



Atık Mermerlerin Parke Taşlarında İnce Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

Investigation of Usability of Waste Marble as Fine Aggregate in Paving Stones

Melih Naci Ağaoğlu¹, Ezgi Çeviren¹, * Erdinç Halis Alakara¹

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 60000 Tokat, Türkiye

Başvuru/Received: 22/06/2021

Kabul / Accepted: 16/09/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/01/2022

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2022

Öz

Bu çalışmada, Tokat ili mermer işleme fabrikalarında oluşan atık mermerlerin beton parke taşlarında ince agrega olarak kullanımının uygunluğu araştırılmıştır. Karışımlarda bağlayıcı olarak CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Agrega olarak en büyük tane çapı 8 mm olan kalker kökenli kırmataş agrega ile en büyük tane çapı 4 mm olan atık mermer agregası kullanılmıştır. Karışımlarda şebeke suyu kullanılmış olup herhangi bir kimyasal katkı malzemesi kullanılmamıştır. Çalışma kapsamında Karayolları Teknik Şartnamesi (2013) beton parke taşları özelliklerine uygun olarak doğal agrega gradasyonu hazırlanmıştır. Bu gradasyon sabit tutularak atık mermerler agrega karışımının ince agrega grubuna kütlece %25, %50, %75 ve %100 oranında ikame edilmiştir. Beş ayrı deneye tabi tutulan beş farklı (%0 (katkısız), %25, %50, %75 ve %100) karışım oranına sahip numune gruplarında her bir deney için 3 adet numune olmak üzere toplamda 75 adet (5x5x3) beton parke taşı numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin deney sonuçları incelendiğinde, boyut-görünüş, su emme oranı, donma-çözünme direnci ve aşınma direnci bakımından şartname limitlerinin sağlandığı görülmüştür. Yarmada çekme dayanımı özellikleri incelendiğinde ise %25 ve %50 oranında ikame edilen mermer agregası ile hazırlanan numunelerin yeterli dayanım gösterdiği; buna karşın %75 ve %100 oranında ikame edilen mermer agregası ile hazırlanan numunelerin ise yeterli dayanımı sağlamadığı görülmüştür. Sonuç olarak atık mermerlerin beton parke taşlarında ince agrega olarak %50 oranına kadar kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Atık mermer, Parke taşı, Geri dönüşüm, Yarmada çekme dayanımı, Aşınma kaybı, Donma-çözünme direnci”

Abstract

In this study, the suitability of the use of waste marbles formed in marble processing factories in Tokat province as fine aggregate in concrete paving stones was investigated. CEM I 42.5 R type cement was used as binder in the mixtures. As aggregates, limestone-based crushed stone aggregate and waste marble aggregate were used. Tap water was used in the mixtures and no chemical additives were used. Within the scope of the study, natural aggregate gradation was prepared in accordance with the specifications of the Highways Technical Specification (2013) concrete paving stones. By keeping this gradation constant, waste marbles were substituted for the fine aggregate group of the aggregate mixture at the rate of 25%, 50%, 75% and 100%. In the sample groups with five different mixing ratios, which were subjected to five different tests, a total of 75 (5x5x3) concrete paving stone samples were prepared, 3 for each test. When the test results of the prepared samples were examined, it was seen that the specification limits were met in terms of size-appearance, water absorption rate, freeze-thaw resistance and abrasion resistance. When the split tensile strength properties are examined, it is seen that the samples prepared with 25% and 50% substituted marble aggregate show sufficient strength; On the other hand, it was observed that the samples prepared with 75% and 100% substituted marble aggregate did not provide sufficient strength. As a result, it has been determined that waste marbles can be used up to 50% as fine aggregate in concrete paving stones.

Key Words

“Waste marble, Paving stone, Recycling, Splitting tensile strength, Abrasion loss, Freeze-thaw resistance”

1. Giriş

Beton, temel olarak agrega, su, bağlayıcı malzeme ve katkılarından oluşan kompozit bir yapı malzemesidir. Yüksek mukavemet, çevresel koşullara karşı dayanıklılık, diğer inşaat malzemelerine kıyasla daha ekonomik olması gibi özelliklere sahiptir. Tüm bu özelliklerinden dolayı beton, günümüzde en yaygın kullanılan yapı malzemesi olmuştur. Betonun oluşturan bileşenler arasında agrega, toplam beton hacminin yaklaşık %60-%75' ini oluşturmaktadır. Bu sebeple agrega, betonun performansını etkileyen en önemli malzemelerden birisi olmaktadır (Behera vd., 2014). Agregalar, inşaat sektöründe hemen her alanda kullanılan yapı malzemeleridir. Beton karışımlarında, yol kaplamalarında, demiryolu inşaatında, drenaj sistemlerinde vs. pek çok kullanım alanı vardır. Agregalar doğal ve yapay olmak üzere farklı şekillerde elde edilebilmektedirler (Baradan vd., 2015).

Son yıllarda sanayileşme ve kentleşme hızındaki büyük artış, betonun yüksek miktarda doğal kaynak tüketmesine neden olmaktadır. Her yıl yaklaşık 20 milyar ton hammadde (kaba agrega) kullanılmaktadır. Bu nedenle beton endüstrisi; hammaddenin %50' sini, toplam enerjinin %40' ını ve toplam atıkların %50' sini oluşturduğu için çevre, enerji ve ekonomi alanlarında önemli kayıplara neden olmaktadır ve büyük miktarlarda doğal kaynak tüketmektedir (Oikonomou, 2005). Böylece, inşaatta kullanılacak betonun; çevresel etki, enerji tüketimi ve CO₂ yoğunluğunun en aza indirilmesi ile ilgili çalışmalar inşaat sektörü için oldukça önemli bir hale gelmiştir. (Anitha vd., 2021; Saloni vd., 2021; Binici, 2007; Demir, 2009)

Parke kaplamalar, Romalılardan beri kullanıla gelmiş bir üst yapı tipidir. Parke taş kaplamalar; temiz, dayanıklı ve tekerlek yuvarlanmasına elverişli bir yüzey oluşturması açısından oldukça avantajlı bir kaplama çeşididir. Parke taşlar, ağır taşıt trafiğinin olmadığı yollarda ulaşım ve peyzaj amaçlı olarak kullanımı her geçen gün artan, doğal veya yapay olarak elde edilen zemin kaplama malzemeleridir. (Filiz vd., 2010). Şehir içi yollar, park alanları, meydanlar, endüstriyel sahalar, kaldırımlar ve benzeri birçok yerde çok eskiden beri doğal taşlardan veya betondan imal edilen parkeler kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda doğal taşların yerini prefabrik üretim olan beton parkeler almaktadır. Bunun nedeni olarak; istenilen şekillerde ve renklerde üretilmesi, her mevsimde uygulanabilmesi, döşeme ve sökme işlerinin kolay olması, çatlama ve kırılma olayının daha az olması, istenilen dayanımda üretilebilmesi gibi özelliklerinin olması söylenebilir (Yüksel vd., 2007; Kaya & Karakurt 2016).

Mermer, hemen her yerde kullanım alanı bulan ve dünyada oldukça fazla miktarda bulunan madenlerden biridir. Dünyadaki kaliteli ve en zengin mermer yataklarının büyük bölümünün Akdeniz ülkelerinde yer aldığı bilinmektedir. Türkiye, dünyada mermer üretiminde ve ihracatında ilk sıralarda yer alan ülkeler arasındadır. Mermerin ocaktan çıkarılması ve tesislerde işlenmesi sırasında oldukça büyük miktarlarda atıklar oluşmaktadır. Bu atıklar büyük parçalar şeklinde veya toz halinde olmaktadır. Mermer işleme tesislerinin yoğun olarak bulunduğu bölgelerde bu atıklar çevreyi olumsuz etkilemektedir. Ayrıca bu atıkların sebep olduğu tozlar yakın çevresindeki bitki örtüsüne de ciddi zararlar vermektedir (Öztürk, 2018; Filiz vd., 2010).

Son yıllarda atık malzemelerin betonda kullanımıyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Miraldo vd., 2021; Kim & Lee 2011; Patra & Mukharjee, 2017; Coppola vd., 2016). Beton parke taşlarında atık malzeme kullanımıyla ilgili çalışmalardan bazıları ise aşağıda verilmiştir.

Kırılmış tuğla atıklarının parke taşlarında kullanımının araştırıldığı çalışmada; tuğla kırıkları doğal agrega yerine %100, %65, %60, %50, %32.5 ve %25 oranlarında kullanılmıştır. Tuğla agregasının yüzdesi arttıkça betonun yoğunluğu azalmış, su emme oranı yükselmiş, basınç ve yarmada çekme mukavemeti değerleri azalmıştır. Tüm karışımların su emme değeri maksimum %6 sınırını aşmıştır. Donma-çözülme testi sonrası kütle kaybı ise tüm karışımlar için maksimum 1kg/m² değerinin altında kalmış ve en iyi hava koşullarına dayanıklılık sınıfının gereksinimlerini karşılanmıştır. Tuğla agregasının yüzdesi arttıkça numunelerin aşınma direnci azalmıştır. Ancak tüm karışımlar standardın belirlemiş olduğu minimum gereksinimleri karşılamıştır. Çalışma sonucunda standardın gerekliliklerini karşılayan beton parke taşlarını hazırlamak için agrega olarak %32.5 oranına kadar geri dönüştürülmüş tuğla agregası kullanmanın mümkün olduğu görülmüştür (Jankovic vd., 2012).

Hindistan'da yapılan bir çalışmada, doğal agrega ile farklı yüzdelerde atık mermer agregası ikame edilmiştir. Su emme, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri yapıldığında elde edilen sonuçlara göre; geleneksel agreganın, %70 orana kadar mermer atığı agregası ile değiştirilmesinin optimum sonuçlar için yeterli olduğu görülmüştür. Atık malzeme kullanımı ile maliyetin düştüğü ve inşaat atıklarının bertaraf edilmesi sorununun çözülmesi ile çevrenin korunmasına yardımcı olduğu sonucuna varılmıştır (Khandve & Rathi, 2015).

Geri dönüştürülmüş atık lastiklerin beton parke taş üretiminde, kum yerine hacimce %0, %10, %20 ve %30 oranlarında kullanıldığı çalışmada; yoğunluk, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kayma direnci gibi fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. %10 oranında atık lastik eklenmesi ile basınç dayanımı katkısız numunelerine kıyasla artmıştır. Ancak %20 ve %30 oranında atık lastik kullanılması durumunda numunelerde büyük gözeneklilik gözlenmiş ve bu durum önemli derecede dayanım kaybına neden olmuştur. Ayrıca, atık lastik kullanımı betonun gevrek davranışını azaltarak daha sünek bir yapının elde edilmesini sağlamıştır (Ling, 2012).

Silva vd. (2013) farklı oranlarda ince agrega içeren taze ve sertleşmiş betonun mekanik özelliklerini incelemiştir. Karışımlarda atık mermerler %0, %20, %50 ve %100 oranlarında agrega olarak kullanılmıştır. %60' a varan ikame oranlarında betonun mekanik

özelliklerinde iyileşmeler gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, mermer ocaklarından elde edilen atıkların beton üretiminde ve özellikle %60'a varan oranlarda kullanılmasının yeterli olduğu tespit edilmiştir.

Durmuş & Şimşek (2008) yapmış oldukları çalışmada çimentoya %10, %20, %30 ve %40 oranında uçucu kül (UK) ikame ederek parke taşı hazırlamışlardır. Üretilen parke taşlarına standart ve tuzlu su kürü uygulanmıştır. Beton parke taşlarının yarmada çekme, su emme ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak tuzlu su küründe, erken yaşlarda, yarmada çekme dayanımını artırırken, ileriki yaşlarda düşürmüştür. Ayrıca, beton parke taşında UK ikame oranının artıkça aşınma kaybı değerinin arttığı ve su emme oranının ise azaldığı tespit edilmiştir.

Mermer tozunun parke taşlar üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, iki farklı çimento tipi ve iki farklı su/çimento oranı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, mermer tozu kullanımı ile betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin katkısız numunesine göre yükseltilebildiği (basınç dayanımını %32.3, yarmada çekme dayanımını %13.5 ve elastisite modülü değerlerini %15.2 artırılabilen, su emme oranını %25.8, aşınma kaybını %8.4 ve donma çözülme sonrası mukavemet kaybını %87.7 azaltılabilmektedir) görülmüştür (Filiz vd., 2010).

Atık çay külünün beton parke taşlarına olan etkisinin incelendiği çalışmada, atık çay külü çimentoya %10, %20, %30, %40 ve %60 oranında ikame edilmiştir. İşlenebilirlik, yoğunluk, basınç ve eğilme dayanımı, su emme, asit saldırılarına karşı direnci ve çeşitli mikro yapı testlerinin uygulandığı çalışmada fiziksel ve mekanik özellikler incelenmiştir. Atık çay külünün gözenekli olmasından dolayı, parke taşlarının boşluğu artmış ve atık çay külü ikamesi parke taşlarının kalitesini düşürmüştür. Ancak %20 ve %40 atık çay külü içeren parke taşlarının sırasıyla C sınıfı (yaya alanları) ve D sınıfı (bahçe alanları) için Endonezya Ulusal Standardı tarafından belirlenen minimum koşulları sağladığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, atık çay külünün çimentoya ikame edilmesinin sürdürülebilirlik ve düşük maliyet açısından önemli katkılar sağlayacağı düşünülmüştür (Djamaluddin vd., 2020).

Bu çalışmada, Tokat ili mermer işleme tesislerinde ortaya çıkan atık mermer parçalarının beton parke taşlarında ince agregalar olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında, öncelikle atık mermer parçaları laboratuvar tipi konkasörde kırılarak ince agregalar boyutuna getirilmiştir. Sonrasında, atık mermerler, agregalar karışımının ince agregalar grubuna kütlece %25, %50, %75 ve %100 oranlarında ikame edilmiştir. Katkısız numuneleri ile farklı oranlarda atık mermer agregası içeren beton parke taşı numunelerine boyut-görünüş analizi, aşınma direnci tayini, yarmada çekme deneyi, su emme deneyi ve donma-çözülme deneyleri uygulanarak sonuçlar birbiriyle kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara bakılarak, üretilen numunelerin dahil olduğu sınıflar Tablo 1' de gösterilen Karayolu Teknik Şartnamesi' ne göre belirlenmiştir.

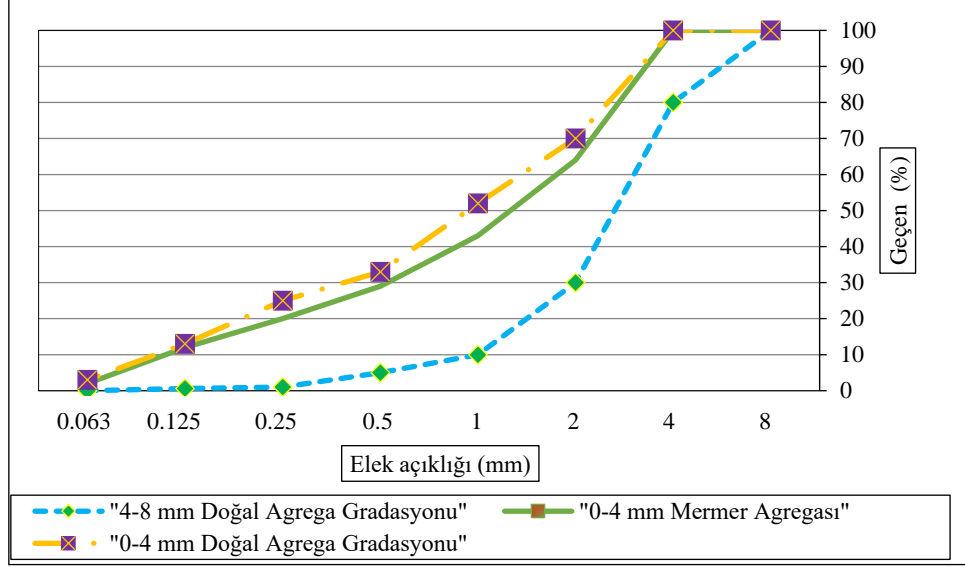
Tablo 1. Prefabrik beton parke numunelerine yapılacak deneyler ve uygunluk kriterleri (Karayolu Teknik Şartnamesi 2013)

Deney	Uygunluk kriteri
Fiziksel Görünüş	Parke taşlarının yüzeyinde çatlak, kırık, çukur, döküntü, pullanma veya soyulma bulunmamalı ve yüzleri düzgün ve köşeleri muntazam olmalı, simetri ve biçim bozuklukları bulunmamalıdır.
Malzeme Özellikleri	Üretimlerde kullanılacak agregalar, çimento, su, kimyasal katkıları ve boya katkıları Kısım 316.01.02'de belirtilen kriterlere uygun olacaktır.
Boyutlar Yönünden Uygunluk	Kısım 316.01.03'e uygun olmalıdır.
Su Emme Oranı	1.Sınıf parkelerde performans ölçümü gerekmez. 2.Sınıf parkelerde kütlece ortalama olarak %6'dan fazla olmayacaktır.
Aşınma Dayanımı	1.Sınıf parkelerde performans ölçümü gerekmez. 2. ve 3.Sınıf parkelerde Geniş Diskli Aşınma deneyi metodu kullanılarak ölçülen değer 23 mm' den fazla olmayacaktır, alternatif olarak Böhme deneyi metodu kullanılarak ölçülen deney sonuçlarından hiçbirisi 20.000 mm ³ /5.000 mm ² 'den fazla olmayacaktır.
Mukavemet	Mukavemet tayini; TS 2824 EN 1338 standardına göre Yarmada-çekme deneyi yapılarak belirlenecek olup, Kısım 316.01.06.01'de belirtilen kriterlere uygun olacaktır.
Donma ve Çözülme Dayanımı	1.Sınıf parkelerde performans ölçümü gerekmez. 3.Sınıf parkelerde donma çözülme deneyinden sonra metrekaredeki kilogram kütle kaybı ortalama olarak %1,0'dan büyük olmamalıdır. Tek numune sonuçlarından hiçbirisi %1,5'ten büyük olmamalıdır.

2. Deneysel Program

2.1. Materyal

Deneyler kapsamında TS EN 197-1 standardına uygun normal Portland çimentosu (CEM I 42.5 R) kullanılmıştır. Çimentoya ait kimyasal özellikler Tablo 2’ de verilmiştir. Çalışmada agrega olarak; kalker kökenli “0-4 mm” ve “4-8 mm” boyutuna sahip doğal agrega (D) ile atık mermer parçalarından elde edilen “0-4 mm” boyutuna sahip mermer agregaları (M) kullanılmıştır. Agregalara ait granülometri eğrileri Şekil 1’de gösterilmiştir. Doğal agregalar, Tokat ilinde beton parke taşlarının imalatında, hali hazırda kullanılmakta olan agregalardan elde edilmiştir. Atık mermer agregaları ise Tokat ili mermer işleme tesislerinde ortaya çıkan ve Şekil 2’de görüldüğü gibi büyük bir çevre kirliliğine sebep olan atık mermer sahasından alınan parçaların, laboratuvar tipi çeneli kırıcı ile öğütülmesinden elde edilmiştir. Katkılı numuneler için hazırlanan karışımlarda atık mermer agregaları agrega karışımının ince agrega grubuna kütlece %25, %50, %75 ve %100 oranlarında ikame edilerek kullanılmıştır. Kaba ve ince agrega için özgül ağırlık ve su emme oranı değerleri TS 2824 EN 1338’ e uygun olarak yapılmıştır. Agregalara ait fiziksel özellikler Tablo 3’ te gösterilmiştir. Tablo 4’te ise beton parke taşlarının sağlaması gereken şartname limit değerleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Agregalara ait granülometri eğrileri

Tablo 2. Çimentoya ait kimyasal özellikler

Oksit	Çimento (%)
SiO ₂	18.87
CaO	62.78
Na ₂ O	0.4
K ₂ O	0.9
Al ₂ O ₃	5.62
SO ₃	2.82
MgO	2.63
Fe ₂ O ₃	2.54
MnO	-
Diğerleri	3.44



Şekil 2. Atık mermer sahası

Tablo 3. Doğal ve mermer agregalarının fiziksel özellikleri

Agrega Grubu	Su Emme (%)		Özgül Ağırlık (gr/cm ³)		Şartname Limiti (TS 2824 EN 1338)
	Doğal	Mermer	Doğal	Mermer	
Kaba Agregası (4-8 mm)	0.44	-	2.71	-	Su emme max. %2 Özgül ağırlık min. 2.60 gr/cm ³
İnce Agregası (0-4 mm)	0.66	1.30	2.68	2.63	Su emme max. %2 Özgül ağırlık min. 2.50 gr/cm ³

Tablo 4. TS 2824 EN 1338 beton parke taşına ait dayanım özellikleri

Gereklilikler	Şartname Limiti (TS 2824 EN 1338)
Basınç Dayanımı (MPa)	-
Çekme Dayanımı (MPa)	Ortalama $\geq 3,6$ MPa Tek sonuç $> 2,9$ MPa Min. kırılma yükü 250 N/mm
Su Emme (%)	A sınıfı için yok B sınıfı (2.sınıf) için ≤ 6
Aşınma Dayanımı	F sınıfı (1.sınıf) için yok H sınıfı (3.sınıf) için ≤ 20 cm ³ /50 cm ² I sınıfı (4.sınıf) için ≤ 18 cm ³ /50 cm ²

2.2. Metot

Çalışma kapsamında, beton parke taşları vibrasyonlu ve metal kalıplı parke makinesinde TS 2824 EN 1338’de belirtilen koşullara uygun olarak üretilmiştir. Ayrıca beton karışım hesabında TS 802 dikkate alınmıştır (TS 2824 EN 1338, 2009; TS 802, 2016). Yapılan deneylerde, biri katkısız grup olmak üzere toplamda 5 farklı agrega karışım grubu kullanılmıştır. Tüm karışımlarda su/çimento oranı sabit tutulup bu değer 0.66 olarak alınmıştır. Numuneler üretilirken beton karıştırma işlemi elle yapıldığından ve üretimde kimyasal katkı malzemesi kullanılmadığından su/çimento oranı yüksek tutulmuştur. Karışım gruplarına ait miktarlar Tablo 5’ te gösterilmiştir. Beton parke taşlarına; TS 2824 EN 1338’ e uygun olarak boyut-görünüş analizi, yarmada çekme deneyi, su emme deneyi, donma-çözülme deneyi ve aşınma direnci deneyi olmak üzere 5 farklı deney yapılmıştır. Bu deneylerin her biri için 3 adet olmak üzere her bir agrega karışım grubu için 15 adet (3x5) ve toplam 5 farklı karışım grubu için 75 adet (3x5x5) numune üretilmiştir. Üretilen numuneler 28 gün kür havuzunda bekletilmiştir. 28 günlük kür sonrası numunelere ait fiziksel ve mekanik özellikler deneyler yardımıyla belirlenmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4’te beton parke taşının üretimi gösterilmiştir.

Tablo 5. 1 m³ parke betonu için karışım oranları

Grup Adı	Kaba Agregası (kg)		İnce Agregası (kg)		Çimento (kg)	Su (kg)	Su/Çimento Oranı
	Doğal	Doğal	Doğal	Mermer			
D			1310	0			
D75M25			983	327			
D50M50	615		655	655	288	192	0.66
D25M75			327	983			
M			0	1310			

Karışım içerikleri şu şekilde oluşturulmuştur:

- D: Kaba ve ince agregaların tamamı doğal agregalardan alınmıştır.
- D75M25: Kaba agreganın tamamı doğal agrega, ince agreganın %75' i doğal agregadan, %25' i ise mermer agregasından alınmıştır.
- D50M50: Kaba agreganın tamamı doğal agrega, ince agreganın %50'si doğal - %50'si de mermer agregasından alınmıştır.
- D25M75: Kaba agreganın tamamı doğal agrega, ince agreganın %25'i doğal - %75'i de mermer agregasından alınmıştır.
- M: Kaba agreganın tamamı doğal agrega, ince agreganın tamamı mermer agregasından alınmıştır.



Şekil 3. Beton parke makinasına betonun yerleştirilmesi



Şekil 4. Beton parke taşların makineden çıkmış hali

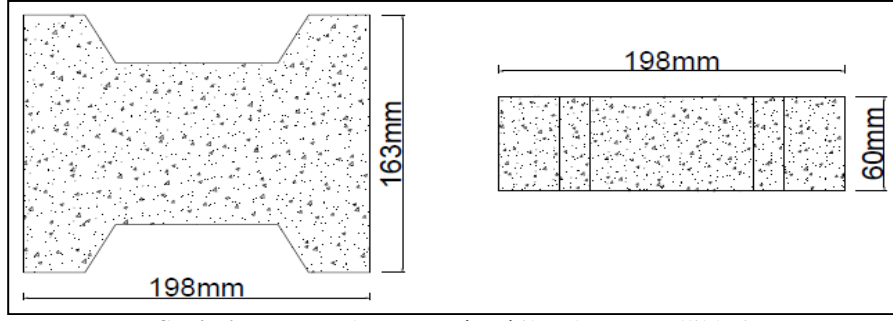
3. Deneysel Bulgular

3.1. Beton parke taşlarının boyut ve görünüş analizi sonuçları

İnce agrega olarak %25, %50, %75 ve %100 oranlarında mermer atığı içeren beton parke numunelerine yapılan gözle muayene sonucu; blokların yüzeylerinde kırık, çatlak, pullanma, döküntü, soyulma veya çukurlaşma olmadığı ve yüzeylerinin düzgün, köşelerinin muntazam olduğu, biçimsel bozukluklarının olmadığı görülmüştür. Boyut ölçümü sonucunda ise; atık mermer ince agregasının beton parke bloklarının en, boy, kalınlık ve pah ölçülerinde bir değişikliğe yol açmadığı tespit edilmiştir. Şekil 5'te numunelerin boyut ölçümü gösterilmiştir. 60 mm kalınlıktaki numunelerde 5 mm pah olup, numune uzunluğu 198 mm ve numune genişliği 163 mm'dir. Şekil 6'da üretilen numunelere ait şekil ve boyut uzunlukları gösterilmiştir.



Şekil 5. Numunelerin en, boy, pah ve kalınlık ölçümü



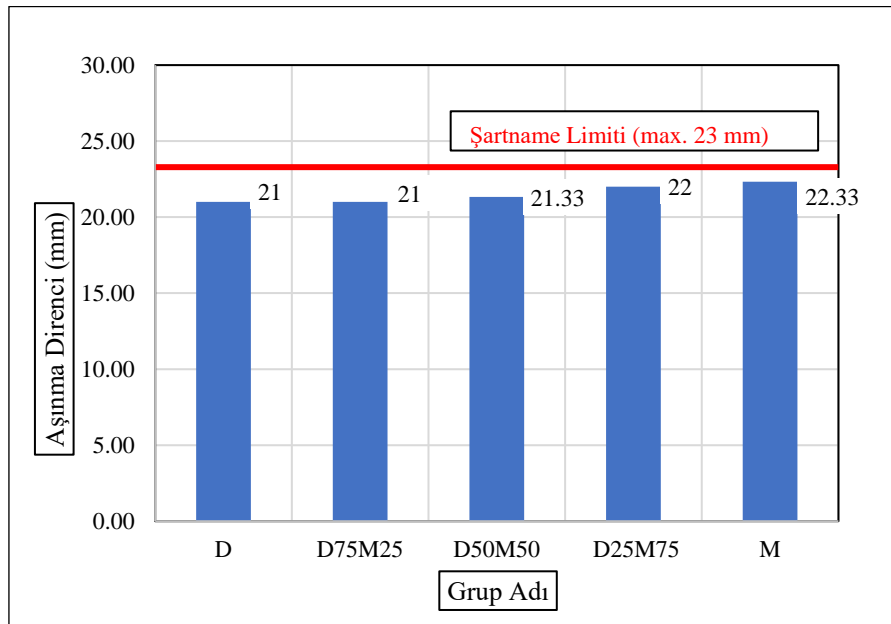
Şekil 6. Beton parke taşına ait şekil ve boyut özellikleri

3.2. Beton parke taşlarının aşınma direnci deneyi sonuçları

Şekil 7’de gösterilen aşındırma cihazı ile tüm numunelerin aşınma direnci ölçülmüştür. Sürtünme ile aşınma kaybını ölçmek için aşındırma tozu olarak alüminyum oksit kullanılır. Geniş aşındırma diski 60 ± 3 saniyede 75 dönüş yapacak şekilde çalıştırılır. Aşındırma tozunun akma debisi deney boyunca gözlemlenerek diskin 75 dönüş yapması ile aşındırma tozunun akışı ve diskin dönüşü durdurulur. Kumpas ile ölçüm yapılır. Numunelere uygulanan aşınma direnci deneyi sonuçlarına göre, deneye tabi tutulan tüm numunelerin standartta belirtilen sınır değeri aşmadığı görülmüştür. Beton parke bloklarında aşınmaya maruz kalan 4 mm kalınlıktaki kum tabakasının aşılmayışından dolayı yakın değerler elde edildiği düşünülmektedir. Şekil 8’de numunelere ait aşınma direnci değerleri verilmiştir.



Şekil 7. Aşınma direnci deney düzeneği



Şekil 8. Aşınma direnci deney sonuçları

3.3. Beton parke taşlarının yarmada çekme dayanımı deney sonuçları

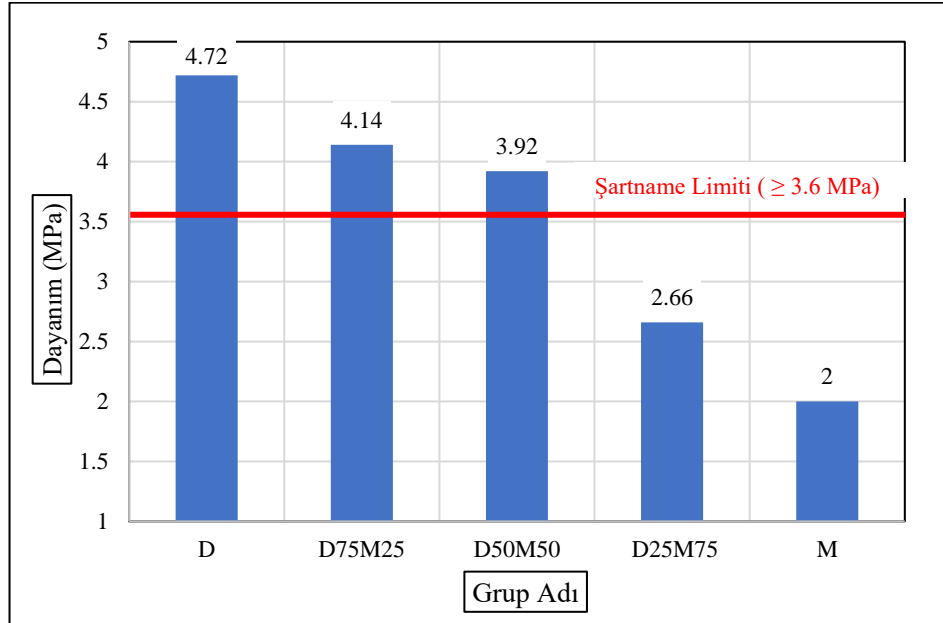
Yarmada çekme dayanımı deneyine tabi tutulacak numuneler 1 gün boyunca 20 ± 5 °C sıcaklıktaki suda bekletilerek sudan çıktığında temiz bir bez ile kurularak deneye hazır hale getirilir. Numunelerin en uzun yarma kesiti boyunca Şekil 9'da gösterilen deney düzeneğinde yükleme başlıklarına değmesi sağlanır. Daha sonra, yerleştirme parçaları ile yükleme başlığı ekseni numunelerin yarıma kesitiyle aynı çizgi üzerinde olacak şekilde cihaza konur. Kırılma yükü (P), yükleme hızı 0.05 ± 0.01 N olacak şekilde kesintisiz ve düzgün bir biçimde artırılarak uygulanır. Kırılmanın meydana geldiği yük, kırılma yükü olarak kaydedilir. Şekil 10'da yarmada çekme deneyi sonrası kırılan numunelere ait görüntü verilmiştir. Şekil 11'de görüldüğü gibi katkısız numuneleri ile %25 ve %50 oranında ince mermer agregası içeren numune gruplarının mukavemet değeri standartta belirtilen sınırlar içerisinde olup, %75 ve %100 atık mermer ince agregası içeren numunelerin yarmada çekme dayanım sonuçları standartta verilen değeri sağlayamamıştır.



Şekil 9. Yarmada çekme deneyi



Şekil 10. Yarmada çekme deneyi sonucu kırılmış numune



Şekil 11. Yarmada çekme dayanımı deney sonuçları

3.4. Beton parke taşlarının su emme oranı tayini deney sonuçları

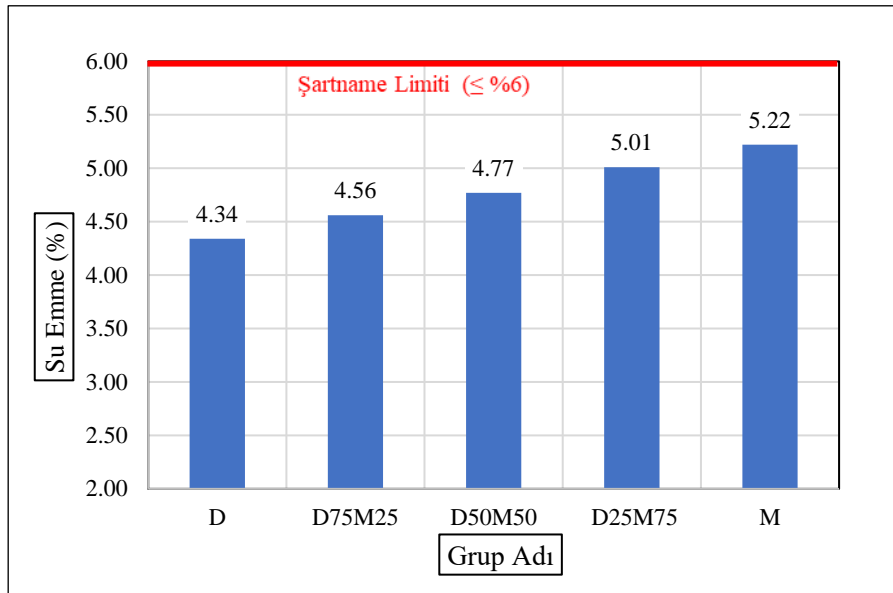
Deneye tabi tutulan numuneler, üzerindeki gevşek malzemelerden temizlenip 20°C sıcaklıktaki suya konularak sabit kütleye (M1) ulaşmaya kadar 72 saat süre ile su dolu havuzda bekletilir. 72. saatten sonra 1 gün ara ile oda sıcaklığındaki numuneye yapılan 2 tartım arası kütle farkı %0.1'den az olduğunda sabit doygun kütleye ulaşıldığı kabul edilir. Tartım öncesinde numune temiz bir bez ile kurularak tartılan numune 105°C sıcaklıkta sabit kuru kütleye (M2) ulaşmaya kadar 72 saat kurutulur ve 1 gün aralıklarla yapılan 2 tartım arası kütle farkı %0.1'den az olunca sabit kütleye ulaşıldığı kabul edilir. Deney sonucunda numunelerin su emme oranı (W_a), aşağıdaki bağıntı ile kütlece % cinsinden bulunur. Şekil 12'de su havuzunda bekletilen numuneler gösterilmiştir.

$$W_a = 100 \times (M_1 - M_2) / M_2$$



Şekil 12. 20 °C sıcaklıktaki su havuzunda bekletilen numuneler

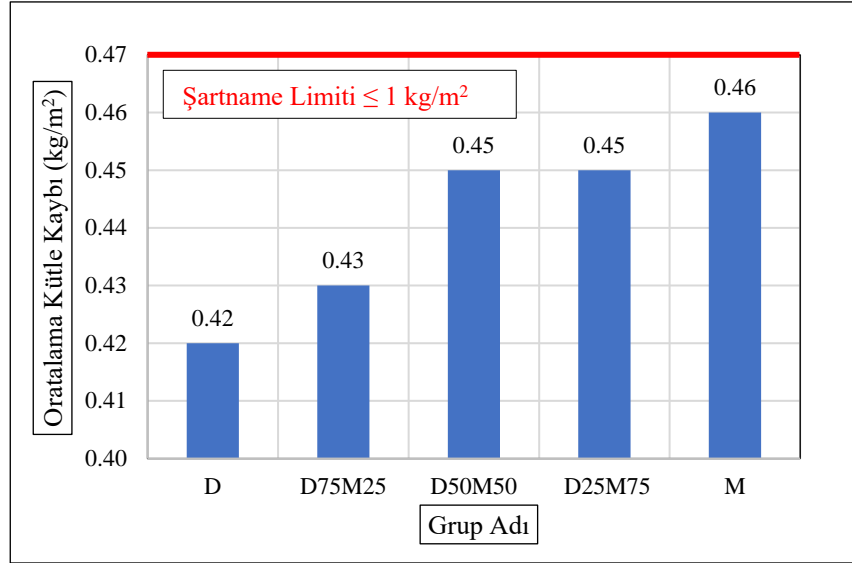
Şekil 13'te gösterildiği gibi tüm numune gruplarının su emme değeri standartta belirtilen sınır değeri (\leq %6) aşmamıştır.



Şekil 13. Su emme deneyi sonuçları

3.5. Beton parke taşlarının donma-çözünme direnci tayini deney sonuçları

Donma-çözünme deneyi yapılırken ilk olarak, deneye tabi tutulacak numuneler 91 mm'lik küp biçiminde olacak şekilde elmas kesici yardımıyla kesilir. Numuneler 28 gün boyunca, kütlece %97 su ve %3 NaCl içeren çözeltiyle kaplanarak, 20°C sıcaklıkta, %65 bağıl nemde ve buharlaşmanın 200 gr/m² olduğu iklim kabininde 7 gün bekletilir. Deneyin uygulanacağı yüzey dışındaki tüm yüzeyler plastik tabakayla kaplanır. Numune yüzeyine 20°C sıcaklıkta ve 5 mm derinlikte 72 saat boyunca su doldurularak yüzey ve plastik tabaka arasındaki yalıtımın uygunluğu gözlemlenir. Numunelerin üzerindeki su, %3 NaCl çözeltisiyle değiştirilerek 30 dk sonra donma kabinine yerleştirilir. 28 gün donma-çözünme çevrimine maruz kalan numunelerin deney sonucunda yüzeyinde oluşan pullanma ile kalkan malzeme, su püskürtülerek kap içerisine doğru yıkanıp fırçalanarak toplanır. Toplanan malzeme süzgeç kağıdına dökülüp NaCl çözeltisinden arındırılarak 1 lt suyla yıkanıp 24 saat süreyle 105°C sıcaklıkta kurutulur. Kütle kaybı belirlenir. Şekil 14'te gösterildiği gibi numuneler üzerinde yapılan donma-çözünme direnci deney sonuçlarına göre; tüm numune gruplarının şartnamede belirtilen sınır değeri (\leq 1 kg/m²) aşmadığı görülmektedir. Katkısız numunesi ile kıyas yapıldığında, numunelerde mermer ince agregası oranı arttıkça donma-çözünme deneyi sonundaki kütle kaybının da arttığı görülmüştür. Ancak sınır değer aşılmadığından, deneye tabi tutulan tüm beton parke taşı numune gruplarının kullanılabilir olduğu görülmüştür.



Şekil 14. Donma-çözünme direnci sonuçları

4. Sonuçlar

Elde edilen veriler atık mermer ince agregasının değişim oranına göre incelenmiş olup ilgili standarda göre (TS 2824 EN 1338) değerlendirme yapılmıştır.

İnce agregada doğal agrega yerine atık mermer kullanılarak hazırlanan numunelerde katkısız numunesine göre;

- ✓ Boyut ve görünüş bakımından bir farklılık görülmemiştir.
- ✓ Aşınma deneyi yapıldığında, numunelerin benzer aşınma direncine sahip olduğu görülmüştür.
- ✓ Yarmada çekme deneyine tabi tutulan numunelerde, ince agregaya %25 ve %50 oranında atık mermer ikame edilmesi durumunda şartnamede belirtilen minimum dayanım değeri sağlanırken, ince agrega olarak %75 ve %100 oranında atık mermer kullanılarak hazırlanan numunelerin standartta belirtilen minimum dayanım değerini sağlamadığı görülmüştür.
- ✓ Su emme oranı deney sonuçlarına göre tüm numune grupları maksimum su emme oranı (%6) değerini aşmamıştır.
- ✓ Donma-çözünme deneyi sonuçlarına göre katkısız grubu ile atık mermer içeren numune grupları benzer sonuçlar göstermiş ve şartname limit değerlerini sağlamıştır.

Numunelere uygulanan su emme deneyine göre, elde edilen beton parke taşları 2. sınıf olarak tanımlanabilmektedir. Aşınma dayanımı değerlerine göre 2. ve 3. sınıf parke grubuna dahil edilirken, donma-çözünme dayanımı bakımından 3.Sınıf parke olarak tanımlanmaktadır.

Deney sonuçları incelendiğinde beton parke taşlarında ince agrega olarak %50 oranına kadar atık mermer agregası kullanılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Böylece atık mermerler kullanılarak istenilen mekanik ve fiziksel özelliklere sahip beton parke bloklarının elde edilebileceği görülmüştür. Bu sayede depolanması ve taşınması problem teşkil eden atık mermerler değerlendirilerek hem çevreye verilen tahribat azaltılacak hem de alternatif bir agrega kaynağı sağlanmış olacaktır.

İleride yapılacak olan çalışmalarda beton parke taşı üretilirken beton santralinden alınacak betona, katkı malzemeleri ilave edilerek Su/Çimento oranının düşürülmesi önerilmektedir. Böylece mekanik özelliklerin daha da artırılacağı düşünülmektedir. Ayrıca mermer agregasının karışımlarda farklı oranlarda ve farklı agrega grupları içerisinde kullanılacağı önerilmektedir.

Referanslar

Anitha Selvasofia S. D., Dinesh A.&Sarath Babu V. (2021).Investigation of waste marble powder in the development of sustainable concrete. Materialstoday: proceedings, 44 (6), 4223-4226. doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.536

Baradan, B., Türkel, S., Yazıcı, H., Ün, H., Yiğiter, H., Felekoğlu, B., Tosun Felekoğlu, K., Aydın, S., Yardımcı, M. Y., Topal, A. & Öztürk, A. U., 2015, Beton, İzmir, Birleşik Matbaacılık.

Behera M., Bhattacharyya S.K., Minocha A. K., Deoliya R., &Maiti S. (2014). Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete – A break through towards sustainability in construction sector: A review. Construction and building materials, 68, 501-516. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.003

- Binici, H., (2007). Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars properties. *Construction and building materials*, 21 (6), 1191-1197. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.06.002
- Coppola, L., Buoso, A., Coffetti, D., Kara, P. & Lorenzi, S. (2016). Electric arc furnace granulated slag for sustainable concrete. *Construction and building materials*, 123 (2016), 115-119. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.142
- Demir, İ. (2009). Investigation of mechanical properties of concrete produced with waste granites aggregates. *Scientific Research and Essay* 4 (4), 267-274.
- Djamaluddin, A. R., Caronge, M. A., Tjaronge, M. W., Lando, A. T. & Irmawaty, R. (2020). Evaluation of sustainable concrete paving blocks incorporating processed waste tea ash. *Case Studies in Construction Materials*, 12 (2020), doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00325
- Durmuş, G & Şimşek, O. (2008). Uçucu küllerin beton kilitli parke taşı üretiminde kullanımının araştırılması. *TUBAV Bilim Dergisi*, 1(1), 1-6.
- Filiz, M., Özel, C., Soykan, O. & Ekiz, Y. (2010). Atık mermer tozunun parke taşlarında kullanılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2) 57-72.
- Jankovic, K., Nikolic, D. & Bojovic, D. (2012). Concrete paving block sand flags made with crushed brick as aggregate. *Construction and building materials*, 28(1), 659-663. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.036
- Karayolu Teknik Şartnamesi (Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler), (2013). Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kaya, T. & Karakurt, C. (2016). Uygulamadaki Beton Parke Taşlarının Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2016), 469-474.
- Khandve, P. V. & Rathi, A. S., (2015). Concrete paving block using marble stone industry waste. *International Journal of Research in Engineering, Science and Technologies (IJRESTs)*, 1 (8), 86-91.
- Kim, H. K. & Lee, H.K. (2011). Use of power plant bottom ash as fine and coarse aggregates in high-strength concrete. *Construction and building materials*, 25(2011), 1115-1122. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.065
- Ling, T-C, (2012). Effects of compaction method and rubber content on the properties of concrete paving blocks. *Construction and building materials*, 28(1), 164-175. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.069
- Miraldo, S., Lopes, S., Pacheco-Torgal, F. & Lopes, A. (2021). Advantages and short comings of the utilization of recycled wastes as aggregates in structural concretes. *Construction and building materials*, 298 (2021), 123729. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123729
- Oikonomou N. D. (2005). Recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 27 (2), 315-318. doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.020
- Öztürk, M., (2018). Mermer Kesiminden Kaynaklanan Çevre Kirliliği ve Önlemleri. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, http://www.cevrehirkituphanesi.com/assets/files/slider_pdf/5mgT7FNMcjwz.pdf.
- Patra, R. K. & Mukharjee, B. B. (2017). Influence of incorporation of granulated blast furnace slag as replacement of fine aggregate on properties of concrete. *Journal of cleaner production*. 165 (2017), 468-476. doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.125
- Saloni, Parveen, Lim, Y. Y., Pham T. M., , Jatin & Kumar J. (2021). Sustainable alkali activated concrete with fly ash and waste marble aggregates: Strength and Durability studies. *Construction and building materials*, 283, 122795, doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122795
- Silva, D., Gameiro, F., de Brito, J., (2013). Mechanical properties of structural concrete containing fine aggregates from waste generated by the marble quarrying industry. *J. Mater. Civ. Eng. (ASCE)* 26 (6), 04014008. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000948](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000948)
- TS 2824 EN 1338, (2006). Concrete paving blocks - Requirements and test methods. Turkish Standard Institution, Ankara, 2012.

TS EN 197-1. (2012). Cement–Part 1: compositions and conformity criteria for common cements. Turkish Standard Institution, Ankara, 2012.

TS 802, (2016). Beton karışım tasarımı hesap esasları. Ankara, 2016.

Yüksel, İ., Özkan, Ö. & Bilir, T. (2007). Yüksek Fırın Cürufu İkameli Parke ve Bordür Üretimi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(2), 289-296.