



Bina beton atıklarının karayollarında bitümlü temelde agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılması

Investigation of the usability of building concrete wastes as aggregate in bituminous base course on highways

Serdal TERZİ^{1*}, Mahmut VURAL²

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
serdalterzi@sdu.edu.tr

²Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
mahmutvural15@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 21.08.2019
Kabul Tarihi/Accepted: 06.11.2019

Düzeltilme Tarihi/Revision: 05.11.2019

doi: 10.5505/pajes.2019.57983
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada ekonomik ömürlerini tamamlayarak yıkılan binaların atıkları öğütülerek agrega haline getirilmiştir. Referans kireçtaşı numunesi ve bina atıklarından elde edilen agrega numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek şartname limitleri ile karşılaştırılmaları yapılmıştır. Bununla birlikte agrega haline getirilen atıklar Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) numuneleri ile kalan kısmı kireçtaşı olmak üzere, sırasıyla %100, %75, %50 ve %25 oranlarında karıştırılmıştır. Her farklı karışım oranı için karışımın Superpave™ yöntemi ile hacimsel analizi yapılarak optimum bağlayıcı içeriği belirlenmiştir. Optimum bağlayıcı içeriği belirlenen numunelerin AASHTO T 283'e göre nem hassasiyetleri incelenmiştir. Ayrıca atık ilave edilmeyen referans kireçtaşı numuneleri için de deneyler yapılmış ve sonuçlar bina atıkları ile karşılaştırılmıştır. Test sonuçlarının Karayolu Teknik Şartnamesi limitleri ile kıyası yapıldığında, atık numunelerin su emme oranları ve Los Angeles aşınma deney sonuçlarının şartname limitlerini aştığı gözlemlenmiş olup, bina atıklarının bitümlü temelerde ancak %25 oranında kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Geri dönüştürülmüş bina atıkları, Superpave, İndirekt çekme mukavemeti.

Abstract

In this study, the wastes of the buildings that were destroyed by completing their economic life were granulated into aggregate. Comparisons were made with specification limits by identifying physical and mechanical properties of raw limestone and aggregate obtained from demolition wastes. Afterwards, the granulated aggregate was mixed into Hot Mix Asphalt (HMA) at 100%, 75%, 50% and 25% by weight and the remaining part is used as limestone. For each mixing ratio, optimum binder content was determined by using Superpave volumetric mix design procedure. The moisture susceptibility of the samples, with optimum binder content was determined according to AASHTO T 283. Moreover, tests were also performed for the samples without adding waste and the results were compared with the demolition waste samples. When the test results are compared with the limits of the Highway Technical Specifications, it is observed that the water absorption rates of the waste samples and the Los Angeles abrasion test results exceed the specification limits, and it is determined that demolition wastes can be used only at a rate of 25% on asphalt base layers.

Keywords: Recycled building waste, Superpave, Indirect tensile strength.

1 Giriş

Doğal kaynakların hızla azaldığı günümüzde, kısıtlı hammadde kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması, kullanılan doğal kaynakların ise yeniden ekonomiye kazandırılması gerekliliği her geçen gün daha çok önem kazanmaktadır [1]. Kullanılan hammaddelerin geri dönüşümünün yapılmayarak depolanması; çevresel zararlar, hammadde kaybı, enerji kaybı, alan kaybı ve ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Geri dönüşümden istifade edilmediği takdirde doğal kaynakların tüketilmesiyle oluşacak çevresel erozyon ve ekonomik israf, sektöre ve ülkemize zarar vermeye devam edecektir. Söz konusu olumsuz etkileri en aza indirmek ve ülkemizde de geri dönüşüme önem vermek amacıyla, bina beton atıklarının karayollarında bitümlü temel agrega malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ülkemizde geri dönüşüm hamlesi tam anlamıyla gerçekleştirilmemiş olsa da dünyada örnekleri çoktur [2]-[4].

Geri dönüşüm yöntemlerinden biri olarak mevcut bozulmuş bitümlü sıcak karışım kaplamalarının sökülerek tekrar

kullanımından bahsedilebilir. Bu kapsamda yapılan çalışma sonuçlarına göre şartname limitlerinin karşılandığı, geri dönüşümü yapılan malzemelerin karayollarında kullanıma uygun olduğu belirtilmiştir [5]-[7]. Atık mermerler geri dönüşüm malzemesi olarak değerlendirildiğinde ise deney sonuçlarının şartname limitlerini sağladığı, bazı deneylerde doğal malzemeden daha iyi sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir [8]-[10]. Çeşitli tip ve özellikteki endüstriyel atıkların fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin tespit edilerek karayollarında kullanılmasının araştırılması ile ilgili çalışmalarda doğal hammadde yerine kullanılacak atıkların fayda sağlayacağı belirtilmiştir [11],[12].

Bina atıkları kullanılarak karayolları için alternatif malzemeler sunmayı amaçlayan çalışmalarda ana amaç daha iyi dayanım ve performans gösteren yol yapıları inşa etmekten ziyade, doğal hammaddenin fiziksel özelliklerine ve performansına yakın özellik gösteren yapılar inşa etmek olmaktadır. Şartname limitlerinin sağlanmasıyla, ekonomik avantajlara fırsat sunulması, çevresel zararların önüne geçilmesi hedeflenmektedir [13]. Bina atıklarının yol ve otoyol

*Yazışılan yazar/Corresponding author

temellerinde kullanımının araştırılması amacıyla yapılan çalışmada atıkların karayollarında kullanıma uygun olduğu belirtilmiştir [14]. Bu sayede doğal agrega kaynaklarının korunması ve karayolu inşaa maliyetlerinin düşmesi gibi olumlu sonuçlara varılabileceği belirtilmiştir. Günümüz teknolojisiyle yapılan geri dönüşüm yöntemlerinde gelişen teknolojiyen faydalanılarak yeni yöntemler geliştirilebilir ve geri dönüşüm hamlesinde ivme kazanılabilir. Günümüzde bazı durumlarda atıkların geri dönüştürülerek tekrar kullanımı, içine katıldıkları deney numunelerinde performans kayıplarına sebep olabilmektedir [15],[16]. Söz konusu performans kayıpları farklı kaynaklara sahip atıkların karayollarında kullanımında da ortaya çıkabilmekte, atıkların kullanımı ile karayollarının performansları düşebilmekte ve maliyetleri artabilmektedir [17]. Performans ve dayanım kayıplarını sebeplerinden birinin, bina atıkları sökülüp ayrıştırılırken tuğla, alçı ve plastik parçalar gibi problemler malzemelerin bir kısmının ayrıştırılmasının mümkün olmaması olarak ifade edilebilir. Bu soruna çözüm olarak binaların yıkım yöntemi ile değil sökülerek ayrıştırılması metodu değerlendirilmelidir [18].

Bu çalışmada doğal kireçtaşı numunelerinin ve bina beton atıklarının ayrıştırılması ile elde edilen agrega numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri tayin edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak en uygun kullanılacak bina beton atık oranının tayini amaçlanmıştır. Agregaların özelliklerini belirleme; elek analizi, iri agregalar için özgül ağırlık ve su emme deneyi, ince agregalar için özgül ağırlık ve su emme deneyi, mineral fillerin zahiri özgül ağırlığının tayini, agrega darbelenme deneyi ve Los Angeles deneyi aşamalarından oluşmaktadır.

DeneySEL çalışmanın ikinci aşamasında bina atıkları kireçtaşı numuneleri ile sırasıyla %100, %75, %50 ve %25 oranlarında karıştırılmıştır. Elde edilen farklı yüzdelerdeki agrega karışımlarının hacimsel karışım tasarımı yapılarak optimum bitüm içerikleri tayin edilmiş, indirekt çekme deneyi ile nem hassasiyetleri tespit edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda 100 mm çapında numuneler Yoğurtmalı Sıkıştırıcı kullanılarak hazırlanmıştır. Son olarak tüm sonuçların referans kireçtaşı numunesi ve şartnameler ile kıyasları yapılarak, bina beton atıklarının karayollarında bitümlü temelde agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2 Materyal

2.1 Agrega

Çalışma kapsamında kullanılmış olan agregalar Isparta Belediyesinden temin edilmiş olup test sonuçları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan gradasyon değerleri Tablo 2'de gösterilmektedir.

2.2 Bina beton atıkları

Çalışmada kullanılan geri dönüştürülmüş agregalar ise Burdur İli Merkez İlçesi Cemil Mahallesi, Bahçelievler Mahallesi ve Emek Mahallesi bölgelerinde bulunan mevcut binaların kentsel dönüşüm yasası kapsamında yıkılması ile elde edilen atıkların ayrıştırılması ile elde edilmiştir. Üç farklı mahalleden dört farklı bina atığı rasgele oranlarda karıştırılarak tek bir bina atık havuzu oluşturulmuştur. Sahadan alınan agrega örnekleri laboratuvara taşınarak çeneli kırıcı aracılığıyla öğütülmüş ve agrega haline getirilmiştir. Bina beton atıklarının (BA) deney sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 1. Kireçtaşı malzemesinin özellikleri.

Table 1. Properties of limestone material.

Deney Grubu	Standartlar	Ölçülen Özellik	Test Sonuçları	Şartname Limiti	Sonuç
İri Agrega	(ASTM C 127-88. 2001)	Hacim özgül ağırlık	2.61	-	-
		Suya doymuş özgül ağırlık	2.63	-	-
		Zahiri özgül ağırlık	2.67	-	-
	TS EN 1097-2a AASHTO T 96 BS 812 Part 112	Su emme yüzdesi	%0.85	%2.5	Uygun
		Los Angeles Aşınma Direnci	%14	%30	Uygun
İnce Agrega	(ASTM C 128-15. 2015)	Hacim özgül ağırlık	2.34	-	-
		Suya doymuş özgül ağırlık	2.38	-	-
		Zahiri özgül ağırlık	2.45	-	-
		Su emme yüzdesi	1.97	%2.5	Uygun
Mineral Filler	(ASTM D 854-88. 1992)	Zahiri özgül ağırlık	2.73	-	-

Tablo 2. Agrega granülmetrisi.

Table 2. Gradation of aggregate..

Elek Açıklığı		Bitümlü Temel İçin Gradasyon Limitleri		% Seçilen	Üstte Kalan Agrega
inch	mm	Tip-A			
11/2	37.5	100		100	0
1	25	72-100		92	96
3/4	19	60-90		85	84
1/2	12.5	50-78		65	240
3/8	9.5	43-70		55	120
NO.4	4.75	30-55		35	240
NO.10	2.00	18-42		20	180
NO.40	0.425	6-21		9	132
NO.80	0.180	2-13		7	24
NO.200	0.075	0-7		3	48
pan					36
		TOPLAM			1200 g

Tablo 3. Bina atık agregaları deney sonuçları.

Table 3. Test results of building's aggregate wastes.

Parametre		HÖA. g/cm ³	SDÖA. g/cm ³	ZÖA. g/cm ³	Su Emme. %	Parçalama Direnci. % Kayıp	Aşınma Direnci. % Kayıp
Standartlar		(ASTM C 127-88, 2001)			TS EN 1097-2		BS 812/112
TEST SONUÇLARI	İri Agrega	2.25	2.33	2.46	3.84	39	24.2
	İnce Agrega	1.74	2.08	2.63	19.29	-	-
	Filler	-	-	2.42	-	-	-

HÖA: Hacim özgül ağırlık, SDÖA: Suya doygun özgül ağırlık, ZÖA: Zahiri özgül ağırlık.

2.3 Bitüm

Çalışma kapsamında kullanılan bitüm Isparta Belediyesi Fen İşleri Dairesi'nden temin edilmiş olup 50/70 penetrasyon sınıfına sahiptir. Kullanılan bitüm malzemesinin özelliklerinin tayini amacıyla, penetrasyon (ASTM D5), parlama noktası (ASTM D92), yanma noktası (ASTM D92), yumuşama noktası (ring and ball) (ASTM D36), duktilite (ASTM D113) ve özgül ağırlık (ASTM D70) deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Bitüm karakteristikleri.

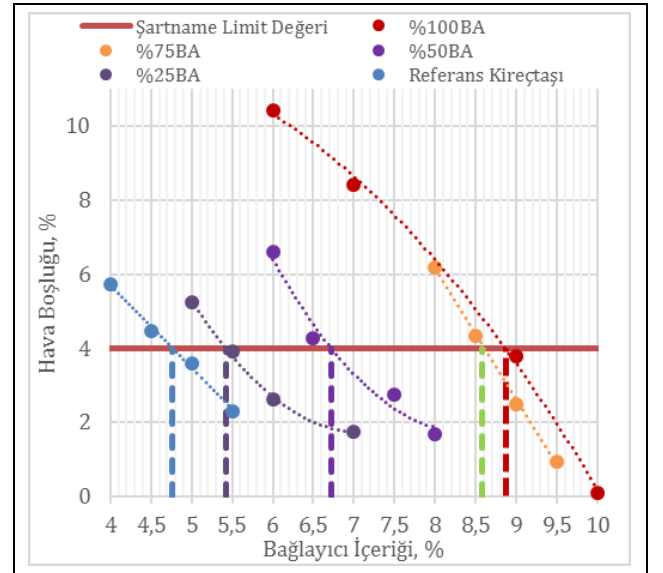
Table 4. Properties of bitumen.

Test	Ortalama Değer	Standart
Penetrasyon (25 °C)	62.2	ASTM D5
Parlama Noktası	180 °C	ASTM D92
Yanma Noktası	230 °C	ASTM D92
Yumuşama Noktası	49.9 °C	ASTM D36
Duktilite (5 cm/dk.)	>100	ASTM D113
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	0.995	ASTM D70

3 Hacimsel karışım tasarımı

Hacimsel tasarımında, Ndesign yoğurma sayısında %4 hava boşluğu oranı değerine karşılık gelen optimum bitüm içeriği belirlenmiştir. Optimum bağlayıcı oranının belirlenmesi için yapılan deneylerde Ndesign değeri Isparta ili trafik verileri için 125 olarak seçilmiştir. Çalışmada referans numune için yapılan deneylerden sonra bina atıklarının; %100 Bina atığı, %75 Bina atığı - %25 Kireçtaşı, %50 Bina atığı - %50 Kireçtaşı ve %25 Bina atığı - %75 Kireçtaşı, oranlarında karışımları hazırlanarak hacimsel tasarımları yapılmıştır. Her bir agrega karışım oranı için 4 farklı bitüm yüzdesi ile numuneler hazırlanmıştır. Tüm karışım oranları için %4 tasarım hava boşluğunu sağlayan

bitüm içeriği tespit edildikten sonra, belirlenen bitüm içeriği için VMA, VFA grafikleri şartname limitleri ile incelenmiş, bununla birlikte optimum bitüm içeriği değerlerinin de şartnameleri sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir. Hava boşluğu-bitüm grafiği Şekil 1'de verilmiştir.



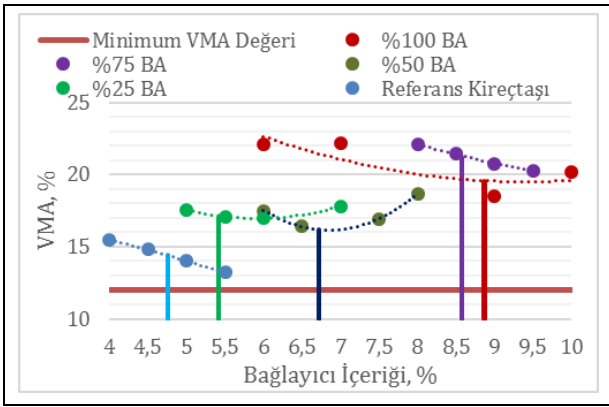
Şekil 1. Hava boşluğu-bitüm grafiği.

Figure 1. Change on airvoid based on bitumen ratio.

Agregalar arasındaki hava boşlukları karayolu yapılarında çatlaklara ve su sızmalarına sebep olarak kaplamanın ömrünü kısaltmaktadır. Referans kireçtaşı numunesinin optimum bağlayıcı içeriği belirlenirken; şartnameye göre %4 hava boşluğunu veren bağlayıcı içeriği olan %4.76 değeri

saptanmıştır. Optimum bağlayıcı içeriği %100 BA için %8.87, %75 BA için %8.58, %50 BA için %6.72 ve %25 BA için %5.42 olarak bulunmuştur. Karayolu teknik şartnamesinde verilen optimum bitüm içeriği sınır değerleri (%3-%5.5). Referans kireçtaşı ve %25 bina atığı-%75 kireçtaşı karışımlarından başka oranlarda sağlanamamıştır. Seçilen gradasyonla hazırlanan 1200 gramlık karışıma bitüm ilave edildiğinde agrega taneleri asfalt filmleriyle kaplanmaktadır.

Bağlayıcı içeriğindeki her artış asfalt film kalınlığını arttırmaktadır. Asfalt film kalınlığı arttıkça agrega tanecikleri birbirlerinden ayrılmaktadır. Bu ayrılma durumu agreganın sıkışmasına izin vermez. Agreganın ancak asfalt filmleri yeterli kadar kalınlaşıp sıkıştırma enerjisiyle bir yağ gibi hareket etmeye başlayınca sıkışmaya başlar. "Bu noktadan sonra asfalt miktarındaki ilave artışlar agrega üzerinde daha ileri bir yağlanma tesiri yapar ve boşluklar asfalt ile azami dereceye doluncaya kadar VMA'nın düşmesine sebep olur" [19]. Optimum bitüm içerikleri belirlendikten sonra çizilen VMA grafiği Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. VMA-bitüm grafiği.

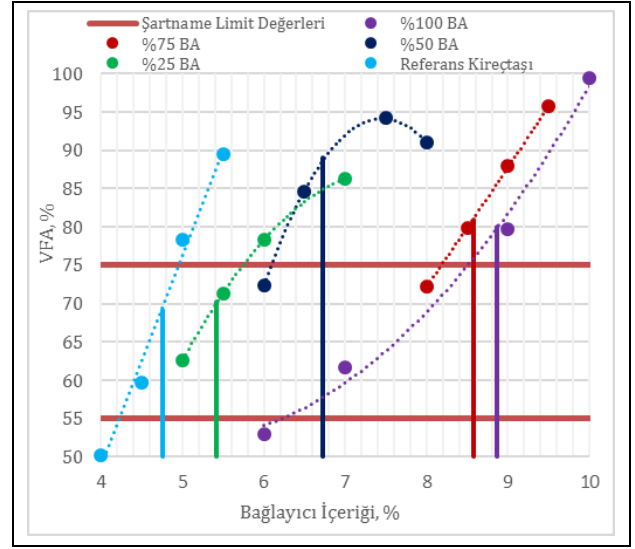
Figure 2. Change on VMA based on bitumen ratio.

VMA değerleri referans kireçtaşı numunesi için %14.42, %100 BA için %19.50, %75 BA için %21.25, %50 BA için %16.20 ve %25 BA için %17.10 olarak bulunmuştur. Tüm deney numuneleri için Superpave tasarım kriterlerinde maksimum 25 mm agrega boyutuna göre minimum %12 VMA sınırı sağlanmıştır. Farklı bina atığı oranlarında VMA sonuçları tutarsızlık göstermektedir. Bu tutarsızlığın sebebi ise bina atık molozlarının içerisindeki problemler maddelerin bulunması olarak yorumlanabilir.

Karışım asfalt ile dolduruldukça yol üst yapısına hava ve su girişi azalacak, yolun ömrü uzayacaktır. Karayolu teknik şartnamesinde asfalt ile doldurulması gereken boşluk miktarı (VFA) %55-75 değerleri arasında olmalıdır. Elde edilen sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir.

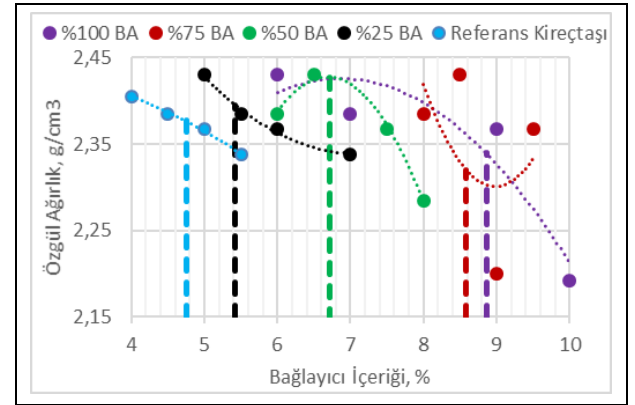
Elde edilen sonuçlara göre VFA değerleri kireçtaşı numunesi için %69.2, %100 BA için %80, %75 BA numuneleri için %82, %50 BA için %89 ve %25 BA için %70,2 olarak bulunmuştur. VFA değerleri farklı bina atığı oranlarındaki numuneler için tutarsız sonuçlar göstermekle birlikte, kireçtaşı numunesi ve %25 BA numuneleri dışında şartname limitlerini sağlamamaktadır.

Bitümlü karışımların yoğunluğu azaldıkça stabilite, durabilite gibi özelliklerinde de azalma gözlemlenmektedir. Deney sonuçlarına göre özgül ağırlık değerleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. VFA-bitüm grafiği.

Figure 3. Change on VFA based on bitumen ratio.



Şekil 4. Özgül ağırlık-bitüm grafiği.

Figure 4. Change on specific gravity based on bitumen ratio.

Deney sonuçlarına göre referans kireçtaşı numunesinin özgül ağırlık değeri 2.377 g/cm³ olarak bulunmuştur. Özgül ağırlık değerleri %100 BA için 2.340 g/cm³, %75 BA için 2.320 g/cm³, %50 BA için 2.427 g/cm³, ve %25 BA için 2.395 g/cm³ olarak tespit edilmiştir.

Çalışmada elde edilen deney sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 5'te gösterilmektedir.

4 İndirekt çekme mukavemeti

İndirekt çekme deneyinde 100 mm çapında silindirik numuneler kırılarak yol yüzeyinin gerilme özellikleri ve yüzeyin kırılarak deforme olma niteliğinin ölçümü hedeflenmiştir. Bu amaçla her bir agrega karışımı ve karşılığında belirlenen optimum bitüm oranlarında altışar numune hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan bu numunelerin yarısı kuru, diğer yarısı ise ıslak değerlerin belirlenmesi amacıyla test edilmiştir. Bu sayede numunelerin yarısı şartlandırılmıştır. Gerçekleştirilen şartlandırma işlemi Modifiye Lottman Deney standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 5. Deney sonuçlarının karşılaştırılması.
Table 5. Comparison of the test results.

Ölçülen Değer	Deney Sonucu				
	Kireçtaşı	%25 BA	%50 BA	%75 BA	%100 BA
Boşluk. % Limit=4-6	4	4	4	4	4
Sonuç	Olumlu	Olumlu	Olumlu	Olumlu	Olumlu
Optimum Bitüm. % Limit=3-5.5	4.76	5.42	6.72	8.58	8.87
Sonuç	Olumlu	Olumlu	Olumsuz	Olumsuz	Olumsuz
VMA. % Limit= >12	14.42	17.10	16.20	21.25	19.50
Sonuç	Olumlu	Olumlu	Olumlu	Olumlu	Olumlu
VFA. % Limit=55-75	69.2	70.2	89	82	80
Sonuç	Olumlu	Olumlu	Olumsuz	Olumsuz	Olumsuz
Pratik Özgül Ağırlık. g/cm ³	2.377	2.395	2.427	2.320	2.340
TSR. % Limit= ≥80	99.2	85.4	78.2	75.7	72.3
Sonuç	Olumlu	Olumlu	Olumsuz	Olumsuz	Olumsuz

Tablo 6. ITS_{ISLAK} ve ITS_{KURU} deney sonuçları.
Table 6. Conditioned and unconditioned samples strenght results

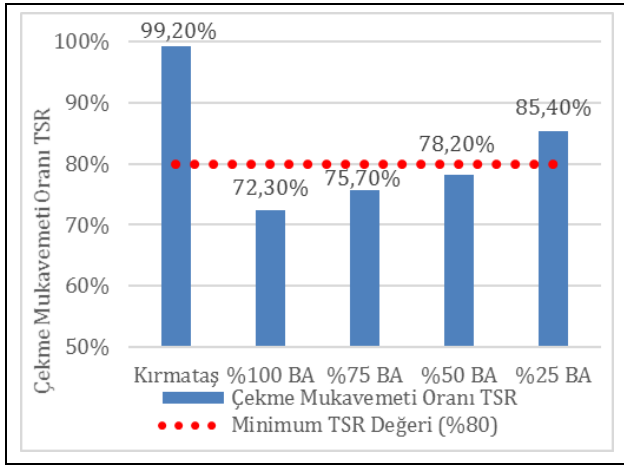
Parametre	Kireçtaşı	%100 BA	%75 BA	%50 BA	%25 BA
Ortalama ITS _{KURU} Ölçümleri	70.82	48.23	51.66	57.53	60.56
	69.31	50.41	55.03	58.20	61.91
	69.09	50.34	52.97	56.95	61.97
Toplam Ortalama ITS _{KURU}	69.74	49.66	53.22	57.56	61.48
	69.32	32.49	44.27	45.96	52.84
Ortalama ITS _{ISLAK} Ölçümleri	68.89	37.97	35.51	43.10	52.59
	69.36	37.30	41.06	45.91	52.01
Toplam Ortalama ITS _{ISLAK}	69.19	35.92	40.28	44.99	52.48

Elde edilen ITS_{KURU} sonuçlarına göre %100 BA numuneleri referans numuneye kıyasla %28.8'lik bir dayanım kaybına uğramıştır. %75 BA numunelerinin uğradığı dayanım kaybı %23.7 olup, %50 BA numunelerinin sonuçlarına göre dayanım kaybı %17.5 düzeyindedir. Bina atıkları karışımında %25 oranında kullanıldığında ise uğranılan dayanım kaybı %11.8 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak bina atıkları

kullanıldığında numuneler dayanım kaybına uğramaktadır. Fakat ITS_{ISLAK} ve ITS_{KURU} değerlerinin oranı ile hesaplanan nem hassasiyeti oranı (TSR) değerinin şartname limiti olan %80 değerini aşması durumunda, numunelerin uğradığı dayanım kaybının yasal sınırlar içerisinde olduğu söylenebilir.

Deney sonuçları ile elde edilen, Şartlandırılmış numunelerin ITS_{ISLAK} değerlerinin, şartlandırılmamış numunelerin ITS_{KURU} değerlerine oranı, numunelerin Çekme Mukavemeti Oranı değerini vermiş, bu değerler Şekil 5'te gösterilmiştir.

Numunelerin nem hassasiyetleri incelendiğinde %100 Bina atıkları, %75 Bina atıkları ve %50 Bina atıkları ile hazırlanan numunelerin şartname limiti olan %80 değerini sağlamadıkları görülmüştür. %25 Bina atığı ile hazırlanan numuneler ise şartname limitini sağlamıştır. Ancak "Şartnamede belirtilen %80 TSR oranı genel olarak tüm nem hassasiyeti prosedürlerini kapsamamaktadır" [20]. Bu sebeple %25 oranı dışındaki numunelerin neme karşı hassasiyetlerinin yüksek olması, nem hassasiyet kistası bakımından, atıkların bu oranlarda kullanılamayacağı anlamına gelmemektedir.



Şekil 5. Çekme mukavemeti oranı değerleri.

Figure 5. Tensile strenght ratio values.

5 Sonuçlar

Agrega deneylerinde kireçtaşı numunelerinde iri agrega su emme oranı %0.85, ince agrega için %1.97 olarak tespit edilmiştir. BA numuneleri için ise su emme oranları iri agrega için %3.84 ince agrega için %19.29 olarak bulunmuştur. Karayolu Teknik Şartnamesinde maksimum su emme oranı %2.5 olarak sınırlandırıldığından atıkların bitümlü temellerde tek başlarına agrega olarak kullanılmaları uygun değildir.

Britanya Standardı 812/112'ye göre agrega darbelenme kaybı %35'in üstünde olan agregalar çok zayıf olarak kabul edilmektedir. Agregada darbelenme deney sonuçları kireçtaşı numuneleri için %8.1 bina beton atıkları için %24.2 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar dikkate alındığında bina atık numunelerinin darbelenme direnci deney sonuçları uygundur.

Deney sonuçları Los Angeles aşınma kaybı açısından incelendiğinde referans kireçtaşı numunesi için %14, bina atıkları için %39 değeri bulunmuştur. Şartname limitinin (KTŞ, 2013) %30 olduğu göz önünde bulundurulursa bina atıklarının Los Angeles deney sonuçları açısından bitümlü temellerde tek başlarına agrega olarak kullanılmaları uygun değildir.

Bina atıklarının %100 oranında kullanılmasıyla elde edilen numuneler için optimum bitüm içeriği %8.87 olarak bulunmuştur. VFA değeri %80 olarak tayin edilmiştir. Şartname limit değeri olan maksimum %75 VFA oranı sağlanmamıştır ve maksimum bitüm oranı olan %5.5 değeri aşılmıştır. 19.50 değeri ile minimum %12 VMA değeri sağlanmıştır. ITS_{kuru} ve $ITS_{ıslak}$ değerleri ise referans numuneye göre oldukça düşüktür. TSR oranı %72.3 olarak

bulunmuş ve şartname limiti olan minimum %80 değerini sağlamamıştır. Agregada numunelerinin su emme oranları ve aşınma kayıplarının da yüksek olduğu göz önünde bulundurulduğunda bina atıklarının bitümlü temellerde %100 oranında kullanılmaları mümkün değildir.

%75 BA-%25 KT ile yapılan deney sonuçlarına göre optimum bitüm içeriği %8.58'dir. VFA değeri %82'dir. Maksimum bitüm ve VFA oranı aşılmıştır. Minimum %12 VMA oranı 21.25 değeri ile sağlanmıştır. TSR oranı %75.7 olarak bulunmuş ve şartname limiti olan minimum %80 değerini sağlamamıştır. Bu sonuçlara göre bina atıklarının bitümlü temellerde %75 oranında kullanılmaları mümkün değildir.

%50 BA-%50 KT için optimum bitüm içeriği %6.72 VFA oranı ise %89 olarak bulunmuştur. Maksimum bitüm ve VFA oranı aşılmıştır. Minimum %12 olması gereken VMA değeri %16.20 olarak tespit edilmiş, VMA kriteri sağlanmıştır. TSR oranı ise %78.2 olarak bulunmuş ve şartname limiti sağlanamamıştır. Bu sonuçlar ışığında atıklarının bitümlü temellerde %50 oranında kullanılmaları mümkün değildir.

25 BA-%75 KT için optimum bitüm içeriği %5.42, VFA değeri %70.2, VMA oranı %17.1, TSR oranı ise %85.4 olarak bulunmuş tüm şartname limitleri sağlanmıştır.

Tüm bu analizler ışığında bina atıklarının bitümlü temellerde %25 oranında kullanımı şartname kriterlerini sağlamaktadır. Karayollarında kullanılan agrega hacminin yaklaşık %95 olduğu düşünüldüğünde ikame edilen %25 atık malzeme oldukça büyük bir ekonomik kazanç sağlayacaktır. Ayrıca Moloz atıkları olarak çevreye terk edilen bu atıkların kullanılarak çevreye verdikleri zararın da azaltılması mümkün olacaktır. Hem atık malzemenin tekrar kullanılması ile büyük bir ekonomik kazanç hedeflenmekte, hem de çevreye verilen zararın azaltılması mümkün kılınmaktadır. Bunların yanı sıra, kullanılan atık malzemenin ikame edilmesi ile doğal malzeme ihtiyacı da azaltılmış olacak, daha sürdürülebilir yol yapımı gerçekleştirilmiş olacaktır.

6 Conclusions

Based on aggregate tests, water absorption rate of coarse and fine aggregate for limestone aggregate was determined as 0.85% and 1.97%, respectively. The coarse and fine aggregates water absorption rate for building wastes was determined as 3.84% and 19.29%, respectively. Since the maximum water absorption rate is limited to 2.5% in the Highway Technical Specification, it is not appropriate to use pure wastes as aggregate in bituminous base.

According to British Standard 812/112, aggregates with an aggregate impact loss above 35% are very weak. The aggregate impact test results were determined as 8.1% for limestone samples and 24.2% for building concrete wastes. Considering these results, the impact resistance test results of building waste samples are suitable.

When the experimental results were examined in terms of Los Angeles wear loss, the value was found to be 14% for the reference limestone sample and 39% for the building waste. Considering that the specification limit (KTŞ, 2013) is 30%, it is not appropriate to use building wastes alone as aggregate in bituminous bases in terms of Los Angeles test results.

The optimum bitumen content was found to be 8.87% for the samples obtained by using 100% of building wastes. The VFA value was determined as 80%. The VFA value obtained exceeds the maximum allowable specification limit value, 75%. In

addition, the optimum bitumen rate exceeds the maximum bitumen rate of 5.5%. VMA value is obtained as 19.5% which is greater than the specification's minimum limit value of 12%. The conditioned and unconditioned samples strength results are considerably lower than the reference samples. The TSR is obtained as 72.3% which is lower than the specification minimum value, 80%. Considering the high water absorption rates and abrasion losses of aggregate samples in addition of the above mentioned results, it is not possible to use 100% of aggregate as building wastes in bituminous bases.

For a mixture of 75% building wastes and 25% virgin aggregate, optimum bitumen content is obtained as 8.58% and VFA value as 82%. Both exceed the maximum limit value. The minimum VMA limit is achieved. TSR is obtained as 75.7% which is also not suitable. Based on these results, it is not possible to use 75% building waste - 25% virgin aggregate mixture as aggregate in bituminous bases.

For a mixture of 50% building waste and 50% virgin aggregate, optimum bitumen content is determined as 6.72%. VFA rate is obtained as 89% which exceed the maximum VFA limit. VMA value is obtained as 16.2% which is above the minimum specification limit. TSR is determined as 78.2% which is below the minimum specification limit. So, it is not possible to use 50% building waste and 50% virgin aggregate mixture as aggregate material for bituminous bases.

Specimens prepared with a mixture of 25% building waste and 75% virgin aggregate give the optimum bitumen content as 5.42%, VFA as 70.2%, VMA as 17.1% and TSR as 85.4% which all are ensure the specification limits.

Based on all these tests, the building wastes could be used in bituminous bases as 25% by weight of the aggregate. Considering that the aggregate volume used on highways is approximately 95%, the 25% waste material substituted will provide a great economic gain. In addition, it will be possible to reduce the damage they cause to the environment by using these wastes that are left to the environment as rubble waste. In addition to these, by replacing the waste material used, the need for virgin materials will be reduced and more sustainable road construction will be realized.

7 Kaynaklar

- [1] Ahmed I. Use of Waste Materials in Highway Construction. PhD Thesis, Purdue University, Indiana, USA, 1993.
- [2] Erdin E, Alten A, Tunalı T. "İnşaat atıklarının değerlendirilmesi". 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 13-14 Mayıs 2004.
- [3] Hendriks CF, Janssen GMT. "Reuse of construction and demolition waste in the Netherlands for road constructions". *Heron*, 46(2), 109-117, 2001.
- [4] Gürer C, Akbulut H, Kürklü G. "İnşaat endüstrisinde geri dönüşüm ve bir hammadde kaynağı olarak farklı yapı malzemelerinin yeniden değerlendirilmesi". 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 13-14 Mayıs 2004.
- [5] Al-Ali F. Geri Kazanılmış Asfalt Betonlu Malzemesinin Aşınma Tabakasında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2016.
- [6] Köfteci S. "Bitümlü sıcak karışımlardan geri dönüşüm yolu ile elde edilen agregaların performanslarının değerlendirilmesi: Deneysel bir çalışma". *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 535-545, 2017.
- [7] Karacasu M, Bilgiç Ş. "Atık lastik katkısının sıcak asfalt özelliklerine etkisi". *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), 45-64, 2009.
- [8] Okubay M, Yardım MS. "Mermer atıklarının bitümlü sıcak karışımların stabilite özelliklerine etkisi". *Engineering Sciences*, 11(3), 73-82, 2016.
- [9] Ural N, Yakşe G. "Atık mermer parçalarının yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesi". *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 53-62, 2015.
- [10] Akbulut H, Gürer C. "Atık mermerlerin asfalt kaplamalarda agrega olarak değerlendirilmesi". *İMO Teknik Dergi*, 261, 3943-3960, 2006.
- [11] Çağlar GA. Endüstriyel Atık Malzemelerin Karayollarında Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [12] Üstünkol FN, Turabi A. "Endüstriyel atıkların karayolu üst yapısında değerlendirilmesi". *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 15-27, 2009.
- [13] Omotayo OO, Akingbonmire SL, Ikumapayi CM. "Sustainable application of construction and demolition waste: a review". *Conference of the School of Engineering & Engineering Technology (SEET)*, Akure, Nigeria, 11-13 July 2017.
- [14] Batmunkh N, Siripun K, Jitsangiam P, Nikraz H. "Sustainable use of crushed concrete waste as a road base material". *4th International Conference on Sustainability Engineering and Science*, Auckland, New Zealand, 30 November 2010.
- [15] Köken A, Köroğlu MA, Yonar F. "Atık betonların beton agregası olarak kullanılabilirliği". *Selçuk-Teknik Dergisi*, 7(1), 86-97, 2008.
- [16] Pérez I, Pasandín AR, Gallego J. "Impact of construction and demolition waste aggregates on stripping in hot-mix asphalt". *Transportation Research Board 89th Annual Meeting*, Washington DC, USA, 10-14 January 2010.
- [17] Sönmez İ, Yıldırım SA. "Farklı kaynaklara sahip atıkların asfalt kaplama ve yol üst yapı malzemesi olarak kullanımı". *Türktay 2023'e Doğru Türkiye'de Tüm Yönleriyle Atık Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar Paneli*, Ankara, Türkiye, 22-23 Ekim 2014.
- [18] Chini AR, Bruening S. "Report 10- Deconstruction and Materials Reuse in the United States". <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB1303.pdf> (17.09.2019).
- [19] Gezer BB, Mersin İli Çelebili Köyü İcmeler Mevkiinde Yüzeyleyen Kireçtaşlarının Beton ve Asfalt Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2009.
- [20] Karahançer Ş. Nano Modifiye Bitümlü Sıcak Karışımların Performansının Araştırılması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2017.