

Beyyazı (Afyonkarahisar) Yöresi Karbonatlı Kayaçların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

Investigation of the Usability of Beyyazı (Afyonkarahisar) Carbonatic Rocks as Concrete Aggregate

M.Y. Çelik, M. Ersoy

Afyon Kocatepe Üniv., Afyon Meslek Yüksek Okulu, Afyonkarahisar

A. Şahbaz

Akarbaşı Mh. Atatürk Blv. Çetin Apt. 65/2 Odunpazarı, Eskişehir.

ÖZET Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde kimyasal ve mineral katkıların uygun oranlarda ve homojen olarak karıştırılmasıyla oluşturulan bir yapı malzemesidir. Agregalar; beton için önemli bir bileşendir ve beton içerisinde hacimsel olarak yaklaşık %75 oranında kullanılırlar. Kullanılan agregalar TS 706 EN 12620 standardına uygun olmalıdır. Bu çalışmada Beyyazı taşocağı ve kırma-eleme tesisinde üretilen kırma taşların beton agregaları standardına uygunluğu araştırılmıştır. Alınan numuneler, boyut küçültme, numune azaltma ve boyuta göre sınıflandırma işlemine tabi tutulduktan sonra iri (22.4-11.2 mm ve 11.2-4 mm) ve ince (0-4 mm) agrega olarak sınıflandırılmıştır. Numunelerin özelliklerini belirlemek amacıyla petrografik-mineralojik (polarizan mikroskop, SEM-EDX ve XRD), kimyasal, fiziksel ve mekanik testler uygulanmıştır. Bu test ve analizler sonucunda; Beyyazı yöresi karbonatlı kayaçların “TS 706 EN 12620 Beton Agregaları” standardına uygun olduğu ve kırma taşların, hazır betonda beton agregası olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

ABSTRACT Concrete is a building material formed by mixing cement, aggregates, water, chemical and mineral additives in the appropriate proportions homogeneously. Aggregates are important for concrete since %75 of the concrete consists of them. However, the used aggregates must comply with TS 706 EN 12620 standard. In this research, the conformity of crushed stones to concrete aggregates standard is investigated. The stones were produced in the crushing-screening plant of Beyyazı quarry. Taken samples were subjected to size reduction, sample reduction and classification by size processes. After that, they were classified as large (22.4-11.2 mm and 11.2-4mm) and thin (0-4mm) aggregates. Moreover, in order to determine the characteristics of the samples petrographic, mineralogical (polarizing microscope, SEM-EDS and XRD), chemical, physical and mechanical tests were applied. According to these tests and analysis; it is determined that Beyyazı carbonated rocks conforms to “TS 706 EN 12620 Concrete Aggregates” standard and crushed stones can be used as aggregate in ready-mixed concrete.

1 GİRİŞ

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde bir katkı maddesinden oluşan, oranları belirli esaslara göre ayarlanmış bir karışımı, istenen şekil ve boyutta kalıplar içine boşluksuz olarak yerleştirmek ve uygun bakım koşulları

altında sertleştirme yolu ile elde edilen kompozit bir malzemedir (Kocataşkın, 1991). Çimentonun, su ile birleşmesinden oluşan çimento hamuru agrega tanelerinin yüzeyini kaplayarak ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak bağlayıcılık görevini

yapar. Agrega ise betonun iskeletini oluşturan kum, çakıl, kırma taş gibi taneli mineral malzemedir (Erdoğan, 1995).

Heterojen bir içyapıya sahip olan betonun özellikleri, betonda kullanılan malzemeler tarafından belirlenir. Beton hacminin yaklaşık %75'ini oluşturan agregaların kalitesi betonun performansını ve dayanıklılığını büyük ölçüde etkilemektedir. İyi bir beton elde edilebilmesi için uygun agrega kullanılması gerektiği bilinen bir gerçektir. Agreganın kimyasal ve mineralojik bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, sertliği, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı ve rengi gibi özellikleri elde edildiği kayacın özelliklerine bağlıdır. Tüm bu özelliklerin beton kalitesi üzerindeki etkisi büyüktür (Şengül vd., 2003). Hangi amaçla üretilirse üretilsin betonda bulunması gereken 3 ana nitelik vardır. Bunlar taze halde iken işlenebilirlik, sertleşmiş halde iken dayanım ve dayanıklılıktır (Akman, 1977).

Agregalar çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olmakla birlikte, özellikle inşaat sektöründe zorunlu olarak kullanılan bir malzemedir. Ülkemizde özellikle son 25–30 yıl içinde köyden kente hızlı bir nüfus göçünün meydana gelmiş olması, bu nüfus hareketinin doğal sonucu olarak inşaat sektöründeki büyüme ve gelişme, yol yapımının hızlanması ve benzeri nedenlerle agrega gereksiniminde büyük artışlara neden olmuştur (Yıldırım ve Yılmaz, 2002).

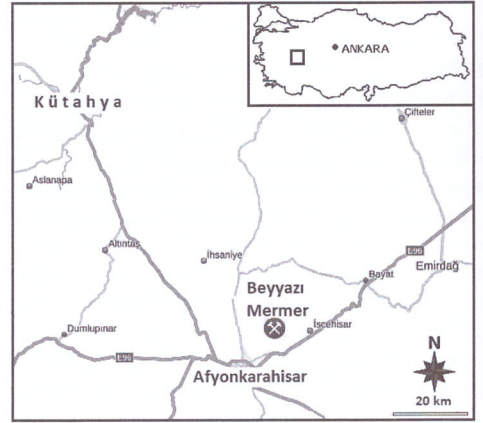
Ülkemizde agrega üretimi taşocaklarından, dere yataklarından ve denizlerden yapılmaktadır. Bu çeşitlilikte, arazi yapısı önemli rol oynamaktadır. Akarsu yataklarından üretim, son yıllarda çevre koruma kanunlarının getirdiği kısıtlamalarla azalma eğilimine gitmiştir. Agrega üretimi olarak taşocakları her geçen gün önem kazanmaktadır (Yılmaz ve Arıoğlu, 2006).

Bu çalışmada, Afyonkarahisar merkez Beyyazı köyünde bulunan Sağlamlar İnş. Taah. San. Tic. Ltd. Şti. firmasına ait kırma-eme tesisinde üretilen kırma taşların TS 706 EN 12620 beton agregaları standardına uygunluğu araştırılmıştır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

Deneylerde kullanılan numuneler Afyonkarahisar merkez Beyyazı köyünde bulunan Sağlamlar İnş. Taah. San. Tic. Ltd. Şti. firmasına ait kırma taş ocağından alınmıştır. Numune temininde TS 707 normuna uygun hareket edilmiştir. Numunelerin alındığı ocak lokasyon haritası Şekil 1'de, ocağın görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir. Agrega deneylerinde, $MgSO_4$ dona dayanıklılık deneyi için ve organik madde tayinin tespiti için NaOH kimyasalı kullanılmıştır.



Şekil 1. Beyyazı kırmataş ocağı lokasyon haritası



Şekil 2. Beyyazı kırmataş ocağının görünümü.

2.2 Yöntem

Malzeme karakterizasyonu için numunelere mineralojik ve petrografik analizler (polarizan mikroskop, XRD ve SEM-EDX), ve kimyasal analizler uygulanmıştır. Numunenin petrografik incelemeleri için ince kesitleri hazırlanmış ve polarizan mikroskop incelemeleri, Nikon marka LV100POL model polarizan mikroskop ile TS 5694 EN 12670 (2004) standardı kullanılarak tane büyüklüğü, dokusu, mineralojik bileşimi ve kayaç grubu açısından incelenmiştir. XRD analizleri Çanakkale Seramik Fizik laboratuvarlarında Panalytical X-pert MRD (X-celerator dedektör) ile yapılmıştır SEM analiz için numuneler karbonla kaplanmış ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan LEO 1430

VP model SEM cihazı ile mikro mineral incelemeler yapılarak resimleri çekilmiştir. Kimyasal analiz, Çanakkale Seramik fabrikasında Rigaku marka sys 3270 model XRF cihazı ile yapılmıştır.

Standarda uygun olarak mermer kırma taş ocağından alınan numuneler, boyut küçültme, numune azaltma (TS EN 932-2) ve boyuta göre sınıflandırma (TS 3530 EN 933-1) işlemine tabi tutulduktan sonra iri (22-12 mm ve 12-4 mm) ve ince (0-4 mm) agrega olarak sınıflandırılmıştır. Agregaların standartlara uygunluğu, TS 706 EN 12620'ye uygun olarak incelenmiş, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Çizelge 1'de belirtilen test ve/veya analizler yapılmıştır.

Çizelge 1. TS 706 EN 12620 standardına göre beton agregalarına yapılan test ve/veya analizler.

Test ve/veya Analiz	Uygulanan Standart	Kaynak
Petrografik analiz	TS 10088 EN 932-3	TSE, 1997
Numune alma	TS 707	TSE, 1980
Numune azaltma	TS EN 932-2	TSE, 1999
Agrega tane sınıfları	TS 3530 EN 933-1	TSE, 1999
Çok ince malzeme muhtevası	TS 3530 EN 933-1	TSE, 1999
Metilen mavisi	TS EN 933-9	TSE, 2001
Tane şekli tayini yassılık endeksi	TS 9582 EN 933-3	TSE, 1999
Los Angeles metodu	TS EN 1097-2	TSE, 2000
Özgül ağırlık ve su emme oranı	TS EN 1097-6	TSE, 2002
Yığın yoğunluğu ve boşluk hacmi tayini	TS EN 1097-3	TSE, 1999
Su muhtevası	TS EN 1097-5	TSE, 2001
Donma ve çözölmeye karşı direnç	TS EN 1367-2	TSE, 2011
Asitte çözöünebilen sülfat	TS EN 1744-1	TSE, 2000
Toplam kükürt	TS EN 1744-1	TSE, 2000
Ateş zayılatı	TS EN 1744-1	TSE, 2000
Humus muhtevası	TS EN 1744-1	TSE, 2000

3 BULGULAR

3.1 Petrografik ve Mineralojik Analizler

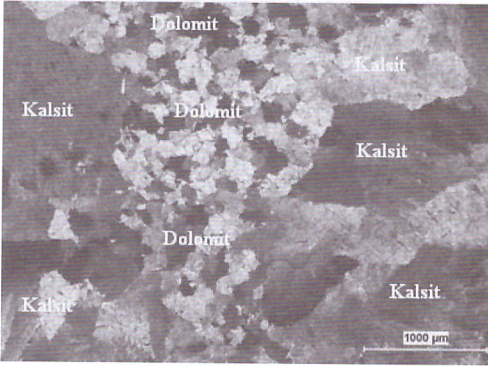
Polarizan mikroskop incelemelerinde, çoğunlukla iri boyutlu kalsit mineralleri ve çatlak ve boşluk dolgusu olarak sekonder küçük boyutlu dolomit mineralleri gözlenmektedir (Şekil 3). Petrografik

çalışmalar sonucunda örnek dolomitik mermer olarak tanımlanmıştır. İnce kesitlerde yapılan tane boyut analizinde 50 adet iri boyutlu taneye ölçüm yapılmış, maksimum tane boyutu 467.5 µm minimum tane boyutu 47.0 µm ve ortalama tane boyutu ise 234.5 µm olarak bulunmuştur. Küçük tanelere yapılan tane boyut analizinde 51 adet taneye ölçüm yapılmış, maksimum tane

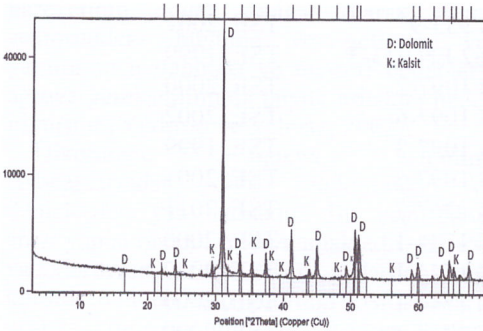
boyutu 114.1 μm minimum tane boyutu 3.9 μm ve ortalama tane boyutu ise 32.0 μm olarak bulunmuştur.

3.1.1 XRD analizi

Yapılan XRD analizleri sonucunda mermerler içerisinde kalsit ve dolomit mineralleri tespit edilmiştir (Şekil 4). Elde edilen bu değerlere göre, analizi yapılan numune dolomitik mermer olarak adlandırılabilir.



Şekil 3. Beyyazı agrega numunesinde kalsit ve dolomit görünümü



Şekil 4. Kalsit ve dolomit mineralleri XRD analiz grafiği

3.1.2 SEM analizi

Beyyazı agrega numunesinin SEM analizinde kalsit ve dolomit mineralleri görülmüştür. Bu minerallerden dolomitlerde EDX analizi yapılmış ve analiz sonuçları Şekil 5'de verilmiştir.

3.2 Kimyasal Analiz

Kimyasal analiz sonuçlarına göre mermerlerin esas bileşeni olan CaO %35.16 ve MgO %17.72 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 2). Bu durum mikroskop incelemeleri ve XRD verilerinde de olduğu gibi dolomitleşme olduğunu göstermektedir.

Dolomit yüzdesi yükseldikçe yani kayaç dolomite doğru dönüştükçe malzeme, betonda kullanılamaz hale gelmektedir. Beton içinde agrega olarak dolomitler kullanıldıkları zaman bu agregalar çimento içindeki alkali hidroksitlerle (genellikle NaOH) Alkali-karbonat reaksiyonu yapmakta ve hacim genişlemesi olmaktadır. Reaksiyona giren en fazla dolomit miktarı kalsit ve dolomitin eşit olduğu (%50) en yüksek orandır. Bu nedenle kimyasal bileşimde MgO değerinin artması istenmez. Kızdırma kaybı yaklaşık %46.7 olup, bu durum karbonatların parçalanarak ortama CO₂'i bırakması ve mermer içerisindeki organik maddelerin yanması sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Silis oranı %1 altındadır ve bu da herhangi bir sakınca içermemektedir.

Çizelge 2. Beyyazı agrega numunesine ait kimyasal analiz sonuçları

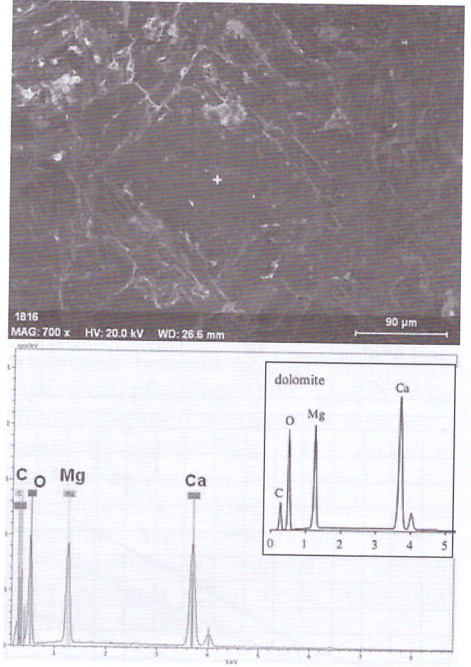
SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	A.Z
0.21	0.17	0.01	0.07	35.16	17.72	0.02	0.005	46.7

3.3 Agrega Test ve Deneyleri

3.3.1 Tane boyu analizi

Agrega içindeki değişik boyuttaki tanelerin oranı, agreganın kullanım amacına ve yerine göre önem taşımaktadır. Yapılarda kullanılacak agregalar, hacim içerisinde, birbirlerinin oluşturdukları boşluklarını dolduracak boyutlarda olmalıdırlar. Ancak uygun boyut dağılımı (agrega granülometrisi) ile işlenebilirliği yüksek, segregasyona uğramamış ve boşluksuz bir beton elde etmek mümkün olabilecektir. Ayrıca tane boyutları küçüldükçe toplam yüzey alanı artar ve bunun sonucu su ihtiyacı fazla olur (Zimbelmann, 1989).

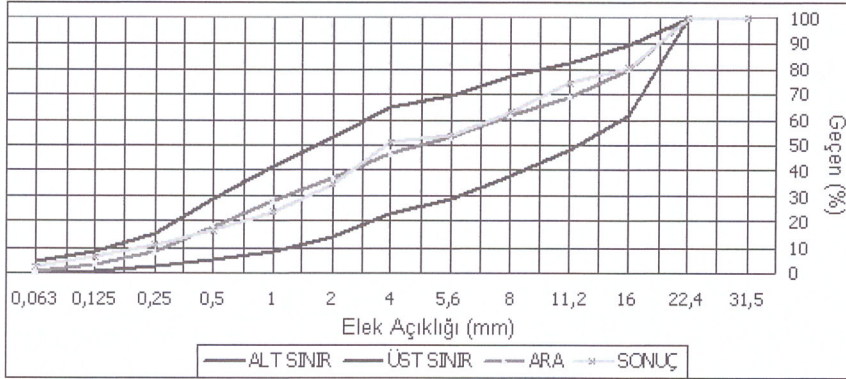
Elek analizleri TS 3530 EN 933-1 standardına uygun olarak yapılmış ve iri (22-12 mm ve 12-4 mm) ve ince (0-4 mm) agrega sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Elek analizi sonucunda betonda kullanılacak agreganın granülometri eğrileri çizilmiştir (Şekil 6). Beyyazı agregalarına yapılan elek analizi sonucunda çıkan granülometri eğrileri, TS EN 706 standardı granülometri eğrisi sınırları içerisinde kalmaktadır. Bu sonuçlara göre mermer agregasının beton yapımına tane boyutu bakımından uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. Beyyazı numunesinde gözlenen dolomit mineralinin EDX analiz grafiği vedolomit minerallerinin standart grafiği

Çizelge 3. Beyyazı agregasının elek analizi sonuçları

Elek Göz Açıklığı (mm)	0-4 mm			4-12 mm			12-22 mm		
	Küm. Kalan (gr)	% Kalan	% Geçen	Küm. Kalan (gr)	% Kalan	% Geçen	Küm. Kalan (gr)	% Kalan	% Geçen
22,4	-	-	-	-	-	-	0	0	100
16	-	-	-	-	-	-	1240	77.80	22.21
11,2	-	-	-	31	2.92	97.08	336	98.90	1.13
8	-	-	-	533	53.10	46.94	18	100	0
5,6	-	-	-	413	91.90	8.10	-	-	-
4	14	1.73	98.27	86	100	0	-	-	-
2	256	33.46	66.54	-	-	-	-	-	-
1	165	53.90	46.10	-	-	-	-	-	-
0,5	118	68.53	31.47	-	-	-	-	-	-
0,25	84	78.93	21.07	-	-	-	-	-	-
0,125	79	88.72	11.28	-	-	-	-	-	-
0,063	55	95.54	4.46	-	-	-	-	-	-
Tava	36	100	0	-	-	-	-	-	-
Toplam	807	-	-	1063	-	-	1594	-	-



Şekil 6. Kıрма taş mermer agregasına ait granülometri eğrisi

3.3.2 İncelik modülü

İncelik modülü, agreganın gradasyonunun bileşimi hakkında bilgi veren tek sayıdır. İncelik modülü delik açıklığı birbirinin iki misli artan elekler üzerinde kalan malzemenin yığışlımı yüzdelere toplamının yüze bölünmesiyle elde edilen rakamdır. Agregada taneleri küçüldükçe incelik modülü azalır, taneler irileştikçe incelik modülü büyür (Erdoğan, 2003). Elek analizi deneyi sonucu her elek üzerinde kalan agregaların yığışlımı ağırlık yüzdelere toplanarak yüze (100) bölünmesi ile İncelik Modülü (İM)

bulunur. Beton karışım hesaplarında ince agreganın incelik modülü kullanılmaktadır. Mermer agregasının ortalama incelik modülü %4.21 bulunmuştur. İncelik modülü sıfır ile granülometri deneyinde kullanılan elek sayısı arasında değerler alabilir. Yani yukarıdaki örnekte 0 ile 8 arasında olabilir. İncelik modülü sonucu şu şekilde yorumlanır: Değer büyükse elekler üzerinde kalan malzeme çoktur. Yani malzeme iridir. Değer küçükse malzemenin çoğu eleklerden geçmiştir. Yani malzeme incedir.

3.3.3 Çok ince malzeme muhtevası

Çok ince malzeme muhtevası, TS 706 EN 12620'ye göre ince agreganın toplam ince malzeme muhtevasının %3'ten veya agreganın kullanıldığı yerde geçerli olan mevzuata göre belirtilmiş olan başka bir değerden daha az olması durumunda zararsız olarak kabul edilmektedir. Çok ince malzeme muhtevası yüksek oranlara ulaştığı takdirde beton mukavemeti azalması, betonda su ihtiyacının artması, betonun işlenebilmesi, betonun büzülmesi şeklinde olumsuz etkilere yol açmaktadır.

Mermer numunesinde çok ince malzeme muhtevası değerleri, iri agregalarda (12-22 ve 4-12 mm) ortalama olarak %0.75 ve %0.71 bulunmuştur. En ince agrega olan 0-4 mm numunenin ise ortalama olarak çok ince malzeme muhtevası %12.1'dir (Çizelge 4). Çok ince malzeme muhtevası, ilgili kategoriye uygun olarak, iri agregalar için $f_{1,5}$ ince malzemeler için de f_{16} , bulunmuştur. Sonuçlar; iri agregalarda %4'den, ince agregalarda ise %22'den az olduğu için TS 706 EN 12620'ye uygun bulunmuştur.

3.3.4 Sıkışık ve gevşek yığın yoğunluğu tayini

Doğal agregaların sıkışık yığın yoğunluğu yaklaşık olarak 1500 ile 1900 kg/m^3 arasındadır. Bu değerler agreganın

mineralojisine, nem ve kuruluşuna göre farklılık gösterir (Şimşek, 2007). Testler, en az üç numune üzerinde tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5'de verilmiştir. Çizelge 5'de görüldüğü üzere mermer agregaları genel olarak beton için gerekli yığın yoğunluğu sınır değerleri içerisinde yer almaktadır. İri agregalar (12-22 ve 4-12 mm) ortalama 1563 ve 1601 kg/m^3 değerlerine sahiptir, 0-4 mm boyutlu ince agrega ise 1878 kg/m^3 değeri ile üst sınıra yaklaşmıştır.

Gevşek yığın yoğunluğu, agreganın tane şekli ve yoğunluğuyla yakından ilgilidir. Agregada içerisinde bulunan kusurlu tane oranı arttıkça boşluk miktarı artar ve gevşek yığın yoğunluğu da düşer. Agreganın boşluklu olması, betonun dış etkenlere karşı dayanımını olumsuz olarak etkileyeceğinden bunu önlemek için taneler arası boşluk hacmi ve tane granülometri eğrisinden yararlanılarak betonun boşluğu azaltılabilir. Çizelge 5'de görüldüğü gibi, gevşek yığın yoğunluğu değerleri ortalamaları sırasıyla 1 numaralı iri agrega için 1371 kg/m^3 , 2 numaralı iri agrega için 1457 kg/m^3 ve ince agrega için ise 1742 kg/m^3 olarak bulunmuştur. Yığın yoğunluğu değerleri dikkate alındığında agregalar referans değerler arasında olup beton yapımında kullanılabilir özelliktedir.

Çizelge 4. Beyyazı agregasına ait çok ince malzeme muhtevası değerleri,

Agrega Boyutu (mm)	Deney Numunesinin ilk kuru ağırlığı, (M ₁)	Yıkanan deney numunesinin kuru ağırlığı, (g) (M ₂)	0,063 mm göz açıklıklı elekten geçen kütlece yüzde (%) (M _y)	Ortalama Değer (%)
22,4-11,2	2000	1984	0.80	0.75
	2000	1986	0.71	
	2000	1985	0.79	
4-11,2	2002	1988	0.71	0.71
	2002	1989	0.70	
	2001	1987	0.73	
0-4	1000	880	12.0	12.1
	1001	872	12.8	
	1000	884	11.6	

Çizelge 5. Beyyazı agregalarına ait sıkışık ve gevşek birim ağırlık değerleri

Agrega sınıfı	Agrega Boyutu (mm)	Gevşek yığın yoğunluğu (kg/m ³)	Referans Değer (kg/m ³)	Sıkışık yığın yoğunluğu (kg/m ³)	Referans Değer (kg/m ³)
İri agrega	22.4-11.2	1371	≥1250	1563	
İri agrega	4-11.2	1457	≥1250	1601	
İnce agrega	0-4	1742	≥13250	1878	

3.3.5 Özgül ağırlık ve su emme deneyi

TS EN 1097-6'ya göre uygun olarak hazırlanan numunelerle gerçekleştirilen testlerde özgül ağırlık ve su emme değerleri; iri ve ince agregalar için 3 deney ortalaması Çizelge 6'da verilmiştir.

Özgül ağırlıklar, iri agregalar (4-11.2 ve 11.2-22.4 mm) için 2.72 ve 2.79 kg/m³, ince agregalar (0-4 mm) için ise 2.69 kg/m³'dür. TS EN 206-1 standardının öngördüğü limit özgül ağırlık değerleri 2.50-2.70 kg/m³ arasında olduğundan, araştırmaya konu iri ve ince agregalar önerilen sınır değerleri içinde yer almaktadır. Agregaların yüksek özgül ağırlık değerlerine sahip olması, boşluksuz ve sağlam olarak değerlendirildiğinden

dolayı incelenen agregaların kaliteli olduğu söylenebilir ve beton yapımında kullanılabilir.

Beton yapımında kullanılacak agregaların %10 su emme oranını geçmemesi istenmektedir. Agregaların su emme değerleri, dona karşı mukavemeti ve dayanımı etkilemektedir. Agreganın tane özgül ağırlığı ve su emme oranı, esas olarak beton karışım hesaplarında kullanılmaktadır. Su emme oranı 22.4-11.2 mm ve 11.2-4 mm boyutunda yer alan iri agregalar için sırasıyla %0.86 ve %1.56, 4-0 mm boyut aralığında yer alan ince agregalar için %2.17'dir.

Çizelge 6. İri ve ince agregaların ortalama özgül ağırlık ve su emme oranları.

Agrega Boyutu (mm)	Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı (M ₁) (gr)	Ölçü Kabı, Su ve Numune Ağırlığı (M ₂) (gr)	Ölçü Kabı ve Su Ağırlığı (M ₃) (gr)	Etüv Kuru Numune Ağırlığı (M ₄) (gr)	Kuru Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Su Emme (%)
0-4 mm	502.33	3042.67	2723.00	491.67	2.69	2.75	2.86	2.17
4-11.2 mm	912.67	3305.00	2723.00	899.00	2.72	2.76	2.84	1.56
11.2-22.4 mm	1302.33	3562.67	2723.00	1291.33	2.79	2.82	2.86	0.86

3.3.6 Yassılık indeksi deneyi

Agrega tanelerinin şekli, taze betonun işlenebilirliği özelliğini doğrudan etkilemektedir. Yassılık indeksi için üst limit %55 dir ve agregaların bu değeri aşması istenmez. Agregaların yassılık indeksinin tayini agregalarda, tane büyüklüğü 4 mm ile 80 mm arasında olan agregalarda aranan bir özelliktir. Agregalar tanelerinin şeklini

belirlemek için şekil indisi deneyi TS 9582 EN 933-3'e göre yapılmıştır. Beyyazı agregaları %14.6 yassılık değerine sahiptir (Çizelge 7). Bu yassılık indeksi değeri ile TS 706 EN 12620 standardına göre FI₁₅ kategorisinde yer almaktadır. Çıkan sonucun, sınır değerinin altında olması nedeniyle mermer agregaları beton yapımında kullanılabilir özelliktedir.

Çizelge 7. Beyyazı agregalarının yassılık endeksi değeri

Numune No	Deneye Giren Toplam Malzeme Miktarı (gr)	Yassı Malzeme Miktarı (gr)	Yassılık Endeksi Değeri (%)	Ortalama Yassılık Endeksi FI (%)
1	1202	172	14.3	14.6
2	1040	150	14.4	
3	1168	179	15.3	

3.3.7 Metilen mavisi deneyi

Metilen mavisi deneyi malzeme içerisindeki kirlilik, kil oranını göstermektedir. Sadece ince malzemeye uygulanan bu deneyde üst limit %1.5 değeridir. Bu değer üstündeki malzeme killi kabul edilir ve beton üretiminde kullanılamaz. 0-2 mm boyutunda beher kilogramı başına tüketilen boyanın gram cinsinden ifadesi olan metilen mavisi değeri belirlenir. Mermer numunesinde kil varlığını tespit için, üç ayrı örnekte de 10 ml metilen mavisi çözeltisi yeterli olmuştur (Çizelge 8). Deneylerde sırasıyla sonuçlar, %0.50, %0.49 ve %0.47 olarak bulunmuştur. Metilen mavisi sınır değeri (MB) (%)1 olmasından dolayı bu durum, agreganın ince madde içermediğine işaret etmektedir. Ayrıca çok ince malzeme muhtevası değerinin de düşük olması metilen mavisi sonucunu desteklemektedir.

3.3.8 Los Angeles (Aşınma) deneyi

Agreganın aşınmaya karşı dayanıklılığını tespit etmek amacıyla yapılan bir deneydir. Kaba agreganın aşınması, aşındırıcı bir yük kullanarak Los Angeles makinesi ile tayin edilmektedir. Beton agregalarında TS 706 EN 12620 standardına göre tamburun 500 devir dönmesi sonucunda oluşan aşınma dayanımları maksimum %50 olmalıdır. Los Angeles test sonuçları ve standartta belirtilen kategori Çizelge 9'da verilmiştir. Yapılan üç aşınma deneyinin aşınma oranı ortalaması, 11.2-22.4 mm boyutu için %22.9, 4-11.2 mm boyutu için %23.8 olarak bulunmuştur. Buna göre; Los Angeles katsayısı, LA₂₅ kategorisine uymaktadır. Bu değerler ile mermer numuneleri Los Angeles sınır değerleri altında yer almakta ve beton üretiminde kullanılabilirlerdir.

Çizelge 8. Beyyazı numunesine ait metilen mavisi değeri

Numune No	Deneye Giren Numune Miktarı (gr)	İlave Edilen Metilen Mavisi Çözeltisi (ml)	Metilen Mavisi Değeri (MB) (%)	Metilen Mavisi Sınır Değeri (MB) (%)
1	200	10	0.50	1
2	202	10	0.49	
3	205	10	0.47	

Çizelge 9. Beyyazı agregalarının Los Angeles aşınma dayanım değerleri

Agrega Boyutu (mm)	Numune No	İlk Ağırlık (M ₁) (gr)	1,6 mm'lik Elekte Kalan (M ₂) (gr)	Aşınma Oranı (%)	Ortalama Aşınma Oranı
11.2-22.4	1	5000	3864	22.7	22.9
	2	5000	3813	23.7	
	3	5000	3885	22.3	
4-11.2	1	5000	3843	23.2	23.8
	2	5000	3798	24.1	
	3	5000	3804	23.9	

3.3.9 Donma ve çözölmeye karşı direnç

Agreganın Magnezyum Sülfat (Mg_2SO_4) çözeltisi ile donma ve çözölmeye etkisine maruz bırakılması halinde gösterdiği direncin tayini TS EN 1367-2 (2011) standardına uygun olarak yapılmış olup sonuçlar Çizelge 10'da verilmiştir. Mermer agregalarında 11.2-22.4 mm boyutlu iri numunenin donma-çözünme dayanıklılık değeri ortalama %6.78, biraz daha ince olan 4-11.2 mm boyutlu numunenin değeri ise %13.69 bulunmuştur. Genel olarak yapılan deneyde, ince boyutlu olan numunelerde donma-çözünme dayanıklılık değeri iri agregalara göre, yüzey alanı arttığı ve gözeneklerin daha çok meydana çıkarak temas yüzdesi arttırdığı için daha fazla olduğu görölmektedir. Her iki boyutlu numunede M_{18} kategorisinde yer alır. Bu değerler standartlarda üst limiti olarak öngörölen %35 dona dayanıklılık değeri altındadır ve beton yapımı için uygundur.

Çizelge 10. Beyyazı agregalarının dona dayanıklılık değeri

Agrega Boyutu (mm)	İlk Ağırlık (gr)	Elekte Kalan (gr)	Kütle Kaybı Oranı (%)	Ortalama Değer (%)
4-11.2	437	372	14.87	13.69
	422	364	13.7	
	416	364	12.5	
11.2-22.4	415	382	7.95	6.78
	413	389	5.81	
	409	382	6.62	

3.3.10 Organik madde tayini deneyi

Agregada organik madde tayini deneyi TS EN 1744-1 standardı kullanılarak yapılmıştır. Agregada içinde çürümüş bitki kökleri, meyveleri veya yaprakları çeşitli asit ve tırevlerini oluşturur. Agregada içindeki organik kökenli maddenin çok olması durumunda katılaşması gecikir veya gerçekleşmeyebilir. Buda betonun ilk günlerdeki dayanımını olumsuz yönde etkiler.

Organik madde tayini için agrega bir cam şişe içinde sodyum hidroksit (NaOH) ile birlikte çalkalanır. Çökelen agrega üzerindeki sıvıda oluşan renklenme agrega madde miktarı hakkında bilgi verir. Bitkisel maddelerin varlığı gözle anlaşılmaz, bu nedenle bir miktar agrega üzerine 200 cm³ hacme yükselinceye kadar %3'lük NaOH eriyiğı doldurularak 24 saat bekletilir. Bu beklemenin sonunda eriyiğın renginin berrak ve açık sarı olması halinde, mevcut maddelerin zararsız miktarda olduğu kabul edilir (Özışık, 2000).

Mermer numunesinin üzerinde oluşan eriyik rensizden açık sarıya doğru değışim göstermiştir. Bu da renk skalasına göre 1-2 referans değerler arasında olduğunu göstermektedir. Mermer numunesi organik madde bakımından beton yapımında uygundur denilebilir.

3.3.11 Suda çözünebilir klorür tayini

Klorürler, agrega kaynağına bağılı olarak, agregalarda sodyum ve potasyum tuzları halinde bulunabilirler. Bu tür tuzlar, betonun toplam klorür ve alkali muhtevasını artırır. Betonun ihtiva ettiği metalin korozyon riskini en aza indirmek amacıyla, betondaki bileşen malzemelerin tümünün dikkate alındığı toplam klorür miktarının sınırlandırılması genel bir uygulamadır. Suda çözünebilir klorür miktarı deneyi TS EN 1744-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda numuneler içerisinde klorür miktarları sınır değerin (%0,01) altında, eser miktarda (%0,0047) bulunmuştur.

3.3.12 Asitte çözünebilir sülfat tayini

Agregalarda bulunan sülfatlar betonda ivmeye bağılı hasara sebep olabilirler. Belirli şartlar altında agregalarda mevcut olan diğerkükürt bileşikleri, sülfatları oluşturmak üzere beton içinde indirgenebilirler. Asitte çözünebilir sülfatlar TS EN 1744-1 standardında madde 12' ye göre tayin edilmiştir.

Asitte çözülebilir sülfat muhtevası kütlerce yüzde %0.04 olup $AS_{0.2}$

kategorisinde yer almaktadır. Asitte çözülebilen sülfat miktarı kütlece %0.8 değerini aşmamalıdır. TS 706 EN 12620 standardına göre yapılan değerlendirmede agregalar asitte çözülebilen sülfat miktarı bakımından kullanıma uygundur.

3.3.13 Toplam kükürt miktarının tayini

Toplam kükürt TS EN 1744-1 madde 11'e uygun olarak tayin edilmiş olup, %0.035 bulunmuştur. Bu değer, TS 706 EN 12620'da verilen %2'lik sınır değerinin altında olup, kükürt miktarı bakımından kullanıma uygundur.

3.3.14 Alkali silika reaktivitesi (ASR)

Alkali silis reaktivitesi (ASR), beton agregalarında bulunan reaktif silis ile betonun boşluk çözeltisinde bulunan hidroksil ve alkali iyonlarının reaksiyonudur. Bu reaksiyon, betonda nem etkisiyle genişleyen alkali-silis jelinin oluşmasına neden olur. Betonda genişleme sonucu meydana gelen çekme gerilmeleri çatlamaya yol açar (Kambiz, 2013). Betondaki alkali miktarı arttıkça ASR potansiyeli de artar. ASR'nin artması sülfat etkileri, tabii don, donma ve çözülmenin etkilerinin hızlanarak artmasına neden olur (Arslan, 2001).

Alkali-agrega reaktivitesinin belirlenmesi amacıyla birçok standart geliştirilmiştir. Mevcut yöntemler arasında en çok kullanılanı harç çubuklarının denendiği yöntemdir. ASR deneyi ASTM C 1260-94 standardına göre yapılmıştır ve standartta verilen sınırlamalara göre değerlendirilmiştir.

•Güvenli bölge: Genleşme değeri %0.1'in altındaysa ASR problemi yoktur.

•Şüpheli bölge: Genleşme değeri %0.1 ile %0.2 arasındaysa ASR riski muhtemeldir.

•Tehlikeli bölge: Genleşme değeri %0.2 değerinin üzerinde ise ASR açısından tehlikelidir.

Deneyle, mermer agregalarının çimento hamuruyla oluşturabileceği reaksiyon sonucu, genişlemesine bağlı olarak boy uzamaları belirlenmiştir. Deneyler, üç numune üzerinde tekrarlanmıştır. Mermer agregalarında, harç çubuğu deney yöntemine göre 21 günlük genişleme oranı ortalaması %0.03 olarak bulunmuştur. Genleşme oranı

değeri %0.1 değerinin altında olduğu için alkali silika değeri bakımından güvenli bölgede bulunmaktadır.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, malzeme karakterizasyonu için numunelere mineralojik ve petrografik analizler (polarizan mikroskop, XRD ve SEM-EDX), ve kimyasal analizler uygulanmıştır. Agregada numuneleri, 0-4, 4-11.2 ve 11.2-22.4 mm boyutlarına sınıflandırılmış ve bunlara standartlara uygun test ve deneyler yapılarak agregada olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

Beyyazı agregada numunesinin petrografik ve mineralojik inceleme sonuçlarına göre, kalsit ve dolomit minerallerinden meydana geldiği belirlenmiş olup kayaca dolomitik mermer tanımlaması yapılmıştır. Bu sonuç XRD ve kimyasal analiz verileriyle de desteklenmiştir.

Elek analizleri TS 3530 EN 933-1 standardına uygun olarak yapılmış ve granülometri eğrileri çizilmiştir. Beyyazı agregalarına yapılan elek analizi sonucunda çıkan granülometri eğrileri, TS EN 706 standardı granülometri eğrisi sınırları içerisinde kalmaktadır. Beyyazı agregasının ortalama incelik modülü %4.21 bulunmuştur. Çok ince malzeme muhtevası değerleri, iri agregalarda (11.2-22.4 ve 4-11.2 mm) ortalama olarak %0.75 ve %0.71 bulunmuştur. 0-4 mm numunenin ise ortalama olarak çok ince malzeme muhtevası %12.1'dir. Sonuçlar; iri agregalarda %4'den, ince agregalarda ise %22'den az olduğu için TS 706 EN 12620'ye uygundur.

Beyyazı agregaları genel olarak beton için gerekli yığın yoğunluğu sınır değerleri içerisinde yer almaktadır. İri agregalar (11.2-22.4 ve 4-11.2 mm) ortalama 1563 ve 1601 kg/m³ değerlerine sahiptir, 0-4 mm boyutlu ince agregada ise 1878 kg/m³ değerine sahiptir.

Özgül ağırlıklar, iri agregalar (4-11.2 ve 11.2-22.4 mm) için 2.72 ve 2.79 kg/m³, ince agregada (0-4 mm) için ise 2.69 kg/m³'dür. TS EN 206-1 standardının öngördüğü limit özgül ağırlık değerleri 2.50-2.70 kg/m³ arasında olduğundan, iri ve ince agregalar önerilen sınır değerleri içinde yer almaktadır.

Su emme oranı 22.4–11.2 mm ve 11.2–4 mm boyutunda yer alan iri agregalar için sırasıyla %0.86 ve %1.56, 4–0 mm boyut aralığında yer alan ince agregalar için %2.17 dir.

Yassılık indeksi, tane büyüklüğü 4 mm ile 80 mm olan agregalar için önemlidir. Mermer agregalarının yassılık değeri %14.6 olarak bulunmuştur. Bu yassılık indeksi değeri ile TS 706 EN 12620 standardına göre FI₁₅ kategorisinde yer almaktadır.

Los Angeles (Aşınma) deneyinde, aşınma oranı 11.2–22.4 mm boyutu için %22.9, 4–11.2 mm boyutu için %23.8 olarak bulunmuştur. Buna göre; Los Angeles katsayısı, LA₂₅ kategorisine uymaktadır.

Beyyazi agregalarında 11.2–22.4 mm boyutlu iri numunenin donma-çözünme dayanıklılık değeri ortalama %6.78, biraz daha ince olan 4–11.2 mm boyutlu numunenin değeri ise %13.69 bulunmuştur. Donma ve çözülmeye karşı direnç her iki boyutlu numunede M₁₈ kategorisinde yer almaktadır.

Alkali silis reaksiyonu (ASR) mermer agregaları için %0.03 olarak bulunmuştur. %0.1 değerinin altında olduğu için alkali silika değeri bakımından güvenli bölgede bulunmaktadır. Betonda gelişebilecek diğer bir reaksiyon da Alkali-Karbonat reaksiyonudur. Alkali-karbonat reaksiyonu yapan kayalar killi ve son derece ince taneli dolomitlerdir. Ayrıca dolomit oranının %50 üzerinde olduğu dolomitik kayalardır. Beyyazi agregalarının kimyasal analizlerde CaO %35.16 iken MgO %17.72 oranlarında olup tehlikeli sınırlar dışındadır.

Bunların dışında yapılan metilen mavisi, organik madde tayini, suda çözünebilir klorür tayini, asitte çözünebilir sülfat tayini, toplam kükürt miktarının tayini gibi deney sonuçları da mermer numunesinin agrega olarak kullanılabilmesini göstermiştir.

Standarta uygun olarak kırma taş ocağından alınan numuneler, boyut küçültme, numune azaltma ve boyuta göre sınıflandırma işlemine tabi tutulduktan sonra iri (11.2–22.4 mm ve 11.2–4 mm) ve ince (0–4 mm) agrega olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan numunelere uygulanan petrografik ve mineralojik, kimyasal, fiziksel

testler ve/veya analizler sonucunda; Beyyazi yöresi karbonatik kayaların “TS 706 EN 12620 Beton Agregaları” standardında aranan özelliklere uygun olduğu ve kırmataşların, hazır betonda beton agregası olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akman, S, 1977. Yapı malzemeleri, *İ,T,Ü Cilt 35, Sayı 3*, İstanbul.
- Arslan, M, 2001. *Beton (Dökümü, kalıpları, kusurları, dayanıklılığı)*. Atlas Yayınları, İstanbul.
- ASTM, 1997. ASTM C 1260-94: Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates, *Annual Book of ASTM Standards; Section Concrete and Mineral Aggregates*, Philadelphia.
- Erdoğan, Y.T, 1995. *Betonu oluşturan malzemeler Agregalar*, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul.
- Erdoğan, T, Y, 2003. *Beton*, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.
- Kambiz, R, 2013. Betonda alkali-silis reaksiyonu bir derleme (Çağrılı Bildiri) *Beton 2013 Hazır Beton Kongresi*, 21-23 Şubat İstanbul, ss 289-311.
- Kocataşkın, F, 1991. Betonun dünü bugünü yarını, *2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton*, Kardeşler Matbaası, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası s,23–42.
- Özışık, G, 2000. *Beton*. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Şimşek, O, 2007. *Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri*, Gazi Üniversitesi Yayınları, Ankara.
- Şengül, Ö, Taşdemir, C, Koruç, Ş, Yüceer, Z, 2003. Agregat türünün farklı beton sınıflarının aşınma dayanımına etkisi, *5. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası*, s,525–534 , İstanbul.
- TS 706 EN 12620, Türk Standartları, 2003. *Beton agregaları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,
- TS 707, Türk Standartları, 1980. *Beton agregalarında numune alma ve deney numunesi hazırlama yöntemi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206-1, 2002, *Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 932-2, Türk Standartları, 1999. *Agregaların genel özellikleri için deneyler bölüm 2: laboratuvar numunelerin azaltılması metodu*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-9, Türk Standartları, 2001. *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler- Bölüm 9: İnce tanelerin tayini- Metilen mavisi deneyi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-2, Türk Standartları, 2000. *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm*

- 2: parçalanma direncinin tayini için metotlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-3, Türk Standartları, 1999. *Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-5, Türk Standartları, 2001. *Hava dolaşımı etivde kurutma ile su muhtevasının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, Türk Standartları, 2002. *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6:tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1367-2, Türk Standartları, 2011. *Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler bölüm 2: magnezyum sülfat deneyi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1744-1, Türk Standartları, 2010. *Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler- bölüm 1: kimyasal analiz*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3530 EN 933-1, Türk Standartları, 1999. *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: tane büyüklüğü dağılımı tayini-eleme metodu*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 5694 EN 12670, Türk Standartları, 2004. *Doğal taşlar - Terimler ve tarifler*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 9582 EN 933-3, Türk Standartları, 1999. *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 3: Tane şekli tayini yassılık endeksi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 10088 EN 932-3, Türk Standartları, 1997. *Agregaların genel özellikleri için deneyler kısım 3: basitleştirilmiş petrografik tanımlama için işlem ve terminaloji*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Yıldırım, M, Yılmaz, I, 2002. Yıldız ırmağı çökellerinin beton agregası olarak Kullanılabilirliklerinin incelenmesi, *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri C,19, S,2,s, 181 -192*, Sivas.
- Yılmaz, A,O, ve Arıoğlu, E, 2006. Taşocağında üretim maliyetlerinin matematiksel modelinin oluşturulması ve örnek uygulama, *IV, Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, Ed: A,E, Yüce, C, Kuzu, A, Güney ve M, Erdoğan, İstanbul, 265-276.
- Zimbelmann, R, 1989. A contribution to the problem of cement – aggregate bond, *Cement and Concrete Research*, 15:801-808.