ATIK MERMERLERİN AGREGA OLARAK BETONDA KULLANILMASIYLA ÇEVRE KİRLİLİĞİNİN AZALTILMASI

DECREASE OF ENVIRONMENTAL POLLUTION BY USE OF WASTE MARBLES AS AGGREGATE IN THE CONCRETE

Prof.Dr. İlker Bekir TOPÇU[a] ve Öğr.Grv.Dr. Tayfun UYGUNOĞLU[b,*]

[a] Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Böl., Eskişehir, Türkiye, ilkerbt@ogu.edu.tr

[b] *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Böl., Afyonkarahisar, Türkiye, uygunoglu@aku.edu.tr

ÖZET

Günümüzde mermere olan talebin artması sonucu hem ülkemizde hem de dünyada mermer işletmelerinin de sayısı artmıştır. Bu üretim artışının sonucunda, tesislerde işlenen mermerlerin atıkları, tesislerin sahalarına dökülmektedir. Bu atıklar çevre kirliliği oluşturmaktadır. Diğer yandan, beton üretiminde çimento hamuruyla yüksek kenetlenme özelliğinden dolayı agrega olarak kırmataşlar kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, atık mermerlerin kırılarak agrega boyutuna getirildikten sonra beton üretiminde kullanılması araştırılmıştır. İri agrega olarak kireçtaşından elde edilen kırmataşlarla farklı su-bağlayıcı oranlarına sahip kontrol serileri üretilmiştir. Daha sonra, kırmataş yerine aynı tane dağılımına sahip mermer atığı agregaları kullanılmıştır. Çökme, taze beton birim hacim ağırlığı ve hava miktarı gibi taze beton deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, sertleşmiş numunelerde, 15 x 15 x 15 cm boyutlu küp numunelerde 7 ve 28 günlük basınç dayanımı, yarmada-çekme dayanımı ve ultrases geçiş hızı belirlenmiştir. Silindir numunelerde de (Ø15 x 30 cm) gerilme-birim kısalma gibi deneyler gerçekleştirilerek betonların mekanik özelikleri karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, kırmataşlarla aynı kökene sahip olan atık mermerlerin agrega olarak betonda kullanılmasıyla, betonların dayanım değerlerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. Bu nedenle, agrega ocaklarında kırmataş elde etmek için gerekli enerjinin daha az miktarıyla, yani mermer atıklarının sadece kırılması işlemiyle kırma mermer agregaları elde edilecektir. Böylece hem çevre kirliliği azaltılacak hem de enerji sarfiyatı önlenerek beton ve yapı maliyeti düşürülecektir.

Anahtar Kelimeler: Atık mermer; agrega; beton; mekanik özelik.

ABSTRACT

Now days, number of marble factory was increased because of increase of the marble demand in both in our country and in the world. As result of this increase in the marble production, marble wastes produced in the factories were disposed to empty fields. Environmental pollution was occurred by these wastes. On the other hand, in the production of concrete, limestone is used as aggregate due to its high adherence with cement paste.

In this study, use of marble wastes in the production of concrete was investigated after crushed and sized them. Control series were produced with crushed limestone aggregate in different water to binder ratios. Then, crushed limestone was replaced with marble aggregate that in same size. Fresh concrete experiments such as slump, unit weight and air content were carried out. Furthermore, on the hardened specimens, compressive strength, splitting-tensile strength and ultrasonic pulse velocity experiments were carried out on 15 x 15 x 15 cm sized and at 7 and 28 aged specimens. On the hardened cylindrical specimens (Ø15 x 30 cm), stres-strain relationship was defined at 28 ages, and mechanical properties of both of concrete type were compared.

According to obtained results, by use of waste marble aggregates which have same quarry based with limestone rock, important differences were not observed on the strength properties. For this reason, crushed marble stone can be obtained by use of lower energy than that of required for obtaining the crushed limestone. Thus, both environmental pollution would be decreased and cost of the concrete production would be reduced by prevent of waste energy.

Keywords: Waste marble; aggregate; concrete; mechanical properties.

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkelerin doğal kaynaklarından en etkili bir şekilde faydalanabilmeleri için atık durumda ve ekonomik değeri olan maddeleri geri kazanma ve tekrar kullanma yöntemlerini araştırmaları gerekmektedir. Kullanılan malzemelerin veya atıkların hammaddeye dönüştürülmesi, malzeme üretiminde endüstriyel işlem sayısını azaltmak suretiyle önemli derecede enerji tasarrufu sağlar. Ülkemizde de ekonomik değeri olan birçok atık malzeme bulunmaktadır. Bunlardan birisi de mermer atıklarıdır.

Günümüzde mermere olan talebin artması sonucu hem ülkemizde hem de dünyada mermer işletmelerinin de sayısı artmıştır. Bu üretim artışının sonucunda, tesislerde işlenen mermer bloklarının %60'a varan toz ve kırıntı atıkları, tesislerin atık sahalarına veya tesislerin yakınından geçen akarsulara dökülmektedir [1]. Bunun doğal bir sonucu olarak da, özellikle mermer işletme tesislerinin yoğunlaştığı bölgelerde, kamuoyu gözü önünde çevrecilik ve tabii güzelliği bozması sebebiyle olumsuz bir tepki oluşturan mermer atık sahalarının artmasına neden olmuştur [2].

Literatürde, mermer toz atıklarının kullanılması üzerine birçok çalışma yapılmışsa da, atık parça mermerlerin (paledyen) geri kazanımı üzerine yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır [3-6]. Bu tip atıklar genelde dolgu malzemesi veya döşemelerde ve dekoratif amaçlı duvar kaplama malzemesi olarak kullanılmaktaysa da atık miktarı oldukça fazladır.

Beton üretiminde sağladığı bir çok avantajdan dolayı kireç taşı kullanılmaktadır. Kireç taşı, ülkemizin neredeyse her yerinde bulunabilen bir malzemedir. Bu malzemeden agrega elde etmek için, kireçtaşı kayalar patlatma ile parçalanmakta, kırıcılar iler kırıldıktan sonra farklı göz açıklığındaki eleklerle boyutlandırılmaktadırlar. Agregaların elde edilmesi sırasında çevreye tahribat verilmektedir. Mermer de kireç taşı gibi büyük oranda kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) içeren metamorfik bir kayaçtır. Aynı zamanda mermerde, az miktarda silis, silika, feldspat, demiroksit, mika, fluorin ve organik maddeler bulunabilmektedir. Mermerlerin fabrikalarda işlenmeleri sırasında yaklaşık %60 oranında atık çıkmaktadır. Paledyen olarak bilinen parça mermerlerin kırılarak agrega haline getirildikten sonra beton içerisinde agrega olarak değerlendirilebilirse, kırmataş elde etmek için çevreye verilen tahribat azaltılmış olacaktır. Diğer yandan mermer atıklarının değerlendirilmesiyle de çevresel atıkların ekonomik olarak değerlendirilmesi sağlanacaktır.

Bu çalışmada, yukarıda da bahsedildiği gibi atık mermer parçalarının (paledyen) agrega haline getirilerek kırmataş yerine beton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1.Kullanılan Malzemeler

Çalışmalarda, agrega olarak en büyük tane çapı 22 mm olan kireçtaşı kökenli kırmataş ve atık mermer kullanılmıştır. Mermer agregaları, Afyonkarahisar mermer fabrikalarından temin edilen atık mermer parçalarının çeneli kırıcılarda kırılıp, elenmesinden sonra elde edilmiştir. Kırmataş ve mermer agregalarına ait bazı özelikler Tablo 1'de sunulmuştur. Atık mermer agregasının ayrıca alkali-reaktivitesi incelenmiş olup, alkali agrega reaksiyonu açısından herhangi bir sakıncalı durumu görülmemiştir [7]. İnce agrega olarak 0-4 m elek aralığında dere yatağından alınmış doğal kum kullanılmış olup, kumun özgül ağırlığı ve su emme değerleri sırasıyla, 2.62 g/cm^3 ve %3.73'tür.

Tablo 1. Agregalara ait özelikler

Özelik	Kırmataş	Mermer
Özgül ağırlık	2.72	2.77
Aşınma kaybı, %	23.2	34.9
Tane şekli (Yassılık)	11.51	24.5

Tablo 2. Portland çimentosu ve uçucu külün kimyasal bileşenleri

Kimyasal Özelikler, %	Çimento	Uçucu kül
CaO	64.43	0.67
SiO_2	20.23	46.51
Al_2O_3	4.14	25.47
Fe_2O_3	3.57	4.88
MgO	2.13	5.94
SO_3	2.54	1.7
K_2O	0.80	1.35
Na_2O	0.13	0.36
A.K.	43.66	2.78

Bağlayıcı malzeme olarak CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu ile Seyitömer uçucu külü (F sınıfı) kullanılmıştır. Her iki malzemenin kimyasal özelikleri Tablo 2'de verilmiştir. Beton karışımlarında işlenebilirliği sağlamak amacıyla yüksek oranda su kesici ve akışkanlaştırıcı özeliğe sahip yeni nesil süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Kimyasal katkının yoğunluğu 1.2 g/cm^3 olup, katı madde oranı da %20'dir. Tüm serilerin karışımlarında 20 ±2 ^{o}C sıcaklık değerine sahip şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

2.2. Beton Karışımları ve Yapılan Deneyler

Tüm serilerin üretiminde çimento miktarı 350 kg/m^3 ve uçucu kül miktarı da 100 kg/m^3 olarak sabit tutulmuştur. Dolayısıyla toplam bağlayıcı miktarı (çimento+uçucu kül) 450 kg/m^3'tür. Su-bağlayıcı oranı (w-b) olarak da 0.31, 0.34, 0.37 ve 0.40 olmak üzere dört farklı oran seçilmiştir. Her su-bağlayıcı oranı için süperakışkanlaştırıcı oranı farklı olup, su miktarı arttıkça katkı miktarı azaltılmıştır. Buna göre serilerde sırasıyla %2.4, %2.1, %1.8 ve %1.5 oranlarında süperakışkanlaştırıcı katkı karışım suyuna ilave edilmiştir. Her su-bağlayıcı oranında, hem kırmataşla hem de mermer agregasıyla olmak üzere farklı seriler tasarlanmıştır. Kırmataş ve mermer agregasıyla üretilen serilerde tane dağılımları sabit tutulmaya çalışılmış olup, iri agreganın %60'ı; ince agreganın da %40'ı kullanılarak sabit bir granülometri eğrisi elde edilmiştir. Her iki agrega için kullanılan agrega tane dağılımları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Beton üretiminde kullanılan agrega tane dağılımı

Elek aralığı, mm	0.25	0.5	1	2	4	8	16	22.5
Agrega	3	9	13	24	33	48	82	100

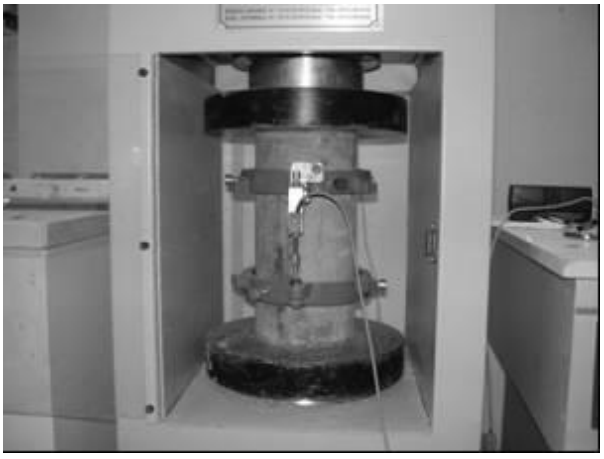
Kırmataşlı serilerden sonra, kırmataş agregaları yerine aynı tane dağılımına sahip mermer agregaları kullanılarak bu agregaların betonda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kırmataşla üretilen seriler KT ile; mermer agregasıyla üretilen seriler de M harfiyle simgelenmiştir. Birim hacimdeki (1 m^3 için) beton bileşen miktarları Tablo-4'te görülmektedir.

Tablo 4. Kırmataş ve mermer agregalarıyla üretilen serilerin birim hacimdeki bileşenleri

Seriler	w-b oranı	w-c oranı	Malzemeler, kg/m^3					
			Çimento	Kum	SP*	Su	UK*	Agrega
KT	0.31	0.40	350	720	10.8	140	100	986
	0.34	0.44	350	706	9.5	153	100	966
	0.37	0.48	350	692	8.1	167	100	947
	0.40	0.51	350	678	6.8	180	100	927
M	0.31	0.40	350	720	10.8	140	100	1109
	0.34	0.44	350	706	9.5	153	100	1087
	0.37	0.48	350	692	8.1	167	100	1065
	0.40	0.51	350	678	6.8	180	100	1043

**SP: Süperakışkanlaştırıcı; UK: Uçucu kül.*

Beton karışımlarını takiben taze birim ağırlık, hava miktarı ve çökme deneyi gibi taze beton deneyleri yapılmıştır. Daha sonra sertleşmiş beton deneyleri için taze beton, Ø15x30 cm silindirik ve 15x15x15 cm boyutlu küp kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplardan 24 sa sonra çıkarılan numuneler kirece doygun su içerisinde (20 ±2 ^oC) deney gününe kadar kür edilmiştir. Basınç dayanımı deneyleri 7 ve 28 günlük küp numuneler üzerinde; yarmada-çekme dayanımları 28 günlük küp numunelerde; yük-deplasman verilerinin alınması da 28 günlük silindirik numunelerde gerçekleştirilmiştir. Tüm sertleşmiş betonlarda bu deneyler için 200 tonluk tam otomatik basınç presi kullanılmıştır. Yarma ve yük-deplasman verileri için ilave aparatlar kullanılmıştır. Yük-deplasman verileri deplasman çerçevesine takılan ve potansiyometrik cetvel olarak bilinen %0.2 hassasiyetindeki aparatla alındıktan sonra (Şekil 1) gerilme-şekil değiştirme eğrileri elde edilmiştir. Bu eğrilerden de "sekant modülü" yöntemine göre elastisite modülü değerleri elde edilmiştir.



Şekil 1. Yük-deformasyon verilerinin alınması

Küp numuneler üzerinde basınç deneylerinden önce ayrıca tahribatsız deney yöntemlerinden olan ultrases geçiş süreleri ölçülerek, ölçüm yapılan numunelerin boy değerlerinin ultrases geçiş süresi değerlerine oranlanmasıyla da ultrases geçiş süreleri elde edilmiştir.

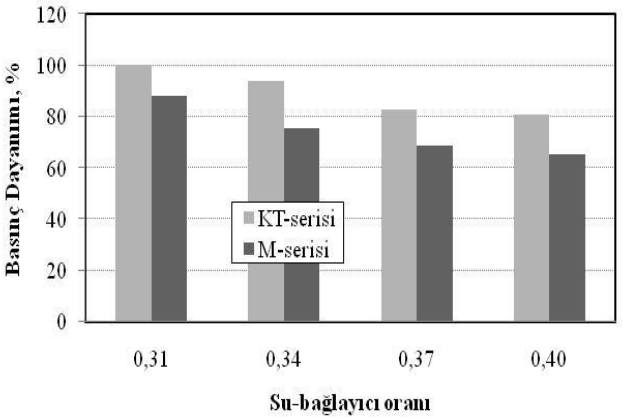
3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Atık mermerlerin betonda agrega olarak kırmataş yerine kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, 0.31 ile 0.34 su-bağlayıcı oranında üretilen KT ve M serilerinde çökme değerlerinin 18-22 cm arasında değiştiği görülmüştür. Su-bağlayıcı oranı arttıkça çökme değerleri de artmıştır. KT serileri için çökme değerleri 16.4 ile 21 cm iken, bu değerler M serisi için sırasıyla, 17.6 ve 22 cm'dir. Bununla birlikte daha yüksek su-bağlayıcı oranlarında çökme değerleri 22 cm'yi geçtiği için TS EN 206-1'de belirtildiği üzere bu betonlarda yayılma çapları ölçülmüş olup, her iki beton tipi için de yaklaşık sonuçlar elde edilmiştir. Su-bağlayıcı oranları 0.37 ve 0.40 olan KT serilerinde yayılma değerleri sırasıyla 55 ile 60 cm iken, bu değerler M serilerinde sırasıyla 58 cm ve 62 cm'dir. Beton üretiminde atık mermer agregalarının kullanılması durumunda, taze betonun birim hacim ağırlıklarının tüm su-bağlayıcı oranlarında arttığı gözlenmiştir (Tablo 5). Bunun sebebi, mermer agregalarının özgül ağırlıklarının kırmataş agregasından daha büyük olmasından dolayıdır. Diğer yandan havametre ile yapılan ölçümler sonucunda, her iki agrega tipiyle üretilen betonlardaki hava içeriklerinde önemli bir değişim görülmemiştir. Her iki agrega tipiyle üretilen betonların hava içerikleri, su-bağlayıcı oranının artmasıyla birlikte betonun işlenebilirliğinin artarak kalıba daha iyi yerleşmesinden dolayı hava miktarı da azalmıştır.

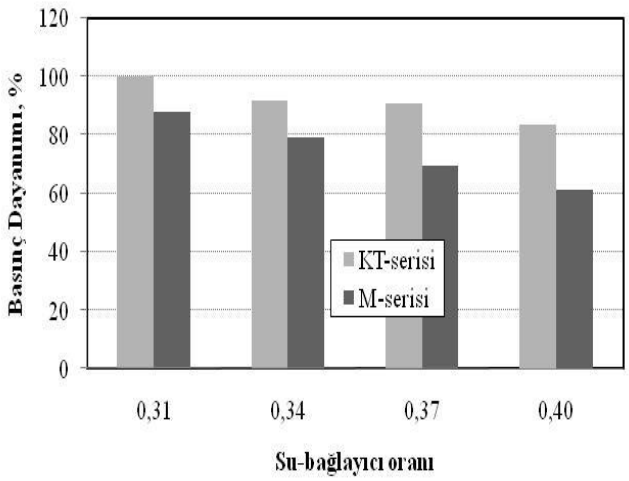
Tablo 5. Serilere ait bazı deney sonuçları

Seriler	w-b oranı	Taze Beton		Küp Basınç Dayanımı, MPa	
		Birim ağırlık, kg/m^3	Hava içeriği, %	7. gün	28. gün
KT-1	0.31	2320	2.1	50.5	60.4
KT-2	0.34	2339	2.1	47.4	55.4
KT-3	0.37	2309	1.7	41.7	54.8
KT-4	0.40	2307	1.5	40.7	50.5
M-1	0.31	2394	2.0	44.4	52.9
M-2	0.34	2377	1.85	38.0	47.7
M-3	0.37	2347	1.80	34.6	41.9
M-4	0.40	2327	1.55	32.9	37.0

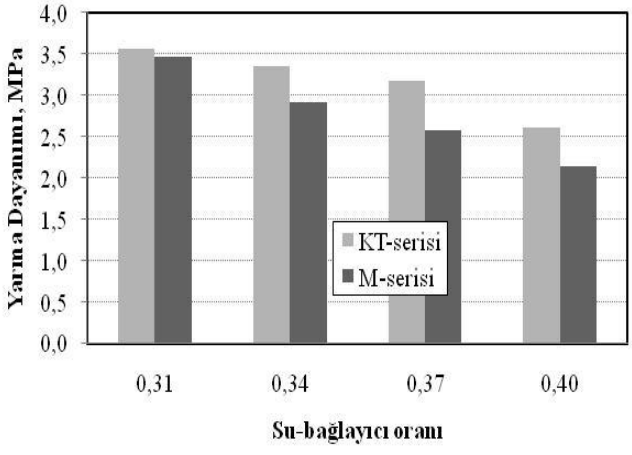
Kırmataşla üretilen betonların 7 günlük basınç dayanımı değerleri su-bağlayıcı oranına bağlı olarak 50 ile 40 MPa arasında değişirken, 28 günlük basınç dayanım değerleri de 60 ile 50 MPa arasında değerler almıştır (Tablo 5). Mermer agregasının kırmataş yerine kullanılması ile, betonların 7 günlük dayanım değerleri 44 ile 33 MPa arasında; 28 günlük dayanım değerleri de 53 ile 37 MPa arasında değişmiştir. Şekil 2'de KT ve M serilerinin 7 günlük basınç dayanımı sonuçları rölatif olarak değerlendirilmiştir. Burada 0.31 su-bağlayıcı oranındaki KT serilerinin dayanım değeri referans alınmıştır. Su-bağlayıcı oranının 0.40 olması durumunda, KT serilerinin dayanım değerleri referans seriye göre %20 oranında azalmıştır. M serisinde ise aynı su-bağlayıcı oranındaki azalma %38 oranındadır. Ancak M serilerinde en düşük su-bağlayıcı oranındaki azalma referans seriye göre (KT-0.31) yaklaşık olarak %12 oranındadır. Bu oranlar hem KT serileri için hem de M serileri için 28 günlük dayanım değerleri için de neredeyse aynı olduğu görülmektedir (Şekil 3). En düşük su-bağlayıcı oranında, M serilerinin 28 günlük basınç dayanımı değerindeki KT serilerine göre azalma değeri %12'dir. Su-bağlayıcı oranın artmasıyla birlikte hem KT serilerinin hem de M serilerinin basınç dayanımı değerleri azalmıştır. Ancak M serilerindeki azalma KT serilerinde görülen azalmaya göre daha fazladır. En yüksek su-bağlayıcı oranındaki M serilerinin dayanım değerindeki azalma, KT serilerine (w-b: 0.31) göre %40 oranındadır.



Şekil 2. Serilerin 7 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması

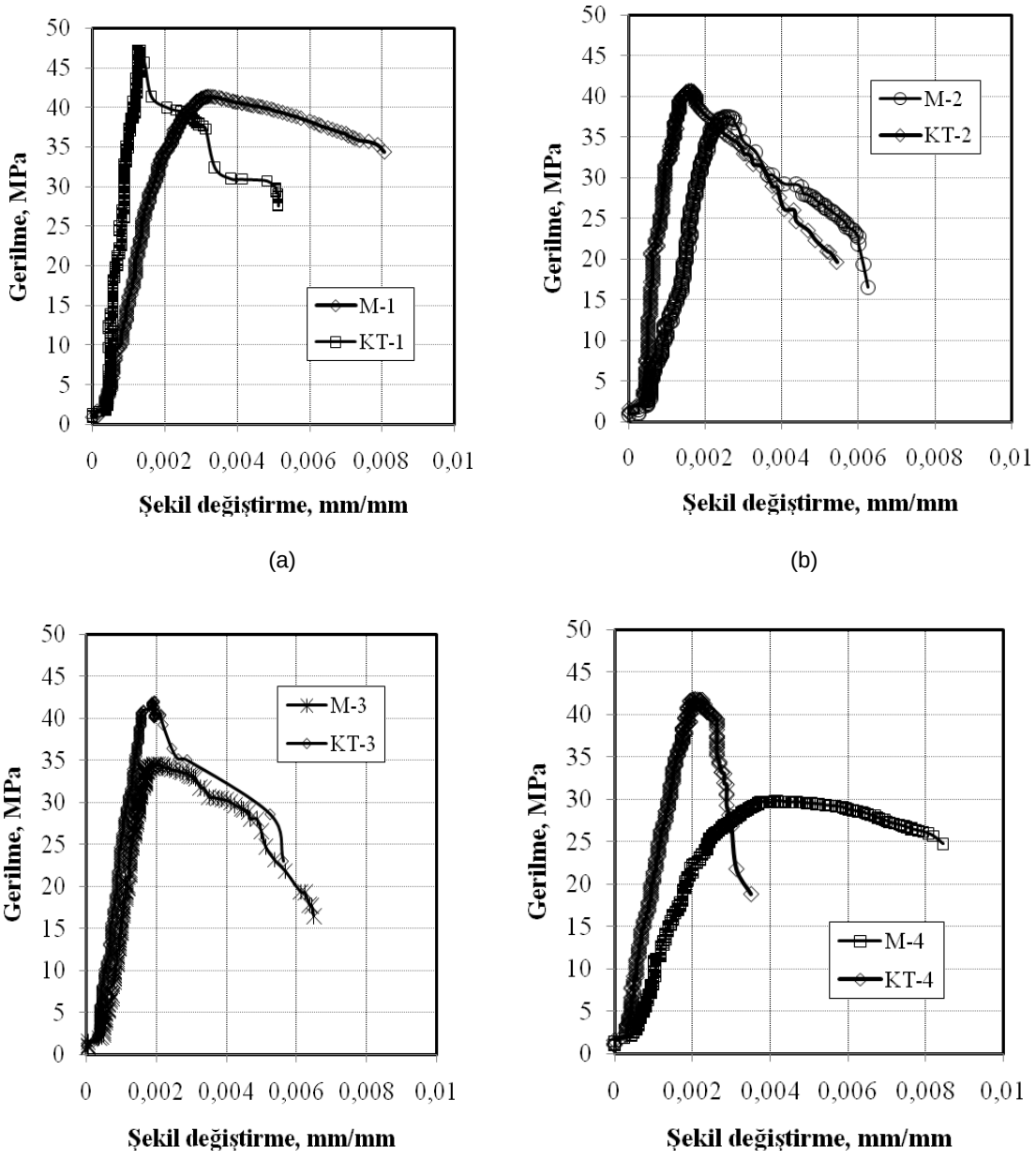


Şekil 3. Serilerin 28 günlük basınç dayanımlarının karşılaştırılması



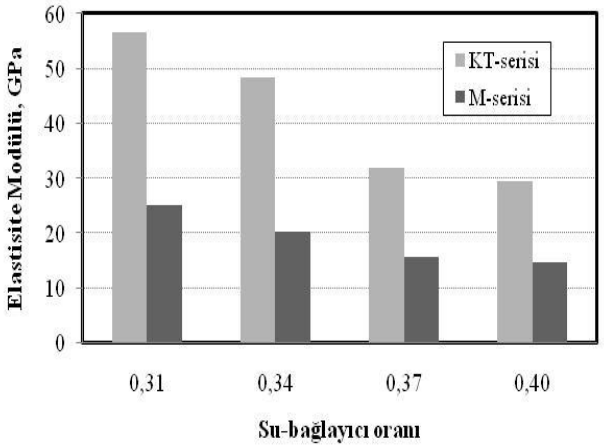
Şekil 4. Serilerin 28 günlük yarmada-çekme dayanımlarının karşılaştırılması

Her iki beton tipinde de su-bağlayıcı oranının artmasıyla agrega-çimento hamuru ara-yüzeyindeki kenetlenmenin azalması nedeniyle çekme dayanımlarında azalma görülmüştür (Şekil 4). Ancak, KT ve M serilerinin yarmada-çekme dayanımları arasındaki fark, basınç dayanımlarındaki farktan daha azdır. KT serilerinin 28 günlük yarmada-çekme dayanımları su-bağlayıcı oranına bağlı olarak 3.6 ile 2.6 MPa arasında değişirken, M serilerinin yarmada-çekme dayanımları da 3.45 ile 2.2 MPa arasında değerler almıştır. Bununla birlikte, su-bağlayıcı oranının artmasıyla birlikte KT ve M serilerinin çekme dayanımları arasındaki fark da artmıştır. Bunun en önemli nedeni, M serilerinde kusurlu agrega miktarının KT serilerindekine göre fazla olmasından dolayı, M serilerindeki çimento hamuru-agrega ara yüzeyindeki aderansın daha az olmasındandır. Mermer agregalarının aşınma (parçalanma) direncinin kırmataşa göre daha düşük olmasından dolayı, çeneli kırıcıda mermerlerin kırılması sırasında yassı tane miktarının arttırdığı düşünülmektedir. Diğer yandan, iri agregaların dayanımı da betonun basınç ve eğilme dayanımları üzerinde önemli derecede etkiye sahiptir. Mermer agregaları kırmataş agregalarına göre daha düşük dayanıma sahiptir [11]. Bu nedenle MT serilerinin basınç ve eğilme dayanımları KT serilerine göre daha düşük değerdedir. Benzer sonuçlar, Wu v.d. [11] tarafından yapılan çalışmada da elde edilmiştir. Mermer agregasıyla üretilen yüksek dayanımlı betonların kırmataş agregasıyla üretilen betonlara göre daha düşük basınç ve eğilme dayanımına sahip olduğunu yapmış oldukları çalışmalarında belirtmişlerdir.



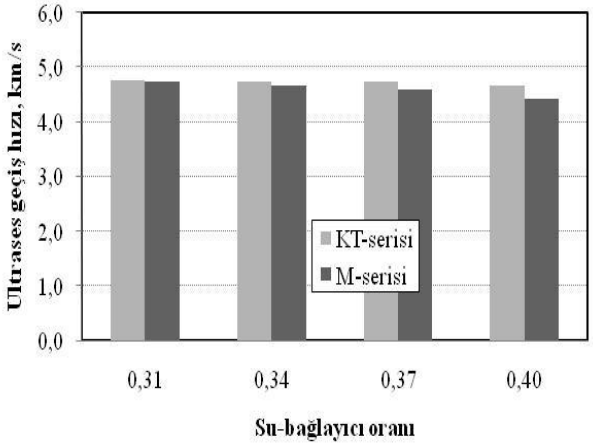
Şekil 5. KT ve M Serilerinin gerilme-şekil değiştirme eğrileri (Su-bağlayıcı oranları: a) 0.31; b) 0.34; c) 0.37 ve d) 0.40 için)

Şekil 5'de KT ve M serilerinin yük-deformasyon verilerinden elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrileri görülmektedir. KT serileri, her su-bağlayıcı oranında oldukça rijit bir yapıya sahiptirler. Ancak M serileri KT serilerine göre karşılaştırıldığında daha sünektirler. Aynı gerilme değeri için KT ve M serilerinin farklı şekil değiştirme değerlerine sahip olmakları bunun açıkça göstergesidir. Sabit bit su-bağlayıcı oranı için aynı gerilme değerinde M serileri KT serilerine göre daha fazla şekil değiştirme oranına sahiptirler. Agreganın köşeli (kübik) ve yüzeyinin pürüzlü olması, agrega-çimento hamuru ara yüzeyindeki mikro çatlakların oluşması ve bu çatlakların büyüyerek betonun çözülme sınırına gelmesini geciktirmektedir [8-10]. Bu durum da betonu daha gevrek hale getirmektedir. M serilerinde KT serilerine göre daha fazla yassı agrega bulunmasından dolayı M serilerinin KT serilerine göre aynı gerilme değerleri için daha sünek bir yapıya sahip olduğu açıkça görülmektedir. Bu durum tüm su-bağlayıcı oranı için aynıdır.



Şekil 6. Serlerin (KT ve M) elastisite modüllerinin karşılaştırılması

KT ve M serilerine ait gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden elde edilen statik elastisite modülü değerleri Şekil 6'da karşılaştırılmıştır. KT serilerinde M serilerine göre oldukça yüksek elastisite modülü değerleri elde edilmiştir. Tüm su-bağlayıcı oranlarında, M serilerinin elastisite modülü değerleri, KT serilerinin değerlerine göre neredeyse %60 oranında daha düşüktür. Gerilme-şekil değiştirme eğrileri üzerinde etkili olan faktörler direkt olarak elastisite modülü üzerinde de etkilidir. Beton içerisindeki agreganın yüzey yapısındaki pürüzlülük ve agreganın şekli agrega-çimento hamuru ara yüzeyinde önemli rol oynamaktadır. Betondaki kusurlu agrega miktarının artması, çimento hamuruyla agrega arasındaki kenetlenmeyi azaltmakta ve sonuç olarak aynı gerilmeler altında daha fazla şekil değiştirme yeteneğine sahip olan betonların elastisite modülü değerleri de azalmaktadır [9,12]. Diğer yandan, su-bağlayıcı oranının artmasıyla birlikte hem KT serilerinin hem de M serilerinin elastisite modüllerinde azalmalar olmuştur. Bunun en önemli nedeni, kullanılan su miktarının artmasıyla, boşluk yapısındaki gözenek miktarı artan çimento hamuru ile agrega arasındaki aderansın sahip olduğu kayma gerilmeleri daha kolay aşılmakta ve malzeme daha fazla şekil değiştirme yeteneğine sahip olmaktadır [13]. Diğer bir ifadeyle, malzemenin elastisite modülü azalmaktadır [8]. KT serilerin elastisite modülündeki su-bağlayıcı oranına göre azalma, M serilerindeki azalmaya göre daha fazla orandadır.



Şekil 7. Serilerin 28 günlük ultrases geçiş hızlarının karşılaştırılması

Her iki agrega tipiyle üretilen betonlarda gerçekleştirilen ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde (Şekil 7), KT serilerinde elde edilen ultrases geçiş hızı su-bağlayıcı oranının artmasıyla çok az miktarda azalmıştır. Aynı durum M serileri için de geçerli olması yanı sıra M serilerindeki ultrases geçiş süresi KT serilerine göre daha düşük miktardadır. Ancak bu fark yaklaşık 0,2 km/sn civarındadır. Ultrases geçiş hızı değeri açısından her iki agrega tipiyle üretilen beton da kaliteli beton sınıfındadır [10]. Ultrases geçiş süresi, betonlardaki boşluk miktarının bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Dolayısıyla tüm su-bağlayıcı oranındaki KT ve M serilerinin ultrases geçiş süreleri açısından kaliteli beton sınıfında yer almaları da göz önünde bulundurularak az miktarda boşluk içerdikleri belirtilebilir.

Tüm deney sonuçları göz önünde bulundurulduğunda, çevreye atık olarak bırakılan mermer parçalarının agrega haline getirilerek beton üretiminde kullanılması durumunda, üretilen betonlarda düşük su-bağlayıcı oranı seçilmesi ile kırmataş agregalarıyla üretilen betonlara göre mekanik özelikler açısından önemli derecede bir farklılık bulunmamaktadır. Bu nedenle, mermer atıklarının agrega olarak betonda değerlendirilmesiyle yapıların sürdürebilirliği ve mevcut alanların daha verimli kullanılabilmesi için oluşan çevre kirliliği kısmen de olsa azaltılacaktır. Ayrıca, agrega elde etmek için doğa tahribatı da önlenmiş olacaktır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, agrega ocaklarından elde edilerek betonda kullanılan kırmataşın yerine atık mermer agregalarının kırılarak betonda kullanılması araştırılmıştır. Farklı su-bağlayıcı oranlarında üretilen betonların basınç dayanımları, mermer atığı kullanılması durumunda ve en düşük su-bağlayıcı oranında kırmataş agregası kullanılan betonlara göre %12 oranında daha düşük değerlerde elde edilmiştir. Ancak genel itibariyle değerlendirildiğinde, mermer agregalarının kırmataş agregaları yerine kullanılması durumunda önemli bir dayanım kaybı görülmemiştir. Su-bağlayıcı oranı düşük tutularak gerekli dayanım sınıfı elde edilebilir. Bu şekilde agrega maliyeti düşürülerek direkt

olarak beton maliyeti ve yapı birim fiyatı da düşürülerek ekonomik kazanç sağlanacaktır. Diğer yandan çevresel ve endüstriyel atık malzemesi olan mermer atıklarının değerlendirilmesiyle çevre kirliliği de azaltılmış olacaktır.

Bu çalışmada, mermer agregasının kırmataş agregasıyla yer değiştirilmesi durumunda betonun mekanik özelikleri incelenmiş olup, ileriki çalışmalarda durabilite özeliklerinin de incelenmesi önerilmektedir. Mermer agregasıyla üretilen betonların dayanıklılık özelikleri de ortaya konduktan sonra, mermerlerin atık hale gelmesi, çevreye atık olarak terk edilmeden, beton üretiminde kullanılmasıyla yapıların sürdürebilirliği açısından bir avantaj haline dönüştürülebilir.

Kaynaklar

[1]. Cengiz, A.K., Kulaksız, S., " Mermer İşletme Tesislerindeki Atıkların Değerlendirilmesi", Türkiye'de Mermer Yapı ve Dekorasyon, Sayı 47, s. 24, (1996)

[2]. Şentürk, A., "Mermer Teknolojisi", Isparta, (1996)

[3]. Terzi, S. & Karaşahin, M., Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonu Karışımında Filler Malzemesi Olarak Kullanımı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi, Cilt 14, Sayı 2. (2003).

[4]. Ünal, O., Kibici, Y., "Mermer Tozu atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması",Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bil.Kitabı, AFYON., (2001)

[5]. Ünal,O., Uygunoğlu, T., "Atık Mermer Tozu Katkılı Betonların Donma-Çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, 18-19 Aralık, Afyon, ss. 147. (2003).

[6]. Ünal, O., Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T., Kendiliğinden Yerleşen betonda Mermer Tozu Kullanılması, Mersem'2006 Türkiye V. Mermer ve Doğal taş Sempozyumu Bildiriler Kitabı 2-3 Mart, 413-420 (2006).

[7]. Uygunoğlu, T., Yüksek Oranda Silis Dumanı İçeren Harçlarda Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR) Gelişiminin İncelenmesi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt:5 No:2, 9-16, (2009).

[8]. Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T., Kendiliğinden Yerleşen Betonda Statik ve Dinamik Elastisite Modülü Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, Yapı Mekaniği Semineri–2008, 28 Kasım 2008, 77-86, (2008).

[9] Neville,A.M., Brooks, J.J., "Concrete Technology" Longman Scientific and Technical, p.285., (1987)

[10] Erdoğan, T.Y., "Beton", ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.ANKARA, Mayıs (2003).

[11] Wu, KR, Chen, B, Yao, W, Zhang, D, Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of high-performance concrete, Cement and Concrete Research 31, 1421–1425 (2001).

[12] M.G. Alexander, Aggregates and the deformation properties of concrete, ACI Mater. J. 93 (6) 569– 576 (1996).

[13] Alexander, M.G., Milne, T.I., Influence of cement blend and aggregate type on stress– strain behavior and elastic modulus of concrete, ACI Mater. J. 92 (3) 227–234 (1995).

[14] Ozturan, T., Cecen C., Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strength, Cem. Concr. Res. 27 (2) 165– 170 (1997).

[15] Yaşar, E, Erdoğan, Y, Kılıç, A., Effect of limestone aggregate type and water–cement ratio on concrete strength, Materials Letters, Volume 58, Issue 5, February, Pages 772-777 (2004).