

Afyon Mermer Tozu ve Soma Uçucu Kül Katkılı Betonların Donma-Çözülme Özellikleri ve Ekonomik Değerlendirilmesi

O. Ünal & T. Uygunoğlu

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon

ÖZET: Beton bileşimi içerisinde hacim olarak farklı oranlarda katılan yapay agregalarla üretilen betonların donma-çözülme özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla birinci seri betonların üretiminde uçucu kül, ikinci seri betonlarda mermer tozu kullanılmıştır. Uçucu kül, %10, %20, %30 oranlarında, mermer tozu ise %10, %15 ve %20 oranlarında beton içerisine katılmıştır. Üretilen beton numunelerde, 0,65 su/çimento oranı ve 300 kg/m³ çimento dozajı esas alınmıştır. Aynı çimento dozajı ve su/çimento oranında kontrol betonu da üretilmiştir. Tüm numunelere 28 gün sonra donma-çözülme çevrimi uygulanmıştır. Numuneler üzerinde, su emme deneyine bağlı olarak difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Donma-çözülme deneyinden önce ve sonra ultrases geçiş süresi ölçülmüş ve buna bağlı olarak elastisite modülleri hesaplanmıştır. Ayrıca basınç deneyine göre dayanımlar belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, %10-15 oranında uçucu kül veya %10 mermer tozunun beton karışımında kullanılması halinde ekonomik yarar sağlanabilir.

ABSTRACT: Freeze-thaw properties of concrete produced with different amount of artificial aggregates in volumetric composition are investigated. For this purpose, two series of samples are produced. The fly ash and marble dust are used to produce the samples. While the fly ash ratios are 10, 20 and 30 %, the marble dust ratios are 10,15 and 20 % in volumetric composition. The 0.65 water/cement ratio and 300kg/m³ cement dosage are selected as reference. A control concrete sample is also produced having the same dosage. A freeze thaw cycle is applied to the samples produced after 28 day. Depending on the water absorption exponent, the diffusion coefficients are calculated. The elasticity modulus are calculated before and after the freeze-thaw experiment depending on the ultrasonic transmission time. The strength of the sample are also determined by a composition test. Depending on the experientel result, economical benefit can be achieved by using 10-15 fly ash or 10 % marble dust in the concrete mixture.

1. GİRİŞ

Endüstriyel hammaddelerin inşaat sektöründe değerlendirilmesi üzerine çalışmalar devam etmektedir. Hazır beton üretiminde betonun dayanımı ve dayanıklılığı üzerine yapılan çalışmalarda değişik malzeme ve metotlar kullanılmaktadır. Bunlardan betonun geçirimsizliğini ve işlenebilirliği sağlamak amacıyla karışımdaki çimento ağırlığının belirli oranı uçucu kül ile ikame edilerek beton üretilmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır(Sun ve ark., 1999). Diğer taraftan ince malzeme oranını ayarlamak amacıyla mermer tozu atıklarının değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Düşük enerjili yoğun malzemelerin Portland

çimentosuna daha fazla enerji kazandırması amacıyla ya doğrudan ya da çimentoyla yer değiştirilerek ilave edilmesini teşvik etmektedirler. Mineral katkılardan olan uçucu kül betonun dayanıklılık karakteristikleri üzerine önemli bir etkiye sahiptir. Betonun dayanıklılığına etki eden en önemli olaylardan biri donma ve çözülmedir(Dolch ve ark., 1995).

Donma olayı zararlı etkisini, betonun bileşenlerinden olan agrega taneleri ve çimento hamuru fazlarının her ikisinde gösterir. Eğer donmaya dayanıklı bir beton elde etmek istiyorsak çimento hamurunun kompozitesini büyük,

agreganın porozitesi küçük olan malzeme seçilmelidir(Postacioğlu, 1987).

Uçucu kül katılarak elde edilen betonların donmaya karşı dayanımı konusunda net ve kesin sonuçlar elde edilememiş, bu da deney şartlarına ve kür süresinin farklılığına bağlanmış olmakla beraber, uçucu küllü betonların normal betonlardan daha fazla kür süresine ihtiyaç duydukları tespit edilmiştir. Aksi taktirde uçucu külün betonun dona dayanıklılığını olumsuz etkilediği düşünülmektedir.

Beton üretiminde çimento yerine ağırlıkça %15 civarında uçucu kül kullanıldığında normal betonlara eşdeğer dayanım sağlanmaktadır. Daha yüksek oranda uçucu kül kullanılması durumunda ise beton dayanımında azalma oluşmaktadır. Bunun nedeni uçucu külden ($SiO_2 + Fe_2O_3 + Al_2O_3$) S+F+A toplam miktarının yeterli olmasından kaynaklanmaktadır. Belirtilen oranlarda uçucu kül kullanılarak üretilen betonda önemli ölçüde ekonomik yarar sağlanması mümkündür.

Taze ve sertleşmiş betonun farklı özelliklere sahip olması istenmektedir. Taze betonun işlenebilmesi, sertleşmiş betonun da yüksek bir basınç mukavemetine sahip olması ve zaman içinde bu özelliğini kaybetmemesi veya olumsuz yönde değiştirmemesidir (Postacioğlu, 1987).

Mermer endüstrisini son yıllarda ilgilendiren en önemli konu çevresel kirliliğe neden olan atıklardır. Ancak mermer işletmeciliğinde moloz toz ve paledyen ürünleri satılabilir ve değerlendirilebilir bir hammadde olmaları sebebiyle artık bir madde olup, üretim esnasında ortaya çıkan havuz çökeltileri de çeşitli işlemlerden sonra işe yarayan hem bir hammadde hem de ekonomik açıdan değerli bir malzeme olabilir(Albayrak, 1985).

Mermer tozu, en küçük boyutlu mermer atıkları olup mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi esnasında açığa çıkan ve büyük çoğunluğu 1mm'nin altında olan mermer tanecikleridir. Kesme işleminin suyla yapılması nedeniyle bu atıklar direkt olarak suya karışır ve şlam halinde çöktürme havuzlarından veya kek olarak arıtma tesislerinde depolanır. Atıklar, değişik özelliklere sahip mermer tozlarından ve içine karışan yabancı maddelerden oluşmaktadır (Ünal ve ark.,2001).

Mermer atıklarının beton üretiminde kullanılması üzerine yapılan bir çalışmada(Ünal ve ark.,2003), beton üretiminde ince malzeme oranının %10'u mermer tozu ile yer değiştirmesi halinde basınç dayanımında belirli bir artış yaptığını belirtmiştir.

Bu çalışmada soma termik santraline ait uçucu kül, Afyon bölgesi mermer tozu, kırmataş ve bağlayıcı olarak PKÇ/A32.5 portland kompoze çimentosu kullanılarak üretilen beton numunelerinin donma-çözülme özellikleri araştırılarak sonuçların beton üretiminde kullanılabilirliği belirlenmeye çalışılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Malzeme Özellikleri

Agrega: fici ayn seri halinde yapılan çalışmada ince malzeme olarak 0-4mm tane dağılımına sahip kırma kum, iri malzeme olarak **da 4/16 tane** grubunda kırmataş I ve 16/31.5 tane grubunda kırmataş II malzemeleri kullanılmıştır. Mermer tozu ince malzeme ile, uçucu kül çimento ile yer değiştirilerek karışım hesaplan yapılmıştır. Beton bileşimine giren agregaların elek analizleri TS 706'ya göre yapılarak granülometreleri çizelge 2.1'de verilmiştir.

Uçucu kül: Beton karışımlarında Soma termik santraline ait uçucu kül kullanılmış olup, kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Agregaların Granülometri Değerleri

Elek açıklığı	31.5 (mm)	16 (mm)	8 (mm)	4 (mm)	2 (mm)	1 (mm)	0.25 (mm)
Kırma kum	100	100	100	95	60	32	15
Kırma taş I	100	97	27	8	0	0	0
Kırma taş II	100	16	3	0	0	0	0
Mermer tozu	100	100	100	100	35	8	1

Mermer tozu: Afyon İncehisar'da bulunan mermer işletmesine ait çökelti havuzundan getirilen malzeme üzerinde gerekli deneyler yapılabilmesi için bazı işlemler uygulanmıştır. 2mm açıklıklı elekten elenerek elde edilen mermer tozunun çeşitli özellikleri araştırılmıştır. Karışımlarda kum ile

beraber ince malzeme miktarının ayarlanmasında kullanılan mermer tozunun özellikleri Çizelge 2.1'de, kimyasal özellikleri de Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Mermer Tozu ve Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri

Bileşik Adı	Oranlar (%)	
	Mermer Tozu	Uçucu Kül
SiO ₂	4.67	46,51
Al ₂ O ₃	—	25,47
Fe ₂ O ₃	0.03	4,88
(S+F+A)		76,86
CaO	51.80	15,94
MgO	0.40	0,67
Na ₂ O	—	0,36
K ₂ O	—	1,7
SO ₃	—	2,78
A.Z	41.16	—
Kızdırma.kaybı	—	1,35

Çimento: Beton karışımlarında Afyon SET çimento fabrikasının üretimi olan PKÇ/A32.5 tipi portland kompoze çimentosu kullanılmıştır. TS 24'e göre çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri çimento fabrikası laboratuvarında yapılmış ve sonuçların TS 19'da belirtilen standart değerlere uygun olduğu görülmüştür. Çimentonun kimyasal özellikleri Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. PKÇ/A 32.5 Çimentosu Kimyasal Özellikleri

Bileşik Adı	%
SiO ₂	20-25
Al ₂ O ₃	5-10
Fe ₂ O ₃	2-4
CaO	63-67
MgO	0.5-2.7
Na ₂ O	-
S O ₃	1-2.5
Diğer maddeler	0.5-2

2.2 Beton Karışımı ve Üretimi ve Deney Sonuçları

Hem Uçucu kül hem de mermer tozu katkılı beton bileşimlerinde çimento dozajı 300, maksimum agrega çapı 31,5mm ve optimum su/çimento oranı 0,65 olarak seçilmiştir. Karışımlara katılan uçucu kül miktarı çimento ağırlığının %10-%20 ve %30 oranlarında çimento miktarı ile, mermer tozu da %10-%15 ve %20 oranlarında 0-4mm tane

grubundaki ince malzeme ile yer değiştirilerek beton serileri üretilmiştir. Her iki seri de karışımın granülometri eğrisi A32-B32 referans eğrileri arasında kalacak şekilde agrega oranları %40 kırma kum, %35 kırmataş-I ve %25 kırmataş-II olarak belirlenmiştir. UKB ile uçucu kül katkılı betonlar, MT ile de mermer tozu katkılı betonlar sembolize edilmişlerdir.

Numuneler kalıp sökülmesinden 28 gün sonra testlere tabi tutulmuş olup deney gününe kadar normal sıcaklıktaki kirece doymuş su içerisinde kür edilmişlerdir. Donma-çözülme deneyi, 28 günlük suya doymuş 100x100x100 mm'lik küp numunelerin 3 saat -20 °C sıcaklıkta dondurucuda tutulduktan sonra 2 saat +4-6 °C su içerisinde çözdürülmesi bir periyot sayılmış olup, bu işlemin hafta boyunca 25 defa tekrarlanmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Üretilen 10cm.lik küp numuneler üzerinde donmadan önce ve çözülmeden sonra birim ağırlık ve ultrases geçiş süresi ölçüldü. 15cm.lik küp numuneler üzerinde de tek eksenli basınç deneyi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar yardımıyla her seriye ait numunelerin birim ağırlıkları, ultrases hızları ve basınç dayanımları hesaplanmıştır. Numunelerin donmaya dayanıklılığı elastisite modüllerindeki değişimlere göre belirlenmiştir. Buna göre ultrases hızı (V) ile betonun elastisite modülü (E) arasında $E = 10^5 \times V^2 \times g$ — bağıntısından

yararlanılmıştır(Postacıoğlu,1987). Burada V ultrases hızı (km/sn), A betonun birim ağırlığı (kg/dm³), $g=9,81m/sn^2$ ve E numunenin elastisite modülü (kgf/cm²)'dür. Donmadan önce ve çözülmeden sonraki değerlere göre sonuçlar hesaplanarak çizelge 2.5'de verilmektedir.

Ayrıca kılcallık ve su emme deneyi yapılmıştır. Kılcallık deneyi sonuçları UYAN'ın geliştirdiği matematiksel modele uyarlanarak difüzyon katsayıları hesaplanmıştır(Uyan,1975). Buna göre etüvde kurutulan numunelerin birim zamanlarda emdiği su miktarları tesbit edilerek kılcal su emme-zaman grafiği çizilmiştir. Deney sonucunda elde edilen noktalara "En küçük kareler metoduna" göre en uygun doğru çizilmiştir. Bu doğrunun eğiminden (S) yararlanılarak $D'=(y4)*S^2$ (cm²/dak) bağıntısı ile difüzyon katsayısı(D') hesaplanmıştır. Ayrıca sonuçlar arasındaki ilişki regresyon katsayısına (R) göre belirlenmiştir.

Çizelge 2.4. Beton Numunelerine ait Sonuç ar

Beton Türü	m	Görünen Porozite (%)	İ	D'	R
Şahit	21,6	12	2,12	9,62	0,92
UKB10	19,9	13	2,13	4,91	1
UKB20	22	11	2,16	3,14	0,89
UKB30	21	12	2,21	5,94	0,86
MT10	21,5	13,8	2,14	7,07	0,90
MT15	18	14,6	2,10	12,57	0,96
MT20	16	16,5	2,07	21,65	0,98

Çizelge 2.5. Donma-Çözülme Özellikleri

Beton Türü	Donmadan Önce		Çözülmeden sonra	
	Elastise Modülü (MPa)	V (km/sn)	Elastise Modülü (MPa)	V (km/sn)
Şahit	40267	4,32	39921	4,30
UKB10	42215	4,41	37609	4,16
UKB20	42170	4,38	39200	4,22
UKB30	43487	4,40	39902	4,21
*				
MT10	38004	4,18	22979	3,2
MT15	32197	3,88	24378	3,3
MT20	30407	3,80	19865	3,1

3. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

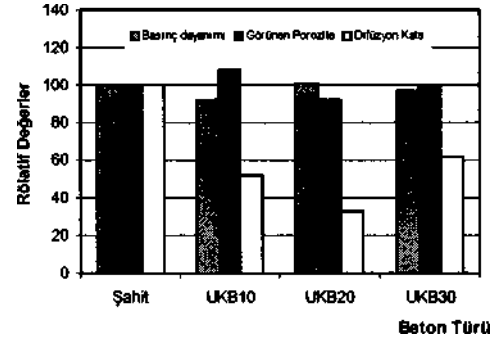
Yapılan deneysel çalışmanın birinci bölümünde, bağlayıcı malzemenin belirli oranları uçucu kül ile, ikinci bölümünde ise ince malzeme miktarı mermer tozu ile değiştirilerek numuneler üretilmiştir.

Üretilen numunelerin taze beton deneylerinden işlenebilirliği üzerine uçucu külün olumsuz bir etkisi görülmemiştir. Ancak karışımlarda mermer tozu artışına bağlı olarak işlenebilirliği zorlaşmıştır.

15*15*15 cm boyutunda küp numuneler üzerinde basınç dayanımları, 10*10*10 cm boyutunda küp numuneleri üzerinde önce su emme deneyi daha sonra donma-çözülme çevrimleri uygulanmıştır. Her iki bölümde elde edilen değerlerin şahit numune değerlerine göre karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla rölatif değerler hesaplanarak değişimleri grafik ortamında incelenmiştir.

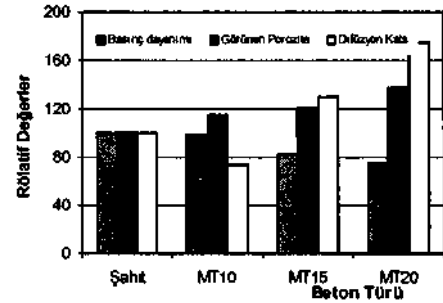
28 günlük uçucu kül katkıli numunelerde basınç dayanımları ile uçucu kül miktarı arasındaki ilişki incelendiğinde, genel olarak beton içerisine katılan uçucu kül miktarı arttıkça dayanımda şahit betonun dayanımına göre çok az azalma eğilimi görülmüştür (Şekil 3.1).

UKB10 betonlarında basınç dayanımı %9 oranında azalırken görünen porozite de %10 civarında artmıştır. Diğer uçucu kül betonlarında bu ilişki tersinedir. Buna göre çimentonun %15-20'si uçucu kül ile değiştirilerek üretilen betonların istenilen dayanımı vermesi ile atık malzemelerin değerlendirilmesi açısından ekonomik fayda sağlanabilir.



Şekil 3.1. UKB Betonların Rölatif değerleri

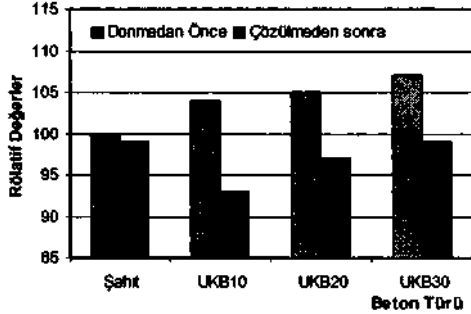
Yapılan çalışmada uçucu kül katkıli betonların görünen porozite ile basınç dayanımları arasındaki ilişkinin uygun olduğu görülmüştür. Yani porozite artarken dayanım azalmaktadır.



Şekil 3.2. MT Katkıli Betonların Rölatif değerleri

Öte yandan karışımda ince malzeme yerine kullanılan mermer tozu miktarı artışına paralel olarak basınç dayanımlarında azalma eğilimi belirgin şekilde görülmektedir (Şekil 3.2). Bu azalma oranı MT20 için yaklaşık olarak %22 civarında iken MT10 için daha azdır.

Uçucu kül katkıli betonların aksine mermer tozu katkıli betonlarda porozite ile basınç dayanımı arasındaki ilişki tam tersine olduğu görülmüştür. Yani mermer tozu katılması durumunda şahit betonun dayanımında azalma görülürken doğal olarak porozite değerleri artmaktadır. Buna göre karışımlarda %10 civarında mermer tozu kum ile karıştırılarak beton üretiminde değerlendirilebilir. Ayrıca mermer tozu katkıli betonların su emme deneyi sonuçlarına göre belirlenen görünen porozite ile difüzyon katsayılarındaki değişim benzer olup mermer tozu miktarı artışına bağlı olarak artma eğiliminde olduğu görülmüştür.

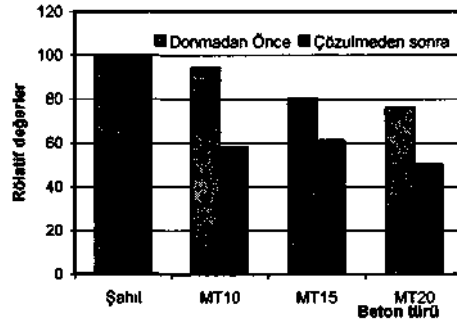


Şekil 3.3. UKB Elastisite Modülü Relatif değerleri

Uçucu kül ve mermer tozu katkıli betonların donma-çözülme çevrimleri sonucunda dayanıklılığını belirlemek amacıyla elastisite modüllerindeki değişimler incelendiğinde, UKB numunelerinde donmadan önce şahit numune değerlerine göre elastisite modüllerinde bir artış olmuştur (Şekil 3.3). Ancak çözülmeden sonra %10 UKB'da azalma olduktan sonra uçucu kül miktarına bağlı olarak kısmen artma eğilimi görülmüştür. Burada donma-çözülme etkisi en fazla %10 UKB'de görülmüştür. Diğer UKB karışımlarında donma-çözülme etkisi daha azdır.

Mermer tozu katkıli betonlarda donma-çözülmenin elastisite modülüne etkisi dayanımlarda olduğu gibi UKB'da görülen ilişkinin tersi görülmüştür (Şekil 3.4). Yani elastisite modülleri

şahit numuneye göre hem donmadan önce hem de çözülmeden sonra mermer tozu miktarı artarken azalma eğilimi vardır.



Şekil 3.4. MTB Elastisite Modülü Relatif değerleri

Donma-çözülme etkisinin mermer tozu katkıli numunelerde daha fazla olmasının nedeni görünen porozite ve buna bağlı olarak difüzyon katsayılarının uçucu küllü betonlannkinden daha yüksek çıkmasına bağlanabilir. Dolayısıyla uçucu külün karışımlarda bağlayıcı olarak kullanılması halinde iç yapıda boşluk oranı daha az olurken, ince malzeme yerine mermer tozu kullanılması durumunda boşluk oranı artmaktadır. Böylece uçucu kül ile mermer tozu katkıli betonların davranışlarının farklı olduğu görülmüştür.

SONUÇLAR

Termik santrallerde açığa çıkan uçucu kül ve mermer işleme atölyelerinde üretim sonrası havuzlarda biriken ve çevresel kirliliğe neden mermer tozunun beton üretiminde değerlendirilerek ekonomiye kazanç sağlamak amacıyla yapılan deneysel çalışmada bulunan sonuçlar şöyle özetlenebilir.

- Karışımda mermer tozu veya uçucu kül kullanılması halinde betonun işlenebilirlik özelliğinde olumsuz bir etki görülmemiştir.
- Beton üretiminde ince malzeme miktarının %10-15 oranında mermer tozu ile değiştirilmesi halinde dayanımda şahit numuneye göre önemli bir azalma görülmemektedir.

- Uçucu kül katkılı betonlarda ise bağlayıcının belirli kısmı uçucu kül ile değiştirilmesi halinde dayanımlarda bir değişiklik görülmemiştir.
- Her iki serinin basınç dayanımları şahit numuneye göre incelendiğinde olumsuz etki mermer tozu katkılı betonlarda uçucu küllü betonlara göre daha fazladır.
- Mermer tozu katkılı betonlarda dayanımlar azalırken görünen porozite ve difüzyon katsayıları artmış uçucu küllü betonlarda ise bu ilişki tersine değişmiştir.
- Donma çözülme etkisinde numunelerin elastisite modüllerindeki değişimleri, mermer tozu katkılı betonlarda azalma eğiliminde, uçucu küllü betonlarda ise artma eğiliminde olmuştur. En fazla olumsuz etki UKB10 ve MT10 karışımlarında görülmüştür.
- Sonuç olarak endüstriyel atıklar olarak isimlendirilen mermer tozu ve uçucu külün %10-15 oranlarında ayrı ayrı beton karışımlarında değerlendirilmesinin yanı sıra birlikte karışıma katılması ile de olumlu sonuçların alınacağı söylenebilir. Böylece çevreye verdikleri zarar en aza indirilerek ekonomik yarar sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- Albayrak, Hasan Fehmi., Beton Ve Deneyleri El Kitabı D.S.İ. Ankara 1985
- Dolch, W.L.,Diamond, S.,1995.Durability of concrete. Part 39 of Civil Engineering handbook, Editor-in-chief, W.F.Chen. Boca Raton: CRC
- Postacıoğlu,B., 1987. Beton, cilt 2., Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- Sun, W., 1999. Damage and Damage Resistance Of High Strength Concrete Under The Action Of Load And Freeze-Thaw Cycles", Cement and Concrete Research,Vol.29,
- Uyan, M.,1975. Beton ve harçlarda Kılcallık Olayı, Dr.tezi. İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi.
- Ünal, O., Kibici, Y., 2001., Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması, Türkiye III.Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyon.
- Ünal, O., Demir, İ., Ergün, A., 2003. Mermer Atıklarının (Havuz Çökeltisi) Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması. AKÜ. Bilimsel Araştırma Projeleri komisyonu. Proje. Afyon