karışım numunelerinin yaş CBR değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

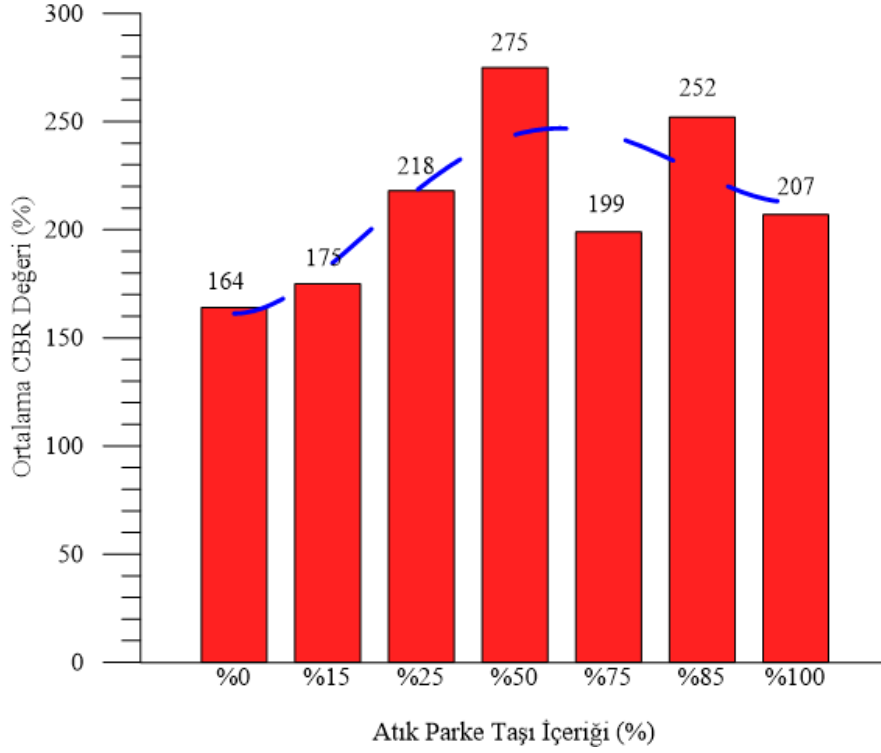
Şekil 7'de APT içeriğinin artışına bağlı olarak CBR değerlerindeki değişim gösterilmiştir. CBR değerleri incelendiğinde APT malzemesinin DA'ya göre daha yüksek bir CBR değerine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca DA içerisine APT konulması ile oluşturulan numunelerin CBR değerleri DA'ya göre daha yüksektir. DA içerisindeki APT miktarı artması ile numunelerin CBR değerinde artış %50 APT içeriğine kadar devam etmiş, %50 APT içeriğinden sonra APT içeriğinin artırılması ile CBR değerlerinde bir



Şekil 6. DA, APT ve karışımların modifiye proktor deney sonuçları (Modified Proctor test results of DA, APT and mixtures)

Tablo 4. DA, APT ve karışımlarının CBR deney sonuçları (CBR test results of DA, APT and mixtures)

Numune	1. Deney CBR Değeri	2. Deney CBR Değeri	Ortalama CBR Değeri	Şartname Limiti
%100 DA	%156	%171	%164	≥ %120
%85 DA+ %15 APT	%161	%188	%175	≥ %120
%75 DA+ %25 APT	%235	%201	%218	≥ %120
%50 DA+ %50 APT	%255	%294	%275	≥ %120
%25 DA+ %75 APT	%196	%201	%199	≥ %120
%15 DA+ %85 APT	%262	%241	%252	≥ %120
%100 APT	%199	%214	%207	≥ %120



Şekil 7. APT içeriğine göre CBR değerinde yaşanan değişim (Change in CBR value according to APT content) [30]

düşüş yaşanmıştır. Ancak bu azalmaya rağmen CBR değerleri %100 DA'nın sahip olduğu değerden daha yüksek olarak bulunmuştur.

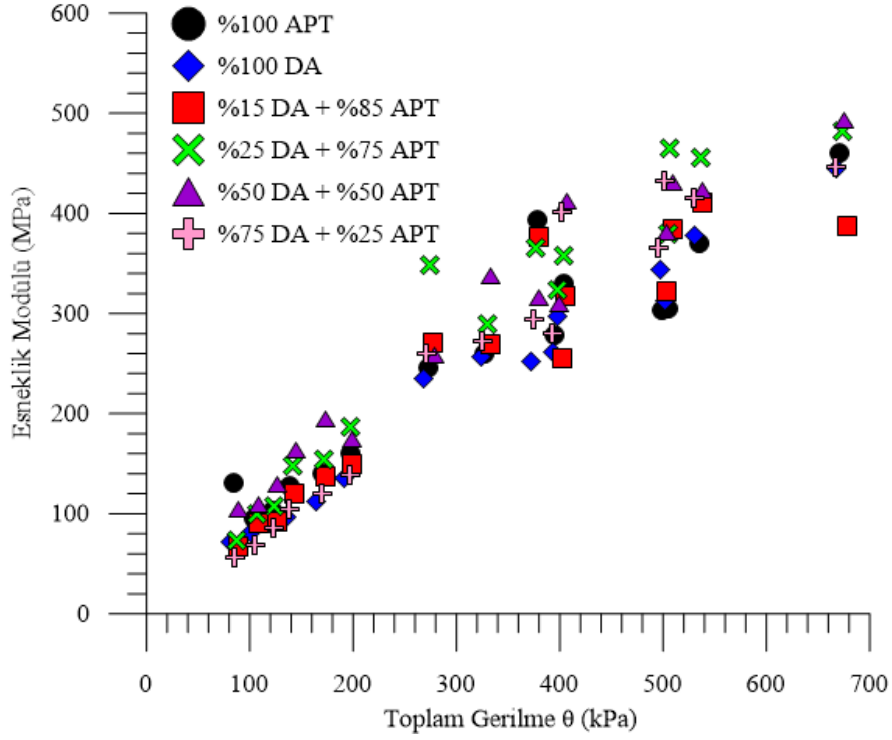
Geçmiş çalışmalarda, RCA malzemesi üzerinde gerçekleştirilen CBR deneyi sonucunda elde edilen CBR değerleri; %118- %160 [22], %90- %143 [25], %138 [26], %66 [31], %97- %138 [32] olarak bulunmuştur. RCA için elde edilen CBR değerleri ile bu çalışmada APT malzemesi için elde edilen CBR değerleri arasında farklılık mevcuttur. APT malzemesi RCA'ya göre daha yüksek bir CBR değerine sahiptir.

3.3. Esneklik Modülü (M_R) Deney Sonuçları (Resilient Modulus Test Results)

Esneklik modülü deneyi sonucunda %100 DA, %100 APT bulunan numunelerin yanı sıra DA içerisine %85, %75, %50, %25 oranlarında atık parke taşı katılarak oluşturulan numunelerin deney bulgularına bağlı olarak çizilen esneklik modülü- toplam gerilme grafiği Şekil 8'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, tüm numunelerde toplam gerilmenin artmasıyla esneklik modülünün arttığı belirlenmiştir. Esneklik modülündeki artışın daneler arasındaki sürtünme kuvvetindeki artıştan olduğu belirlenmiştir. Numunelere ait esneklik modülü sonuçları incelendiğinde toplam gerilmenin en yüksek olduğu noktada, en yüksek esneklik modülü değeri 492,45 MPa ile %50 DA + %50 APT karışımında elde edilmiştir. En düşük esneklik modülü değeri ise 387,41 MPa ile %15 DA + %85 APT karışımında elde edilmiştir. %50

APT içeren karışımdan sonraki %75 ve %85 APT içeren numunelerin esneklik modülünün artışına katkısı olmamıştır. Literatürde, RCA malzemesi için elde edilen esneklik modülü değerleri ise 300-700 MPa [25], 490-1020 MPa [25], 575-769 MPa [33], 324,5-498,3 MPa [34] olarak bulunmuştur.

Esneklik modülü deney sonuçlarının daha iyi değerlendirilebilmesi için AASHTO ve Uzan (Universal) modelleri kullanılmıştır. Bu modellerin katsayılarının elde edilebilmesi amacıyla esneklik modülü deney bulguları üzerinde regresyon analizi yapılmıştır. Elde edilen regresyon katsayıları ve R^2 değerleri Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir. İki modelin determinasyon katsayıları incelendiğinde, Uzan modeline ait olan determinasyon katsayılarının daha yüksek değer aldığı belirlenmiştir. Ayrıca deney bulguları ile Uzan modeli arasında daha yüksek bir korelasyonun olduğu görülmüştür. Bunlara ek olarak Uzan modelinden elde edilen regresyon katsayıları ile esneklik modülü arasında bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Bu ilişki k_1 değerinin artması, k_2 değerinin azalması ile esneklik modülünün artması şeklindedir. k_1 değerinin en yüksek, k_2 değerinin en düşük olduğu %50 DA + %50 APT numunesinde esneklik modülü değeri diğer numunelerden daha yüksek olurken, en düşük esneklik modülüne sahip olan %75 DA + %25 APT numunesinde ise k_1 değeri en düşük değerde, k_2 değeri ise en yüksek değerini almıştır. Ayrıca ölçülen esneklik modeli değerleri ile modeller kullanılarak tahmin edilen esneklik modülü değerleri arasındaki ilişki Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir.



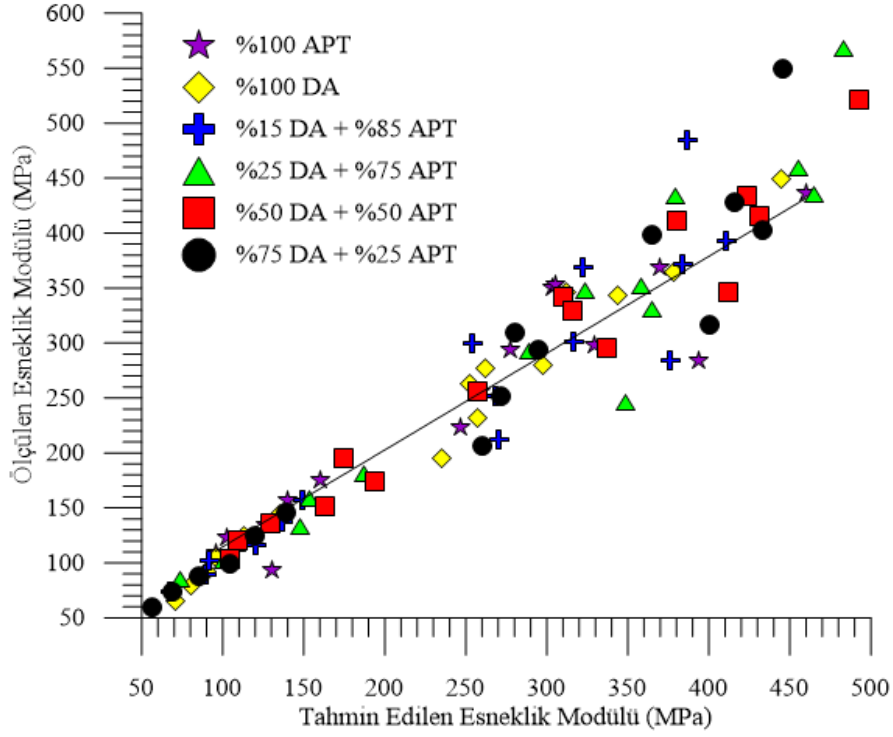
Şekil 8. Ölçülen esneklik modülü değerleri ile toplam gerilme değerleri arasındaki ilişki
(Relationship between measured values of resilient modulus and mean Bulk stress values)

Tablo 5. Numunelerin AASHTO modeli regresyon katsayıları (AASHTO model regression coefficients of samples)

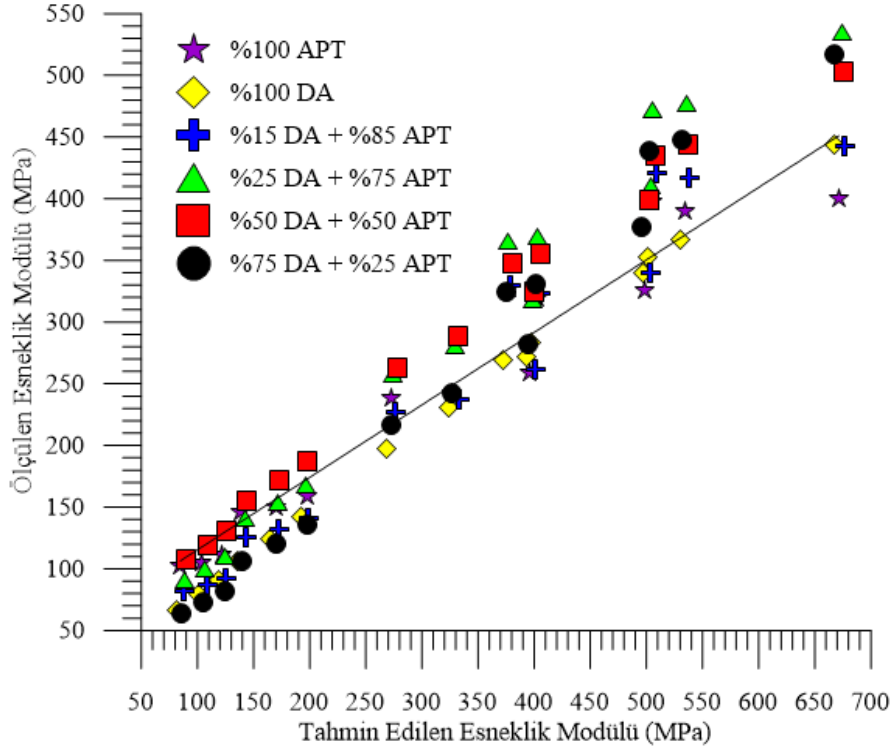
Numune	Katsayılar		Determinasyon Katsayısı (R^2)
	k_1 (MPa)	k_2	
%100 DA	1,173	0,915	0,978
%75 DA + %25 APT	0,463	1,088	0,925
%50 DA + %50 APT	2,792	0,802	0,957
%25 DA + %75 APT	1,318	0,931	0,925
%15 DA + %85 APT	1,168	0,925	0,883
%100 APT	3,419	0,745	0,887

Tablo 6. Numunelerin Uzan modeli regresyon katsayıları (Uzan model regression coefficients of samples)

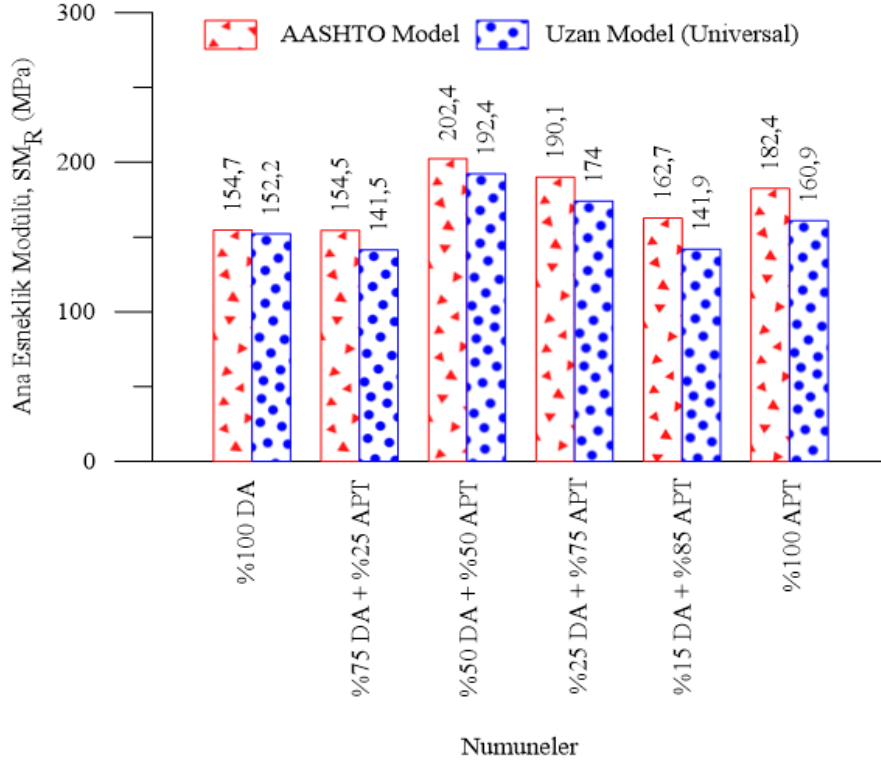
Numune	Katsayılar			Determinasyon Katsayısı (R^2)
	k_1 (MPa)	k_2	k_3	
%100 DA	0,759	0,947	-0,037	0,983
%75 DA + %25	0,569	1,250	-0,182	0,981
%50 DA + %50	0,998	0,893	-0,100	0,976
%25 DA + %75	0,786	1,088	-0,172	0,968
%15 DA + %85	0,607	1,166	-0,265	0,974
%100 APT	0,792	0,972	-0,253	0,936



Şekil 9. AASHTO modele ait ölçülen esneklik modülü ve tahmin edilen esneklik modülü arasındaki ilişki
(The relationship between the measured resilient modulus of the AASHTO model and the predicted resilient modulus)



Şekil 10. Uzan modeline ait ölçülen esneklik modülü ve tahmin edilen esneklik modülü arasındaki ilişki
(The relationship between the measured resilient modulus of the Uzan model and the predicted resilient modulus)



Şekil 11. Numunelerin tasarım esneklik modülü (SM_R) değerlerinin tahmin modellerine göre değişimi
(Variation of the summary resilient modulus (SM_R) values of the samples according to the predict models) [30]

Plent-miks temel tabakasında kullanılacak olan malzemelerin, tasarım esneklik modülü değerlerinin (SM_R) hesaplanabilmesi için; 34,5 kPa çevre basıncı ve 103,4 kPa deviator gerilme kullanılmıştır [18]. Toplam gerilme 208 kPa olarak hesaplanmıştır. Her bir numune için elde edilen AASHTO ve Uzan (Universal) model denklemleri kullanılarak, numunelerin ana esneklik modülü (SM_R) değerleri elde edilmiştir. Her bir numune için elde edilen değerler Şekil 11’de gösterilmiştir. Numunelerin ana esneklik modülü değerleri incelendiğinde, AASHTO modelinin, Uzan modeline göre daha yüksek esneklik modülü değerleri aldığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, Uzan tahmin modeline göre değerlendirildiğinde en yüksek SM_R değeri 192,4 MPa ile %50 DA + %50 APT numunesinde, en düşük SM_R değeri ise 141,5 MPa ile %75 DA + %25 APT numunesinde elde edilmiştir. Literatürde, 7 farklı RCA malzemesi kullanılarak gerçekleştirilen esneklik modülü deneyi sonucunda elde edilen tasarım esneklik modülü 163 MPa-208 MPa arasında değişen değerler almaktadır [19]. Önceki çalışmada elde edilen değerler, bu çalışmada APT için belirlenen tasarım esneklik modülü değerlerine (SM_R) benzerdir.

4. SİMGELER (SYMBOLS)

APT : Atık parke taşı
RCA : Geri dönüştürülmüş beton agregası
DA : Doğal agrega
KTŞ : Karayolu teknik şartnamesi

CBR : Kaliforniya taşıma gücü oranı
 SM_R : Tasarım Esneklik Modülü

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, inşaat ve yıkıntı atığı olarak depolanan atık parke taşı (APT) malzemesinin doğal agregaya (DA) alternatif bir malzeme olarak plent-miks temel tabakasında kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Depolama tesisinden atık olarak elde edilen APT malzemesinin konkasör yardımıyla kırımı gerçekleştirilmiştir. Kırımı yapılan APT malzemesi ve taş ocağından temin edilen DA için KTŞ 2013’e uygun olarak plent-miks tip-1’e göre temel tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan plent-miks temel karışımına uygun olarak hazırlanan numuneler üzerinde KTŞ 2013’de belirtilen standartlara uygun bir şekilde deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde değerlendirilmiştir.

- APT malzemesinin dane yoğunluğu iri daneler için 23,0 kN/m^3 ince daneler 21,8 kN/m^3 olarak belirlenmiştir. DA için elde edilen dane yoğunluğu ise iri daneler için 26,9 kN/m^3 , ince daneler için 25,5 kN/m^3 olarak belirlenmiştir. APT malzemesinin elde edilen dane yoğunluğu değerleri DA’ya göre daha düşüktür. Bunun nedeni APT malzemesinin daha gözenekli ve boşluklu bir yapıya sahip olmasıdır.
- APT malzemesinin su emme değeri %6,52 olarak bulunmuştur. Bu değer KTŞ 2013’de belirtilen şartname

limit değerinin üzerindedir. Su emme değerinin yüksek olması APT malzemesinin gözenekli bir yapıya sahip olması ve emici özelliğe sahip olan çimento taneciklerinin bulunması ile açıklanmaktadır. Su emme değeri düşürülmek isteniyorsa su emme değeri %1,1 olan DA içerisindeki APT miktarının azaltılması gerekmektedir.

- Malzemelerin Los Angeles aşınma değerleri, APT malzemesi için; %35,79, DA için; %10,84 olarak bulunmuştur. Elde edilen aşınma değerine göre APT malzemesi KTŞ 2013'de belirtilen %35 aşınma değeri limitine yakın bir değer almasına rağmen şartname limitini aşmıştır. APT malzemesi DA ile karşılaştırıldığında trafik yükü altında aşınmaya karşı dayanıksızdır.
- Malzemelerin yassılık indeksi değerleri APT malzemesi için; %23,22, DA için; %21,06 olarak bulunmuştur. Elde edilen değerler KTŞ 2013'de belirtilen %30 yassılık indeksi limit değerinin altındadır.
- Organik madde içeriğinin tespiti için yapılan deney sonucunda, APT ve DA'nın organik madde içermediği belirlenmiştir. Malzemelerde organik madde bulunmadığından dolayı organik maddeler agregaların trafik yükü altında dayanımlarını etkilemeyecektir.
- Malzemelerin kil topağı ve dağılabilen dane oranı, APT malzemesi için; %0,27, DA için; %0,37 olarak belirlenmiştir. Elde edilen değerler KTŞ 2013'de belirtilen %1 kil topağı ve dağılabilen dane oranının altındadır. APT malzemesinin kil topağı ve dağılabilen dane oranı DA ile karşılaştırıldığında daha düşük bulunmuştur. Bunun nedeni APT malzemesinin belirli bir standarda sahip beton kullanılarak üretilmesi ve beton içerisindeki agreganın kil topağı ve dağılabilen dane oranının daha az olmasıdır.
- Malzemeler üzerinde yapılan plastik limit deneyi sonucunda AT, APT ve DA'nın plastik özellik göstermediği belirlenmiştir. Bu nedenle likit limit deneyi yapılamamıştır.
- Malzemelerin metilen mavisi değerleri APT malzemesi için 1,5 gr/kg ve DA için 4,5 gr/kg olarak belirlenmiştir. İki malzemede KTŞ 2013'de belirtilen şartname limitini sağlamıştır.
- Tasarımı yapılan plent-miks temel tabakası için kullanılacak olan APT ve DA malzemeleri ile DA içerisine belirli oranlarda APT konulması sonucunda oluşturulan karışım numuneleri üzerinde modifiye proktor deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre APT malzemesinin içeriğinin artmasıyla optimum su muhtevasında artış, maksimum kuru birim hacim ağırlıkta ise bir düşüş yaşanmaktadır. Bunun nedeni APT malzemesinin su emme değerinin DA'ya göre daha yüksek olması ve APT içerisinde hidrasyonu tamamlanmamış çimento varlığıdır. Bu durum yüksek optimum su muhtevasına ve düşük kuru birim hacim ağırlığına neden olmaktadır.
- Tasarımı yapılan plent-miks temel tabakasında kullanılan malzemeler üzerinde yaş olarak gerçekleştirilen Kaliforniya taşıma gücü oranı (CBR) deneyi sonucunda, numunelerin ortalama CBR değerleri %100 DA için; %164, %100 APT için; %207 olarak bulunmuştur. %100 APT numunesinin CBR değeri %100 DA numunesinden daha yüksektir. Ayrıca KTŞ 2013'de belirtilen %120 CBR

değerinden daha büyük bir değer elde edilmiştir. Bu durum yaş olarak gerçekleştirilen CBR deneyinde APT içerisinde bulunan hidrasyonu gerçekleşmemiş çimentonun su ile reaksiyona girmesi sonucunda oluşmuştur. DA içerisine %15, %25, %50, %75, %85 oranlarında APT katılmasıyla oluşan numunelerin ortalama CBR değerinde bir artış yaşanmıştır. En yüksek CBR değerine %50 DA + %50 APT numunesinde ulaşılmıştır. Bu tepe noktasından sonra APT içeriğinin artmasıyla CBR değerinde bir azalma yaşanmış yine de numunelerin CBR değeri %100 DA numunesinin CBR değerinden daha yüksek bir değer almıştır. Bu sonuçlardan yola çıkılarak APT malzemesinin plent-miks temel tabakasında kullanımının DA'ya göre daha iyi bir performans göstereceği belirlenmiştir.

- Esneklik modülü deneyi sonucunda numuneler üzerinde toplam gerilme ve çevre basıncının artışına bağlı olarak esneklik modülünde artış yaşandığı belirlenmiştir. Ayrıca esneklik modülünün daha iyi belirlenmesi için kullanılan tahmin modelleri ile analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda, Uzan modeli ile tahmin edilen esneklik modülü değerlerinin deney bulgularına daha yakın bir sonuç verdiği belirlenmiştir. Ayrıca tahmin modelleri kullanılarak, numunelerin tasarım esneklik modülleri (SM_R) değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde, AASHTO modeline ait değerlerin, Uzan modeli ile karşılaştırıldığında daha yüksek SM_R değerleri aldığı görülmüştür. Uzan modeline ait SM_R değerleri incelendiğinde, en yüksek SM_R değeri 192,4 MPa ile %50 DA + %50 APT numunesinde, en düşük SM_R değeri ise 141,5 MPa ile %75 DA + %25 APT numunesinde elde edilmiştir. Genel olarak esneklik modülü sonuçlarına göre APT malzemesinin DA'ya kıyasla daha iyi bir performans gösterdiği belirlenmiştir. Bu sonuca ek olarak APT malzemesinin DA'nın esneklik modülü özelliğini iyileştirdiği belirlenmiştir.

Atık parke taşı malzemesi üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçları incelendiğinde; atık parke taşı ve doğal agrega içerisine belirli oranlarda atık parke taşı konularak oluşturulan karışımların su emme değerlerinin yüksekliğinin dışında KTŞ 2013'de plent-miks temel tabakası için belirtilen şartname limitlerini sağlamaktadır. Su emme değeri düşürülmek isteniyorsa doğal agrega içerisindeki atık parke taşı oranı azaltılması gerekmektedir. Ancak bu azaltma sonucunda taşıma gücü oranında bir azalma meydana gelmektedir. Bu nedenle atık parke taşının su emme değerinin nasıl azaltılabileceği hakkında çalışma yapılmalıdır.

Çalışmada kullanılan atık parke taşı malzemesi geçmiş çalışmalarda kullanılan geri dönüştürülmüş beton agregası (RCA) ile karşılaştırıldığında her iki malzemenin benzer ve farklı yönleri bulunmaktadır. Yıkım faaliyetlerinden elde edilen RCA genellikle heterojen bir yapıya sahip olduğundan dolayı içerisinde diğer malzemeleri de içerebilmektedir. Bunun yanında RCA doğal agrega gibi tek bir kaynaktan elde edilmediği için farklı yıkım alanlarından toplanan RCA'nın dayanım ve kalitelerinde farklılıklar bulunmaktadır. Atık parke taşı malzemesi ise belirli

standarda ve mukavemete sahiptir. Üretimi fabrikalarda gerçekleşen parke taşı, cadde ve sokaklarda kullanılmakta ve belirli bir kullanımdan sonra genellikle yeni parke taşları ile değiştirilmektedir. Ortaya çıkan atık parke taşları atık depolama alanlarında ayrı bir malzeme olarak depolandıkları için içerisinde farklı malzemeler bulunmamaktadır. Atık parke taşı ile geçmiş çalışmalarda temel/alttemel malzemesi olarak kullanılan RCA fiziksel özellikler bakımından birbirine benzerdir. Ancak mekanik özellik bakımından atık parke taşı malzemesi RCA'dan daha iyi performans göstermektedir. Bu nedenle atık parke taşı geçmiş çalışmalarda kullanılan RCA'ya alternatif bir malzeme olarak temel/alttemel tabakasında kullanılabilir.

Sonuç olarak, atık parke taşı malzemesinin doğal agrega içerisine belirli oranlarda karıştırılarak oluşturulan temel tabakalarının, doğal agrega kullanılarak oluşturulan temel tabakalarına alternatif olabileceği belirlenmiştir. Temel malzemesi olarak atık parke taşının kullanımı doğal agregaya alternatif bir malzeme olmakla birlikte doğal agrega tüketiminin azalmasına, depolama alanlarında depolanan atık parke taşının yeniden kullanılarak ekonomiye kazandırılmasına ve en önemlisi çevrenin korunmasına katkı sağlayabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: NKUBAP.06.YL.19.228).

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Vieira C.S., Pereira P.M., Use of recycled construction and demolition materials in geotechnical applications: a review. resources, Conservation and Recycling, 103, 192-204, 2015.
- Bennert T., Papp W., Maher A., Gucunski, N., Utilization of construction and demolition debris under traffic-type loading in base and subbase applications, Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1714, 33-39, 2000.
- Aatheesan T., Arulrajah A., Bo M. W., Vuong B., Wilson J., Crushed brick blends with crushed rock pavement systems, Waste and Resources Management, 163, 29-35, 2010.
- Arulrajah A., Piratheepan J., Bo M.W., Sivakugan N., geotechnical characteristics of recycled crushed brick blends for pavement sub-base applications, Canadian Geotechnical Journal, 49, 796-811, 2012.
- Edil T.B., A Review of Recycled Aggregates (RAP and RCA) As Unbound Base Course Material for Sustainable Highway Construction, CIGOS 2017: Proceedings of the 4th Congress International de Geotechnique-Ouvrages-Structures, Singapore, 3-14, 2018.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolu Teknik Şartnamesi, KGM Yayını, Ankara, 2013.
- TS EN 1097-6, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2013.
- TS EN 1097-2, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler 2: Parçalanma Direncinin Tayini için Metotlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- BS 812-105.1, Part 105: Methods for Determination of Particle Shape-Section 105.1 Flakiness Index, British Standards Institution, London, 1990.
- TS EN 1744-1:2009+A1, Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 1: Kimyasal Analiz, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2013.
- ASTM C142, Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles In Aggregates, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, 2017.
- TS EN 1367-2, Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2011.
- TS 1900-1, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri – Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2015.
- TS EN 933-9+A1, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 9: İnce Tanelerin Tayini İçin Metilen Mavisini Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2014.
- AASHTO T 193-10, The California Bearing Ratio, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, 2012.
- Lekarp F., Isacsson U., and Dawson A., State of Art I: Resilient response of unbound aggregates, Journal of Transportation Engineering, ASCE, 1, 2000.
- AASHTO T 307-99, Standard Method of Test for Determining The Resilient Modulus of Soils and Aggregate Materials, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, 2012.
- NCHRP (1-28A), Harmonized Test Methods for Laboratory Determination of Resilient Modulus for Flexible Pavement Design (1-28A), National Research Council, Washington, D.C., 2003.
- Bozyurt O., Tinjum J. M., Son Y., Edil T. B., Benson C. H., Resilient Modulus of Recycled Asphalt Pavement and Recycled Concrete Aggregate, Geo-Congress March 25-29, Oakland, California, United States, 2012.
- Jayakody S., Gallage C., Ramanujam J., Effects of reclaimed asphalt materials on geotechnical characteristics of recycled concrete aggregates as a pavement material, Road Materials and Pavement Design, DOI: 10.1080/14680629.2017.1417151, 2017.
- Tahmoorian F., Samali B., Laboratory investigations on the utilization of RCA in asphalt mixtures. International Journal of Pavement Research and Technology, 11, 627-638, 2018.
- 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, 2014.

23. Mohammadinia A., Arulrajah A., Sanjayan J., Disfani M.M., Bo, M.W., Darmawan S., Laboratory evaluation of the use of cement-treated construction and demolition materials in pavement base and subbase applications, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27 (6), 04014186, 2015.
24. Cai X., Li X., Wu K., Huang W., Grading design of recycled aggregate cement-stabilized gravel based on rotary compaction, *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 12 (3), 1-6, 2018.
25. 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.
26. Jiménez 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.
27. Haider I., Cetin B., Kaya Z., Hatipoglu M., Cetin A., Ahmet H.A., Evaluation of the Mechanical Performance of Recycled Concrete Aggregates Used in Highway Base Layers, *Geo-Congress 2014: Geo-characterization and Modeling for Sustainability*, Atlanta, United States 2014.
28. Kumar R., Influence of recycled coarse aggregate derived from construction and demolition waste (cdw) on abrasion resistance of pavement concrete, *Construction and Building Materials*, 142, 248-255, 2017.
29. Soleimanbeigi A. ve Edil T. B., Compressibility of recycled materials for use as highway embankment fill, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 141, 04015011, 2015.
30. Kılıç B., İnşaat ve yıkıntı atıklarının plent-miks temel tabakasında kullanılabilirliğinin deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2020.
31. 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.
32. 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.
33. Arulrajah A., Piratheepan J., Ali M.M.Y., Bo M.W., Geotechnical properties of recycled concrete aggregate in pavement sub-base applications, *Geotechnical Testing Journal*, 35, 1-9, 2012.
34. Disfani M.M., Arulrajah A., Haghghi 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.

