

Agrega olarak mermer atığı kullanımının bitümlü sıcak karışımların nem hasarı üzerindeki etkisi

Murat OKUBAY¹, Baha Vural KÖK^{2*}, Mustafa Sinan YARDIM³,
Mehmet YILMAZ²

¹Elazığ İl Özel İdaresi

²Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ

³Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş Tarihi (Recived Date): 15.01.2018

Kabul Tarihi (Accepted Date): 10.10.2018

Özet

Bu çalışmada çevresel zararları ve depolanması ciddi bir problem haline gelen mermer atıklarının, bitümlü sıcak karışım (BSK)'lardaki kullanılabilirliği ve nem hassasiyeti üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla beyaz mermer, Elazığ vişne mermer atığı ve kalkerden oluşan agregalar, karışımda kaba, ince ve filler agrega olarak 9 farklı kombinasyonda kullanılmıştır. Gradasyonun tamamında mermer kullanılması durumunda optimum bitüm içeriğinde bir değişiklik olmamıştır. Bütün karışım tipleri Marshall stabilitesi bakımından standardın gerektirdiği minimum değeri fazlasıyla karşılamıştır. Filler olarak beyaz mermerin kullanılması koşullandırma sonrasında daha iyi stabilite değeri vermiştir. İndirek çekme mukavemeti değerleri kuru ve yaş numunelerde önemli farklılıklar göstermiştir. İndirek çekme mukavemeti oranlarına göre agregasının tamamı beyaz mermer ve kaba agrega olarak beyaz mermer dışındaki bütün mermerli karışımlar %70 değerinin üzerinde ve aynı zamanda kontrol karışımından daha iyi sonuçlar vermiştir.

Anahtar kelimeler: Bitümlü karışım, mermer atığı, gradasyon, stabilite, nem hasarı.

Murat OKUBAY, muratokubay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3781-824X>

* Baha Vural KÖK, bvural@firat.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-7496-6006>

Mustafa Sinan YARDIM, sinan.yardim@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0799-9294>

Mehmet YILMAZ, mehmetyilmaz@firat.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-2761-2598>

The effect of using waste marble as aggregate on moisture damage of hot mix asphalt

Abstract

In this study the effects of waste marble the storage and environmental damage of which is being a serious problem on moisture sensitivity and the usability in hot mixture asphalt (HMA) was investigated. For this purpose the aggregates including white marble, Elazığ cherry and limestone were used as coarse, fine and filler in the mixture providing 9 different combination. The optimum bitumen content did not change in the case of using waste marble in the whole gradation. All the mixture types ensured exceedingly the minimum specification requirement. The use of white marble as filler gave more stability value than the others after conditioning. The indirect tensile strength values showed significant differences between the dry and wet specimens. All the mixtures except the mixtures containing white marble as whole gradation and as in only coarse aggregate, represented more than 70% retained tensile strength and also performed better results than the control mixture according to indirect tensile strength ratio.

Keywords: Bituminous mixtures, waste marble, gradation, stability, moisture sensitivity.

1.Giriş

1970'li yıllardan itibaren taşımacılık imkânlarının gelişmesi ve teknolojik gelişmeler ile dünyadaki doğal taş üretimi 300 milyon tonu aşmıştır. Doğal taş üretiminin dünya genelindeki dağılımında özellikle mermer gibi karbonat içerikli kayaçların (oniks, traverten), Türkiye'nin de içerisinde bulunduğu Alp - Himalaya kuşağı ülkelerinde (İtalya, Yunanistan, İspanya, İran vb) rezervlerin yüksek olduğu tespit edilmiştir [1]. Ülkemizde neredeyse şehirlerin üçte birinde mermer yatakları ve mermer ocakları bulunmakta ve bu ocaklardan yaklaşık 50 farklı çeşit mermer elde edilmektedir. Mermer sektöründe ocak işletmecisi ve mermer imalatçısı olan, büyük ölçekli işletmecilik yapan 500'ü aşkın firmanın yanı sıra, atölye olarak faaliyet gösteren kuruluşlar ile birlikte bu sayının her geçen gün arttığı açıktır [2]. Mermerlerin kesim işlemi sırasında su ile karışan mermer tozundan, mermer çamuru oluşmaktadır. Çevresel anlamda büyük bir sorun olan mermer çamurunun yanı sıra bir de kullanılmayacak büyüklükte olan mermer parçaları da atık malzeme sınıfına girmekte ve bu atık malzemeler de moloz depolama alanlarında doğaya bırakılmaktadır. Bu atıkların değerlendirilmesi amacıyla bitümlü karışımlarda kullanılabilirliği üzerine araştırmalar yapılmaktadır.

Yapılan çalışmalarda, aynı granülometri eğrisine sahip taş tozu ve mermer tozu filler içeren numunelerin dinamik sünme değerleri tespit edilmiş ve sonuçta mermer atıkları kullanılarak hazırlanan karışımların plastik deformasyonlarının şartname değerlerini sağladığı görülmüştür. Özellikle mermer tozunun yaygın olarak bulunduğu bölgelerde, taşıma ve kurutma maliyetlerinin taş tozu filler maliyetini geçmediği kesimlerde, BSK'larda taş tozu yerine mermer tozunun filler malzemesi olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir [3,4]. Farklı kalsiyum oksit (CaO) içeriğinde mermer, kireç taşı ve hiç CaO içermeyen andezit agregasının bitümlü karışımlardaki etkilerinin incelendiği çalışmada, CaO içeriği yüksek olan mermerin aşınma değerlerinin diğer agregalara göre

yüksek çıktığı; ancak yine de şartname limitleri içinde kaldığı, andezit içeren karışımların en yüksek stabilite ve düşük akma değerine sahip olduğu, mermer içeren karışımların ise kireç taşı karışımlarından daha yüksek stabilite değeri verdiği belirtilmiştir [5]. Kireç, taş tozu ve mermerin filler olarak kullanıldığı bir çalışmada, en yüksek Marshall stabilite değeri %7,6 oranında kirecin kullanıldığı karışım, en yüksek basınç mukavemetinin %5 mermer tozu içeren karışım, en yüksek elastisite modülü ve indirek çekme mukavemeti ise %7 mermer tozu içeren karışım ile elde edilmiştir [6]. Singh vd (2013), farklı CaCO₃ ve SiO₂ içerikli mermer, granit ve kuvars agregaların styrene-butadiene-styrene (SBS) modifiyeli bitüm ile kullanılmasının bitümlü karışıma olan etkilerini incelemiştir. Mermer içeren karışımların optimum bitüm içeriğinin düşük olduğu, bunun da yüksek oranda kalsiyum içeriğinden kaynaklandığı, kalsiyumun yüksek viskoziteye neden olan karboksilik asit ve diğer yüksek oranda polar fonksiyonel grupları ortadan kaldırarak viskoziteyi düşürdüğü ve dolayısıyla düşük optimum bitüm içeriği sunduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak modifiye edilmeyen saf bağlayıcı ile üretilen karışımlarda, bazik agrega içeren karışımların, asidik agrega içeren karışımlara göre daha yüksek mukavemet ve nem direnci verdiği, ancak SBS modifiyeli bitüm kullanılması durumunda ise bu durumun tam tersi olduğu tespit edilmiştir [7].

Cui vd (2014), granit, kireç taşı ve mermer agregalar ile bitüm arasındaki yapışma direncini değerlendirmek amacıyla agregalara bitüm ile yapıştırılan alüminyum bir plağın çekilerek agregadan sıyrılma kuvveti tespit edilmiştir. Suyun agrega ve bitüm arasındaki etkisini belirlemek için deney ayrıca üç gün 20°C suda bekletilen numunelere de uygulanmıştır. Suyun etkisi altında granit ile bitüm arasındaki yapışma kuvveti düşük, ayrıca hemen hemen aynı kimyasal özelliklere sahip olsalar bile, kireç taşı ile mermerin sıyırma kuvvetleri arasında önemli bir fark olduğu tespit edilmiştir [8]. Bitüm ile yüzey arasındaki kontak açısının ölçülerek ıslanma özelliklerinin incelendiği çalışmada, cilalanmış mermer yüzeyinin boşluk içermesine rağmen iyi bir ıslatma özelliği sergilediği belirtilmiştir [9]. Ali vd (2012), bitümlü sıcak karışımlarda fillerin tamamı ve yarısı yerine mermer tozunun kullanılmasının karışımın nem hassasiyeti üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada koşullandırılmış numuneleri, 60 °C'lik su banyosunda 4, 7 ve 21 gün bekletmişlerdir. Karışımın fillerinin tamamında mermer tozu kullanılmasının kalıcı Marshall stabilite indeksine göre üstün bir performans sergilediği; ancak birinci ve ikinci durabilite indekslerine göre en fazla stabilite kaybına neden olduğu; ancak yine de kabul edilebilir limitler içerisinde kaldığı ve numunelerin ilk 7 günde maksimum durabilite kaybını yaşadıklarını belirtmişlerdir [10]. Choudhary ve Chandra, kalker, mermer ve granit tozunun filler olarak kullanımının performans etkilerini incelemiştir. Marshall stabilitesi, nem hassasiyeti ve dinamik sünme deneyi sonuçlarına göre, filler olarak mermer tozunun BSK'larda %7 oranında kullanılabileceği belirtilmiştir [11]. Gradasyonun tamamı kalker, tamamı mermer ve ince agregasının yarısı mermer olan üç farklı tipte hazırlanan bitümlü sıcak karışımların stabilitelerinin incelendiği çalışmada, en yüksek stabilite değerinin ince agregasının yarısı mermer olan karışımın, en kötü değeri ise gradasyonun tamamı mermer olan karışımın verdiği tespit edilmiştir [12].

Mermer atıklarının bitümlü karışımlarda kullanılması ile ilgili yapılan çalışmalarda deneysel analizler ve gradasyon kombinasyonları sınırlı düzeyde kalmıştır. Bu çalışmada Elazığ vişne olarak bilinen mermer ile ülkenin büyük kısmında çıkarılan beyaz mermerin atıklarının, bitümlü sıcak karışımlarda agrega olarak karışımın gradasyonunun farklı yerlerinde değerlendirilmesinin, yoğun şekilde kullanılan kalker yerine kullanılabilirliği nem hasarı bakımından incelenmiştir.

2. Materyal ve metot

Çalışmada iki farklı mermer tipinin bitümlü sıcak karışımda filler, ince agrega ve kaba agrega olarak kullanılmasının karışımın stabilite ve nem hasarı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Filler, ince ve kaba agrega olarak mermerin kullanıldığı karışımların performansı agregasının tamamı kalker olan kontrol karışımlarının performansı ile karşılaştırılmıştır. İki farklı mermer, karışımlarda sadece filler, sadece ince agrega, sadece kaba agrega olarak ve gradasyonun tamamında kullanılmıştır. Bu sayede mermerin hangi tipinin gradasyonun neresinde iyi ya da kötü sonuç verdiği belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmada bağlayıcı olarak kullanılan B160/220 sınıfı bitüm, TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilmiştir. Orijinal ve yaşlandırılmış bağlayıcıya uygulanan deney sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları sırasıyla 280 ± 30 cP ve 170 ± 20 cP viskozite değerlerine karşılık gelen sıcaklık değerleri olarak tespit edilmiştir.

Tablo 1. Bitüm özellikleri.

Özellik	Standart	Standart limiti	Sonuç
Penetrasyon (0,1 mm), 100 g, 5 s	TS EN 1426	160-220	190
Yumuşama noktası (°C)	TS EN 1427	35 – 43	40,9
Penetrasyon indeksi (PI)	-	-	0,123
Viskozite (cP, 135°C)	AASHTO TP48	Maks. 3000	237,5
Viskozite (cP, 165°C)	AASHTO TP48	-	87,5
Karıştırma sıcaklığı (°C)	-	-	142-149
Sıkıştırma sıcaklığı (°C)	-	-	127-133
RTFOT sonrası			
Kütle kaybı (%)	EN 12607-1	Maks. 1,0	0,935
Penetrasyon (0,1 mm), 100 g, 5 s	TS EN 1426	-	97
Kalıcı penetrasyon (%)	TS EN 1426	Min. 37	51
Yumuşama noktası (°C)	TS EN 1427	Min. 37	50,3
Yumuşama nok. artış (°C)	TS EN 1427	Maks. 11	9,4

Çalışmada agrega olarak, Elazığ Karayazı Bölgesi’nden temin edilen kalker ve Elazığ Organize Sanayi Bölgesi atık depolama sahasından temin edilen Elazığ vişne ve beyaz mermer atıkları kullanılmıştır. Agregaya ait özellikler ve gradasyon Tablo 2 ve Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 4’te, çalışmada kullanılan karışım tiplerinin gradasyonda kullanılan agrega tipine göre isimlendirilmesi verilmiştir. İsimlendirmedeki “K” harfi kalker, “B” harfi beyaz mermer ve “V” harfi vişne mermerini temsil etmektedir. İsimlendirmedeki ilk harf karışımdaki kaba agrega, ikinci harf karışımdaki ince agrega ve üçüncü harf filler tipini belirtmektedir.

Tablo 2. Agreganın fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Özellik	Standart	Kalker	Beyaz mermer	Vişne mermer
Özgül ağırlık	ASTM C127			
Kaba (Gsb)		2,544	2,539	2,541
İnce (Gsb)		2,561	2,552	2,556
Filler (Gsa)		2,613	2,601	2,607
Aşınma kaybı (%) (Los Angeles)	ASTM D 131	26,40	2,54	29,50
Aşınma kaybı (%) (Micro Deval)	ASTM D 131	14,10	9,82	8,50
SiO ₂ (%)			0,94	28,35
Fe ₂ O ₃ (%)			0,46	9,70
CaCO ₃ (%)			97,35	60,48

Tablo 3. Karışım gradasyonu.

Elek boyutu (mm)	19	12,5	9,5	4,75	2	0,425	0,18	0,075
Geçen (%)	100	90	75	47	35	16	11	7

Tablo 4. Karışım kombinasyonları.

Agrega	Karışım								
	KKK	KKB	KBK	BKK	KKV	KVK	VKK	BBB	VVV
Kaba	Kalker	Kalker	Kalker	Beyaz	Kalker	Kalker	Vişne	Beyaz	Vişne
İnce	Kalker	Kalker	Beyaz	Kalker	Kalker	Vişne	Kalker	Beyaz	Vişne
Filler	Kalker	Beyaz	Kalker	Kalker	Vişne	Kalker	Kalker	Beyaz	Vişne

Agregasının tamamı kalker, beyaz mermer ve Elazığ vişneden oluşan karışımların optimum bitüm içerikleri, Marshall tasarımına göre sırasıyla, %5,13, %5,13 ve %5,22 olarak bulunmuştur. Optimum bitüm içeriklerinin birbirlerine yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiş olup, bu nedenle çalışmada kullanılan bütün karışım tiplerinde optimum bitüm içeriği, kalker ve vişne mermer karışımlara ait optimum bitüm içeriğinin ortalaması olan %5,17 değeri esas alınmıştır. Böylelikle bitüm içeriği numunelerde bir farklılık meydana getirmeyip, numuneler arası kıyaslamada etkili bir faktör olmamıştır.

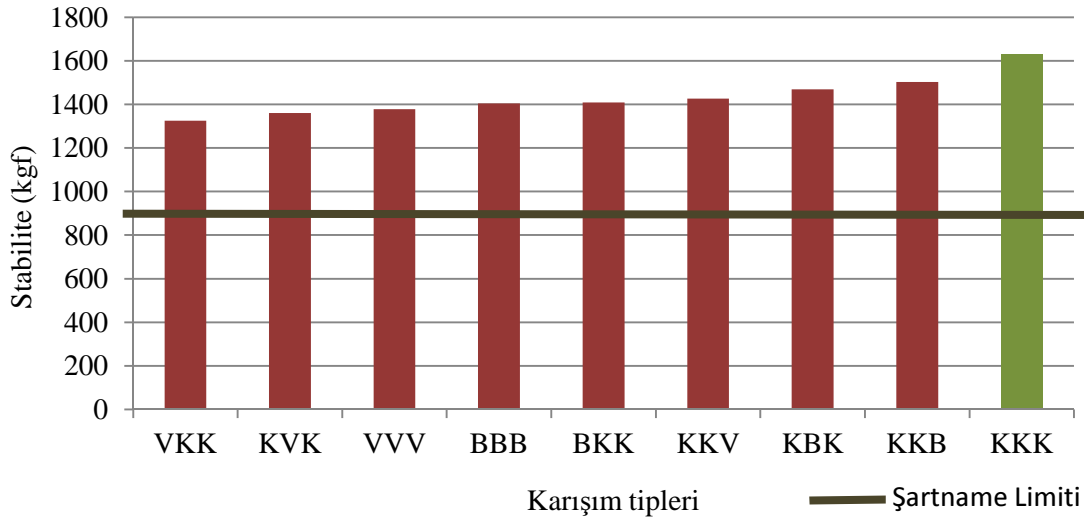
Çalışmada 9 farklı kombinasyonda hazırlanan numunelere koşullandırılmış ve koşullandırılmamış olarak Marshall stabilitesi, akma ve indirek çekme mukavemeti deneyleri uygulanmıştır.

2.1 Marshall stabilitesi ve akma deneyi sonuçları

Deneyde numuneler koşullandırılmamış ve koşullandırılmış olmak üzere iki grupta teste tabi tutulmuşlardır. Tablo 5'de koşullandırılmamış yani 60 °C'lik su banyosunda 40 dakika bekletilmiş numunelerin stabilite ve akma değerleri verilmiştir. Şekil 1'de koşullandırılmamış numunelerin stabilite değerleri küçükten büyüğe doğru sıralı olarak verilmiştir.

Tablo 5. Koşullandırılmamış numunelerin stabilite ve akma değerleri.

	Stabilite (kgf)				Akma (mm)				Marshall Oranı-MQ (kN/mm)
	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.	
KKK	1606	1608	1680	1631	3,61	3,33	3,56	3,50	4,66
KKV	1461	1446	1373	1427	3,96	3,47	3,58	3,67	3,89
KVK	1387	1368	1328	1361	3,59	3,42	3,79	3,60	3,78
VKK	1351	1318	1305	1325	3,82	3,55	4,01	3,79	3,49
VVV	1332	1362	1439	1378	4,45	4,02	4,48	4,32	3,19
KKB	1526	1449	1534	1503	2,89	2,79	2,94	2,87	5,23
KBK	1492	1453	1464	1470	2,84	3,26	3,41	3,17	4,64
BKK	1340	1403	1485	1409	4,05	3,94	4,54	4,18	3,37
BBB	1419	1383	1411	1404	3,81	3,74	3,95	3,83	3,66



Şekil 1. Koşullandırılmamış numunelerin stabiliteledeki değişim.

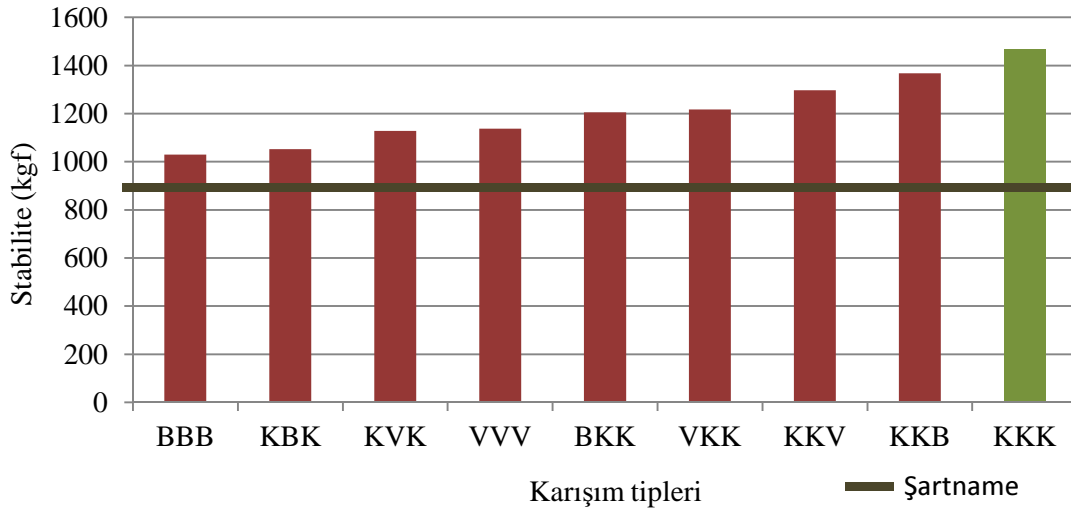
Şekilden görüldüğü üzere bütün karışım tipleri standardın [13] belirtmiş olduğu minimum 900 kg alt sınır değerinden daha yüksek stabilite değerleri vermiştir. En yüksek stabilite değerini agregasının tamamı kalkerden oluşan kontrol karışımı (KKK) vermiştir. İçinde mermer bulunan karışımların stabilite değerleri ise birbirinden çok farklı sonuçlar vermemiştir. Bu deney sonuçlarına göre, beyaz ve vişne mermerin filler olarak kullanılması, ince agrega ve kaba agrega olarak kullanılmasından daha iyi sonuçlar vermektedir. Mermer tipleri arasında ise, beyaz mermer vişne mermere göre bir derece daha yüksek stabilite değerleri vermiştir. En kötü performansı kaba agrega olarak sadece vişne mermerin kullanıldığı karışım (VKK) vermiştir.

Tablo 6'da koşullandırılmış yani 60 °C'lik su banyosunda 24 saat bekletilmiş numunelerin stabilite ve akma değerleri, Şekil 2'de ise bu değerler küçükten büyüğe doğru sıralı olarak verilmiştir. Burada sıralamanın koşullandırılmamış numunelerdekine göre değiştiği tespit edilmiştir. Ancak burada da yine hiçbir mermer içeren karışımın kontrol karışımından (KKK) daha yüksek stabilite vermediği görülmektedir. Kontrol karışımından sonra en yüksek stabilite değeri yine beyaz mermerin sadece filler olarak kullanıldığı karışımında (KKB) çıkmıştır. En düşük stabilite değerini ise, agregasının

tamamı beyaz mermerden oluşan karışım (BBB) vermiştir. Koşullu ve koşulsuz numuneler birlikte değerlendirildiğinde, her iki mermerin de filler olarak kullanıldığı karışımların kontrol karışımına yakın değerler verdiği görülmektedir.

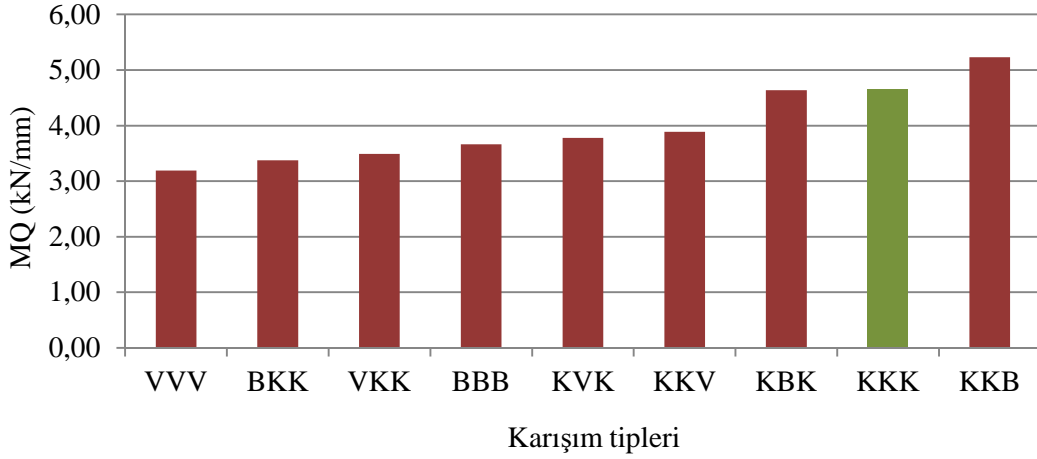
Tablo 6. Koşullandırılmış numunelerin stabilite ve akma değerleri.

	Stabilite (kgf)				Akma (mm)				Marshall Oranı-MQ (kN/mm)
	1	2	3	Ort.	1	2	3	Ort.	
KKK	1510	1428	1468	1469	4,48	4,68	4,59	4,58	3,20
KKV	1316	1249	1328	1298	3,78	3,94	3,71	3,81	3,41
KVK	1165	1080	1140	1128	3,47	3,56	3,86	3,63	3,11
VKK	1201	1230	1221	1217	4,25	3,79	4,06	3,98	3,06
VVV	1106	1111	1196	1138	4,75	4,94	4,81	4,83	2,35
KKB	1324	1431	1349	1368	4,20	4,40	4,52	4,37	3,36
KBK	1078	1027	1054	1053	4,37	4,26	4,12	4,25	3,05
BKK	1252	1088	1277	1206	5,12	5,26	4,93	5,10	2,36
BBB	1019	1044	1028	1030	4,68	4,35	4,20	4,53	2,27

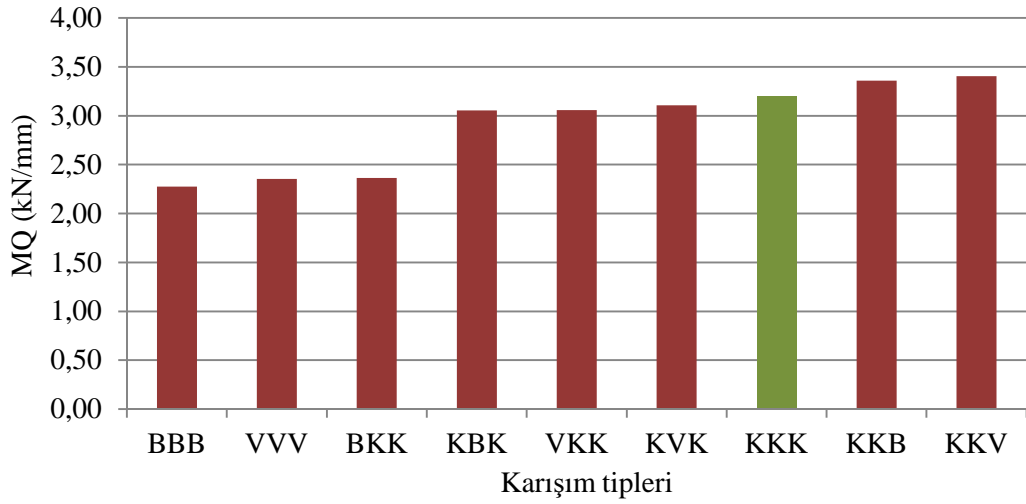


Şekil 2. Koşullandırılmış numunelerin stabilite değerleri.

Şekil 3 ve Şekil 4'te sırasıyla koşullandırılmamış ve koşullandırılmış numunelerin stabilite/akma değerleri küçükten büyüğe doğru sıralı olarak verilmiştir. Rijitliğin bir göstergesi olan Marshall Oranı (MQ) değerlerine [14] bakıldığında stabilitedeki sıralamanın değiştiği görülmektedir. Hem koşullu hem de koşulsuz durumda beyaz mermerin sadece filler olarak kullanıldığı karışımlar (KKB), kontrol karışımından daha yüksek MQ değerleri vermektedir. MQ açısından en kötü sonucun koşullandırılmamış durumda tümü vişne mermerden oluşan agrega karışımında (VVV); koşullandırılmış durumda ise tümü beyaz mermerden oluşan karışımında (BBB) ortaya çıktığı görülmüştür. Koşullandırılmış durumda MQ bakımından en kötü ikinci karışım da ilkinde yakın düzeydeki VVV'dir. Stabilitede olduğu gibi burada da mermerlerin fillerden kaba agregaya doğru kullanım sıralamasında MQ değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

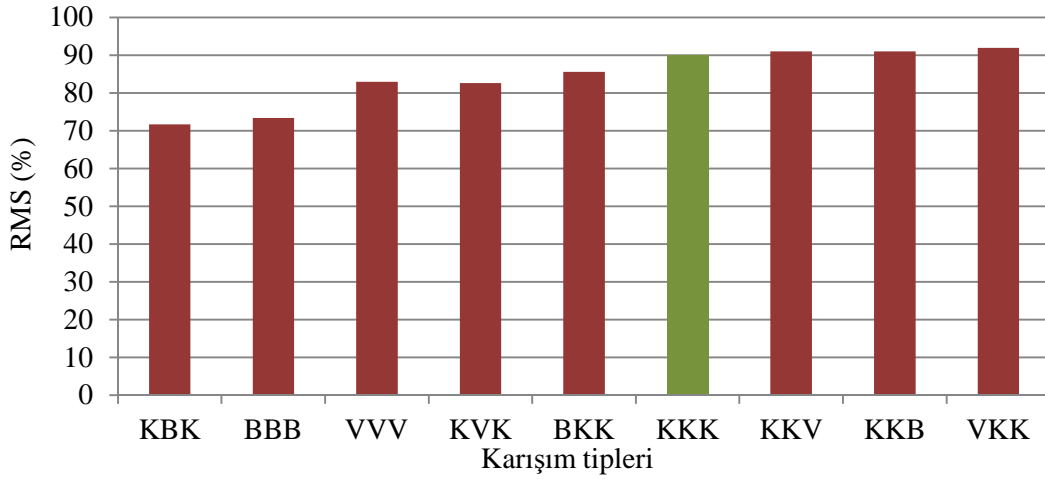


Şekil 3. Koşullandırılmamış numunelerin MQ değerleri.



Şekil 4. Koşullandırılmış numunelerin MQ değerleri.

Şekil 5'te koşullandırılmış numunelerin stabilite değerlerinin, koşullandırılmamış numunelerin stabilitelere oranı olan RMS değerleri küçükten büyüğe doğru sıralı olarak verilmiştir. Beyaz mermerin ince agrega olarak kullanıldığı numuneler (KBK, BBB) dışındaki numuneler %80 değerinin üstünde sonuçlar vermiştir. RMS sonuçlarına göre, özellikle kaba ve ince agregaların kalker olduğu karışımlara (KKK, KKV, KKB) ait değerler birbirine çok yakındır. Mermerin gradasyondaki kullanım sıralamasının fillerden kaba agregaya doğru olması durumunda, RMS değerlerinde düzenli bir değişim olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 5. Numunelerin RMS değerleri.

Marshall stabilitesi ve akma deneyi sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, gradasyonun tamamında ve ince agrega olarak beyaz mermerin kullanıldığı numuneler (BBB, KBK) hariç, bütün mermer içeren karışımların minimum stabilite ve nem hasarı gereksinimlerini karşıladığı, mermerin en iyi sonuçları filler olarak kullanılması durumunda verdiği, stabilite ve MQ sonuçlarına göre beyaz mermerin vişne mermere göre bir derece daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

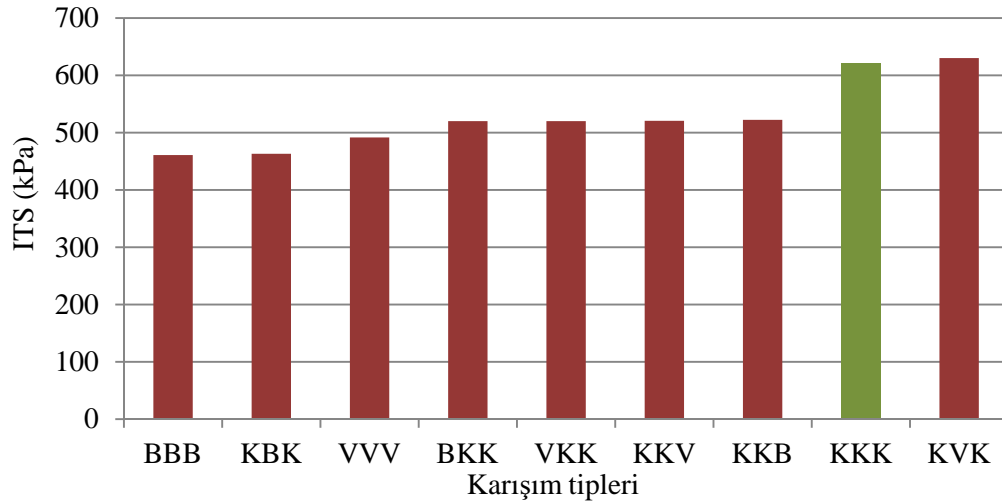
2.2 İndirek Çekme Mukavemeti Deney Sonuçları

İndirek çekme mukavemeti deneyinde her bir karışım tipi için üçer adet olacak şekilde üretilen numuneler iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup numuneler 1 saat 25 °C'lik su banyosunda bekletildikten sonra, ikinci grup numuneler ise 24 saat 60 °C'deki su banyosunda ve ardından 1 saat 25 °C'deki su banyosunda bekletilerek kırılmıştır. Birinci grup numuneler kuru, ikinci grup numuneler yaş numuneler olarak tanımlanmıştır. Yaş numunelerin indirek çekme mukavemetleri (ITS) kuru numunenin çekme mukavemeti değerlerine bölünerek karışımların nem hassasiyetleri (TSR) tespit edilmiştir. Bu amaçla numuneler standardın (AASHTO-T283) belirttiği üzere %7±1 hava boşluğunda üretilmişlerdir [15]. Tablo 7'de deneye tabi tutulan numunelerin ITS değerleri verilmiştir.

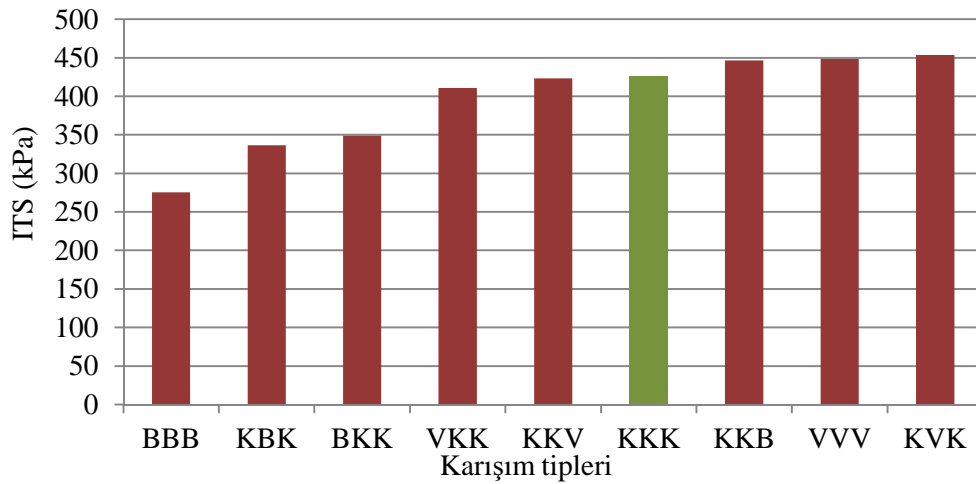
Tablo 7. Koşullu (yaş) ve koşulsuz (kuru) numunelerin ITS değerleri.

Kuru		Yaş	
Numune	ITS (kPa)	Numune	ITS (kPa)
BBB	461,1	BBB	275,5
KBK	463,1	KBK	336,5
VVV	491,8	VVV	448,6
BKK	520,1	BKK	348,9
VKK	520,2	VKK	411,0
KKV	520,7	KKV	423,3
KKB	522,4	KKB	446,5
KKK	619,9	KKK	426,3
KVK	629,9	KVK	453,6

Şekil 6’da kuru numunelerin indirek çekme mukavemeti değerleri küçükten büyüğe doğru sıralı olarak verilmiştir. En düşük indirek çekme mukavemeti değerini gradasyonunun tamamı beyaz mermerden oluşan karışım (BBB) verirken, en yüksek mukavemet değerini kontrol karışımı (KKK) ile benzer mukavemet değeri veren, sadece ince agregası vişne mermeri olan karışım (KVK) vermiştir. Vişne mermerin ince agrega olarak kullanılmasının, beyaz mermerin ince agrega olarak kullanılmasından daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. Beyaz ve vişne mermerin sadece filler (KKV, KKB) ve sadece kaba agregası (BKK, VKK) olarak kullanıldığı karışımların indirek çekme mukavemeti değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Şekil 7’de yaş numunelerin indirek çekme mukavemeti değerleri sıralı olarak verilmiştir.



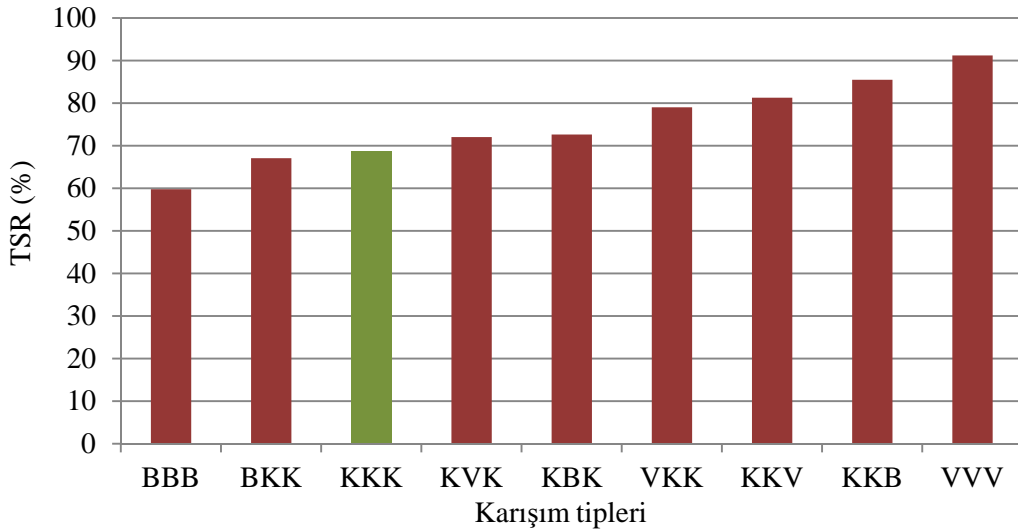
Şekil 6. Kuru numunelerin indirek çekme mukavemeti değerleri.



Şekil 7. Yaş numunelerin indirek çekme mukavemeti değerleri.

Koşullandırılmış numunelerde, kuru numunelerde olduğu gibi yine en düşük iki değere, gradasyonunun tamamı beyaz mermerden meydana gelen (BBB) ve sadece beyaz mermerin ince agregası olarak kullanıldığı (KBK) karışımlar; en yüksek değere ise ince agregası vişne mermeri kullanılan karışımlar (VVV, KVK) sahip olmuştur. Sadece beyaz mermerin filler olarak kullanıldığı karışım da (KKB), bunlara yakın sonuç vermiştir.

Gradasyonunun tamamı vişne mermer olan karışım (VVV) ise koşullandırma işleminden sonra, koşullandırılmamış durumuna göre sıralamada hemen hemen en üst seviyeye yerleşmiştir. Kuru ve yaş numunelerin sıralamasında en bariz değişiklik bu numunede olmuştur. Gradasyonun tamamında vişne mermerin kullanılması (VVV), vişne mermerin sadece ince agrega olarak kullanılması (KVK) ve beyaz mermerin sadece filler olarak kullanılması (KKB), kontrol karışımından bir derece daha yüksek indirek çekme mukavemeti değerleri vermiştir. Karışımların nem hassasiyetlerini değerlendirebilmek için yaş numunelerin indirek çekme mukavemetlerinin kuru numunelerin indirek çekme mukavemetine oranı olan TSR değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin değişimi Şekil 8’de sıralı olarak verilmiştir. Nem hassasiyeti açısından da en düşük değeri gradasyonunun tamamı beyaz mermerden oluşan karışım (BBB) vermiştir. Kontrol karışımı (KKK), birçok mermer içeren karışımından daha kötü sonuç vermiştir. Bunun nedeninin kontrol karışımının kuru indirek çekme mukavemeti değerlerinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Gradasyonunun tamamı vişne mermer olan karışım (VVV) en üstün performansı sergilemiştir. Bu karışımından sonra en yüksek nem hassasiyeti değerlerine beyaz ve vişne mermerin sadece filler olarak kullanıldığı karışımlar (KKB, KKV) sahip olmuştur. Söz konusu bu VVV, KKB ve KKV karışımları, kontrol karışımından sırası ile %32, %24 ve %18 daha yüksek TSR değeri vermiştir.



Şekil 8. Numunelerin indirek çekme mukavemeti değerleri.

3. Sonuç

Bu çalışmada mermer atıklarının, bitümlü sıcak karışımlardaki kullanılabilirliği ve karışımın nem hassasiyeti üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çerçevede iki farklı mermer atığı ve kalker kaynaklı malzeme, karışım içinde kaba, ince ve filler agrega olmak üzere 9 farklı kombinasyon halinde kullanılmıştır.

Mermer atığı içeren karışımlar için yapılan optimum bitüm içeriği araştırmasında, gradasyonun tamamında kimyasal olarak diğer agregalardan farklı olan vişne mermer kullanılması durumunda bile, optimum bitüm oranında önemli bir değişikliğin olmadığı görülmüştür. Marshall stabilitesi ve akma deneyi sonuçlarına göre, bütün karışım tiplerinin standardın gerektirdiği minimum stabiliteyi fazlasıyla karşıladığı ve en iyi

sonucun tamamı kalkerden oluşan karışımların verdiği, içinde mermer atığı bulunan karışımların ise birbirinden çok farklı sonuçlar vermediği tespit edilmiştir. Koşullandırılmış numunelerin stabilite değerlerine göre, beyaz mermerin sadece filler olarak kullanıldığı karışım (KKB), mermer içeren karışımlar içinde en iyi sonucu vermiştir. İndirek çekme mukavemeti deney sonuçlarına göre en düşük değeri gradasyonun tamamı beyaz mermerden oluşan karışım (BBB) verirken, en yüksek değeri agregasının tamamı kalker olan kontrol karışımının (KKK) verdiği görülmüştür. Vişne mermerin ince agrega olarak kullanılması, beyaz mermerin ince agrega olarak kullanılmasından daha iyi sonuç vermiştir. Koşullandırılmış numunelerde ise en yüksek değeri, agregasının tamamı vişne olan (VVV) ve vişne mermerin sadece ince agrega olarak kullanıldığı karışımlar (KVK) vermiştir. İndirek çekme mukavemeti oranlarına göre, agregasının tamamı beyaz mermer (BBB) ve kaba agrega olarak sadece beyaz mermer (BKK) dışındaki bütün mermerli karışımlar, %70 değerinin üzerinde ve aynı zamanda kontrol karışımında (KKK) daha iyi sonuçlar vermiştir.

Bu çalışmada atık mermerlerin karışım gradasyonunun farklı yerlerinde kullanılması durumunda, nem hassasiyeti üzerindeki etkisi incelenmiş olup, burada iyi çıkan sonuçların başka deney yöntemlerinde kötü çıkabileceği gerçeği ile dinamik yüklemeli deneylerin de yapılması malzemenin kullanılabilirliğini anlamak adına faydalı olacaktır.

Kaynaklar

- [1] İstanbul Maden ve Metaller İhracatçı Birlikleri, İMMİB pazara giriş doğal taş sektörü strateji çalışması, Ekim 2010, İstanbul.
- [2] T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, Mermer ve granit sektör Araştırması, Ankara, (1995).
- [3] Terzi, S. ve Karşahin, M., Mermer toz atıklarının asfalt betonu karışımında filler malzemesi olarak kullanımı, **İMO Teknik Dergi**, 193, 2903-2922, 2003.
- [4] Karşahin, M. ve Terzi S., Evaluation of marble waste dust in the mixture of asphaltic concrete, **Construction and Building Materials**, 21, 1616-620, 2007.
- [5] Akbulut, H. ve Gürer C., Use of aggregates produced from marble quarry waste in asphalt pavements, **Building and Environment**, 42, 1921–1930, 2007.
- [6] Chandra, S., Kumar, P., Feyissa, B.A., Use of marble dust in road construction, **Road Materials and Pavement Design**, 3, 317-330, 2002.
- [7] Singh, M., Kumar, P. ve Maurya, M.R., Strength characteristics of SBS modified asphalt mixes with various aggregates, **Construction and Building Materials**, 41, 815–823, 2013.
- [8] Cui, S., Bamber, R.K., Kinloch, A.J. ve Taylor, A.C., Durability of asphalt mixtures: Effect of aggregate type and adhesion promoters, **International Journal of Adhesion&Adhesives**, 54, 100–111, 2014.
- [9] Fischer, H.R., Dillingh, E.C. ve Hermse, C.G.M., On the Interfacial interaction between bituminous binders and mineral surfaces as present in asphalt mixtures, **Applied Surface Science**, 265, 495– 499, 2013.
- [10] Ali, N., Raml, M.I. ve Hustim, M., Influences of flood puddle on durability of the asphalt concrete using marble waste, **International Journal of Civil & Environmental Engineering**, 12, 4, 6-11, 2012.
- [11] Choudhary, R. ve Chandra, S., Granite and marble dusts as filler in asphalt Concrete, <http://www.civil.uminho.pt/ismarti/08icti/abstracts/160-abstract.pdf>, 22 Mayıs 2014.

- [12] Köfteci, S. ve Koçkal, N.U., Using marble wastes as fine aggregate in hot mix asphalt production, **International Journal of Civil and Structural Engineering**, 1, 130-134, 2014.
- [13] Karayolları Genel Müdürlüğü, **Karayolları Teknik Şartnamesi**, Ankara, (2006).
- [14] Zoorob, S.E., Suparna, L.B., Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt), **Cement Concrete Composition**, 22, 233–242, 2000.
- [15] AASHTO-T283, Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage.