

Beton Deniz Yapılarında Bazalt Agregası Kullanımı

Nazan AKMAN PEK*

ÖZ

Çok yüksek dayanımlı, vibratörsüz yerleşebilen, CEM-I çimento ve yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve karboksilik akışkanlaştırıcı içeren deniz yapısı betonunun iri agregası olarak kireçtaşı yerine bazalt kullanımı deneylerle incelendi. Örnek bazaltın alkali reaktivitesi olmadığı, istenen yüksek niteliklere kireçtaşı düzeyinde sahip bulunduğu kanıtlandı. Farklı türde ve kusurlu bazaltların bulunduğu dikkate alınarak, başarılı sonucun yeterli ön incelemeler yapılmaksızın tüm bazaltlar için genelleştirilemeyeceği ve uygulanamayacağı vurgulandı.

Anahtar Kelimeler: Bazalt, kireçtaşı, iri agregası, yüksek dayanım, işlenebilme, petrografi, alkali-silika.

ABSTRACT

Use of Basalt Aggregate in Concrete Marine Structures

Very high strength marine concrete, that can be placed without the use of vibrators, made up of CEM-I cement, blast furnace slag, silica fume and containing carboxylic admixture and including basalt coarse aggregate instead of limestone was experimentally investigated. The experiments carried out with the basalt specimen showed that the basalt used did not have alkali reactivity and also had high qualities as the limestone. Considering that there are different types of basalt in nature which can be defective, it must be emphasized that the successful results obtained in this study cannot be generalized without adequate preliminary investigations and applied to all basalts.

Keywords: Basalt, limestone, coarse aggregate, high strength, workability, petrography, alkali-silica.

1. GİRİŞ

Beton üreticilerinin ekonomik sorunu hammadde agreganın sağlanmasıdır. Betonun yaklaşık %70'i agregadır. Agreganın yapıda hasara yol açmaması, harç fazıyla uyumu şarttır. Genellikle kalker, dolomit gibi kireçtaşları agregası olarak tercih edilir. Bunların ocakları uzaksa yakın olan kayalardan yararlanmak gerektirir. Çok yüksek dayanımlı ve sert

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 23.12.2013 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2014 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* İstanbul Teknik Üni., Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, İstanbul - akman@itu.edu.tr

olan, yeryüzünde bol bulunan, eski yapılarda yıllarca başarılı olarak kullanılan bazalt agregası olarak uygun görüldü ve tercih edildi [1]. 20. yüzyıl ortalarında bazalt agregalı betonlar üzerinde ilginç deneyler yürütüldü, bunların başka kayalardan üstün olan nitelikleri saptandı. Bazaltın termik genişleme katsayısı, ısı iletimi (conductivity), ısı iletim hızı (diffusivity) düşüktür. Sıcaklık artışı, soğuma sırasında çatlak oluşturmuyorlardı [2, 3, 4]. Basınç deneylerinde basınç gerilmelerinin artışı sırasında, bu gerilmelere paralel yönde oluşan ilk çatlak bazalt agregalı betonlarda daha yüksek gerilmelerde ortaya çıkıyordu. Kısaca süreksizlik sınırı (discontinuity level), elastisite sınırı yüksek değerlidir ve böylece mikro çatlama gecikir. Bazaltın pürüzlü yüzeyi bunu sağlıyordu ve betonun çekme dayanımı da artıyordu [5,6]. Sünme deformasyonu da diğer taş agregalı betonlara oranla daha azdı [7,8]. Ancak bu olumlu saptamalar, 20. yüzyıl sonunda, bir kısım bazaltta varlığı bulunan reaktif silika ögesi ile yıkıldı. Bazı bazaltların camlaşmış bölgesinde oluşan reaktif silika alkaliyle birleşerek genişliyor, betonu harap ediyordu. Reaksiyon (ASR) çimentodaki sodyum, potasyum alkaliilerine bağlıdır. Deniz sularındaki çözünmüş NaCl, KCl nedeniyle de ASR olabilecektir. Araştırmalarda bu konu dikkatle ele alındı[9,10,11].

2. TEMA - DENEYLER DİZİNİ

Öncelikle çağdaş koşullara ve birleşime sahip, denizde kullanılmaya yeterli beton üretilmeye çalışıldı. Sadece iri agregaları farklı iki tür beton düşünüldü. Birinde İstanbul Cebeci devon kalker, diğerinde Tekirdağ-Çorlu bazalt iri agregası olacak. Maksimum dane çapı 16 mm idi. Bağlayıcı CEM I 42.5R, granüle yüksek fırın cürufu, silis dumanı, karboksilik hiperakışkanlaştırıcı içerecek ve betonlar çok yüksek dayanımlı (90MPa), vibratörsüz kendiliğinden yerleşecek düzeyde (self-compacting) işlenebilir, geçirimsiz nitelikli olarak tasarlandı. İki betonun dayanımları, işlenebilmeleri ölçülecek, diğer önemli nitelikleri ayrıca saptanacaktı. Böylece bazalt ve kalker agregaların davranışlardaki farklılıklar saptanacaktı. Araştırmanın ana teması budur.

Araştırmanın deneyleri doğal olarak uzun ve ayrıntılı bir süreçte gelişti. Deneylerde ilk çalışma, deniz yapı betonlarında iri agregası olarak kullanılacak kireçtaşı (kalker) ve bazaltın taş olarak incelenmesi oldu. Agregaları daha önce temin edilmiş bu taşların ocaklarından büyük boyutlu numuneleri getirildi ve 7cm kenar boyutlu küp numuneler kesilerek hazırlandı. Bunların basınç dayanımları ölçüldü. Basınç deneyinden önce de etüvde kurutuldu, suya batırıldı ve sonra suda saklanarak klasik deneylerle yüzey kuru suya doygun (YKSD) birim ağırlıkları, dışa açık poroziteleri, su emme değerleri saptandı. Sonuçlar Bölüm 3'te verilerek, irdelendi.

Eldeki agregası örneklerinin özgül ağırlıklarını bulmaya ve granülometrik yapılarını incelemeye başlandı. Uzun süredir laboratuvar atmosferinde kuruyan agregaların yüzeyleri kuru idi, iç bünyelerinin suya doygun olmaları mümkündü. Agregası danelerinin yüzey kuru suya doygun nitelikli oldukları varsayılarak özgül ağırlık değerleri ölçüldü ve kabul edildi, beton karışım hesapları için de yeterli görüldüler. Çimento ve yüksek fırın cürufu (YFC), silis dumanı (SD), hiperakışkanlaştırıcı (HA) gibi maddelerin özgül ağırlıkları ise üretici firmaların prospektüslerinden veya raporlarından alınarak, deney yapmadan kabul edildi.

Kalker ve bazalt agregalarının iri agregası bölümünde incelenmesi düşünüldü. İnce agregası olarak satılan kalker ve bazaltların büyük ölçüde taş unu olması yadırgandı. İşlenebilme ve su gereksinimi açısından bu karar alındı. Ancak çok ince, maksimum dane çapı 1 mm olan

doğal kumun ayrıca kullanılması uygun görüldü. Bu kum küresel yapıda, yüzeyinde pürüzü olmayan kuvartzit bir hammadde idi. İri agregaların granülometri çalışmasında agregalarla karıştırılarak etüt edilmedi. Sorun beton üretimi aşamasında incelendi; kum işlenebilmeye yararı olan çok ince ama toz olmayan bir katkı sayılabilirdi. Fakat beton karışımı tayinindeki hesaplarda toplam agreganın bir bölümü olarak ele alındı, çünkü çok yüksek miktarda katılması gerekti, ek bir katkı niteliğinden uzaktı, fakat işlenebilme sorunu bu yaklaşımı gerektirdi.

Granülometri deneylerinde kalker ve bazalt agregalar iri ve orta olarak adlandırılan iki gruptu. Elek analizleri yapıldı. İri grup %70, orta grup %30 alınarak, toplam iri agregaların (kalker ve bazalt) grafikleri çizildi. Bölüm 3’de bu sonuçlar grafiklerle gösterildi.

Ön deney çalışmalarının üçüncü konusu çimentoların standart basınç dayanımlarının tayinidir. Standart çimento basınç dayanımı saptanmasında standart deneyler yapıldı. TS EN 196-1 (2002). Daha sonra Graf mukavemet formülünün oluşturulması için ardışık ikinci bir süreç başlatıldı. Graf formülü betonun basınç dayanımına yalnız su/çimento oranının değil, aynı zamanda çimentonun özgün standart dayanımının (f_{cc}) etkisini de hesaba katar. Ayrıca çok yüksek basınç dayanımı için gerekli su miktarının tayininde yararlı olur. [12, 13, 14]. Graf formülü aşağıdadır:

$$f_c = \frac{f_{cc} \left(\frac{C}{W} \right)^2}{K_G} \quad (1)$$

f_c betonun dayanımı, K_G ise Graf katsayısıdır. Formülün uygulanabilmesi için K_G ’nin değerinin saptanmasında standart dayanımı (f_{cc}) saptanmış çimentoyla bir beton üretmek ve onun basınç dayanımını (f_c) bulmak lazımdır. Bu betonda kullanılacak çimento (C) ve su (W) miktarları ise tabii bellidir ve Graf katsayısı (K_G) aşağıdaki bağlantıdan elde edilir.

$$K_G = \frac{f_{cc} \left(\frac{C}{W} \right)^2}{f_c} \quad (2)$$

Bölüm 3’de f_{cc} , f_c ve K_G değerleri CEM-I 42.5R ve CEM-III A 42.5N çimentoları için verildi.

Deneyler dizininin son aşaması yoğun ve ayrıntılı deneylerden oluşur: Kalker ve bazalt iri agregalı, mineral, kimyasal katkılar içeren deniz betonunun üretimleri, denetimleri, bu betonların bağlayıcılarının ve birleşimlerinin tasarlanması, denetlenmesi, basınç dağılımları ve işlenebilmelerinin ölçümleri, ayrıca içyapılarının petrografik inceleme çalışmaları, ASR durumlarının (Klor iyonlarının geçiririliği) deneysel çalışmaları. Son aşamanın bu deneyleri ayrı bölümlerde ele alındılar.

3. ÖN DENEYLERİN SAYISAL SONUÇLARI

3.1. Taşlar Üzerinde Yapılan Deneyler

Basınç dayanımı, porozite, su emme deneyleri yapılan 7cm boyutlu küplerin taşları İstanbul Cebeci (Devonyen kalker), Tekirdağ-Çorlu (bazalt) ocaklarından getirildi. Deney sonuçları Tablo 1’de özetlendi; sonuçlar sadece ortalama değerlerdir.

Tablo 1. Basınç dayanımı, porozite, su emme deney sonuçları

Taş Adı	Basınç Dayanımı (MPa)	Ağırlık (kg/m ³)	Ağırlıkça Su Emme (%)	Porozite (%)
Kalker	78.5	27.11	0.07	0.20
Bazalt	153.9	29.30	0.14	0.40

Bu sonuçların en ilginç ve güvenilir kalkerin basınç dayanımının %50' sine eşit olmasıdır. Buna karşılık su emme ve porozitede ise tam aksi yönde sonuçlar var. Aslında su emme, porozite ölçümleri yeterince güvenilir değildir ve aşırı da değildirler. Porozitenin hesap tarzı bu porozitenin sadece dışa açık görünen (izafi) porozite olduğunu ifade eder, kapalı ve toplam iç porozite ölçülemediği.

3.2. Laboratuvarda Ölçülen Özgül Ağırlık Değerleri

Kalker agregası: 2.76 kg/dm³

Doğal kum: 2.66 kg/dm³

Bazalt agregası: 2.90 kg/dm³

Üretici raporları veya prospektüslerden alınan özgül ağırlık değerleri:

CEM-I 42.5R 3.14 kg/dm³

CEM-III/A 42.5N 2.99 kg/dm³

YFC (Yüksek Fırın Cürufu) 2.90 kg/dm³

SD (Silis Dumanı) 2.10-2.50 → 2.30 kg/dm³

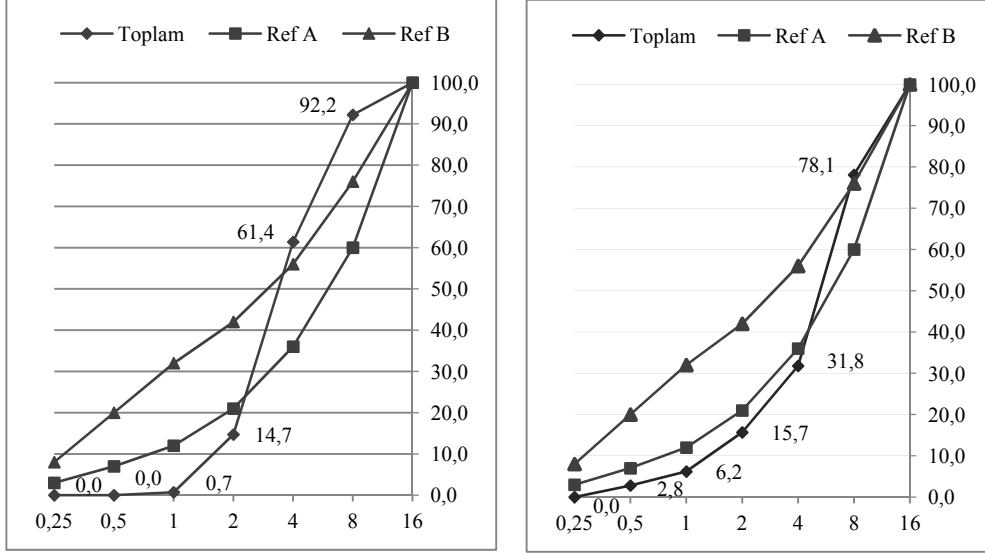
HA (Hiperakışkanlaştırıcı) 1.082 kg/dm³

3.3. Agregası Granülometri Deneyleri Sonuçları

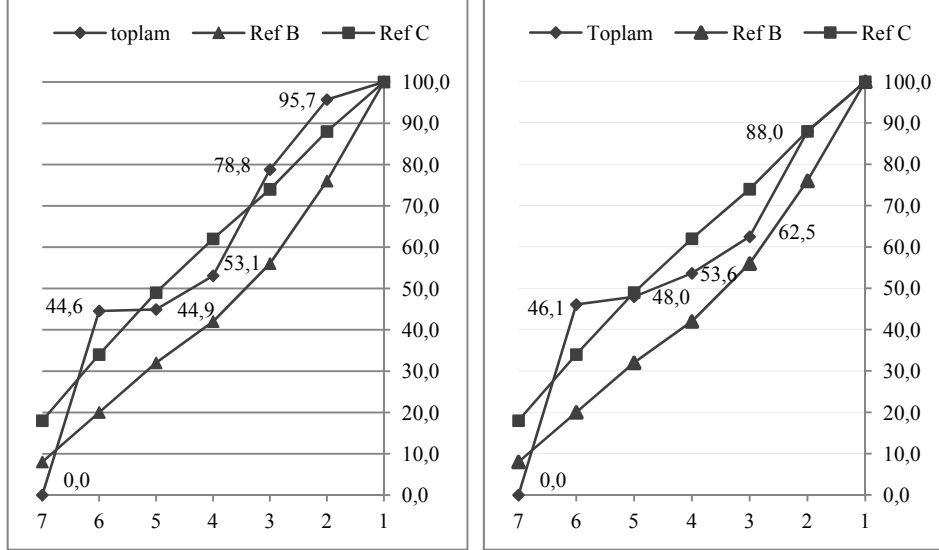
Kalker ve bazalt iri agregalarının granülometrik etüdü doğal kum dışında yapıldı. 2 farklı incelikteki kırma taş kalker ve bazalt gruplarına ait örneklerin %70 ve %30 oranlarında birleştirilmesiyle iri agregaların toplam granülometreleri elde edildi. Bakınız Şekil 1.

Kalker ve bazaltın granülometreleri birbirlerinden çok az fark etmektedirler. Kalker daneleri 4 mm üzerinde A ve B eğrileri arasında yer alıyorlar, 4 mm altında ise A eğrisinin de altındalar, bu durumda betonun yerleştirilmesi güçtür. Bazalt daneleri ise 4mm-2mm arasında A-B bölgesindedirler, 4 mm üzerinde ise B-C bölgesine düşüyorlar, 2 mm altında kalkerde olduğu gibi yerleştirme zorluğu olabilecek çünkü A eğrisinin altındadırlar.

Doğal kum bütün eleklerden (16 mm~0.5 mm) %100 geçti, granülometri eğrisi tümüyle %100 ordinatı ile çakışır ve doğal olarak çizilmedi. Kumun katılımıyla ortaya çıkan granülometri ordinatları ve eğrileri Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu çalışmalarda kum toplam agreganın önce %20'si ve sonra %45'i oranında kullanıldı. İşlenebilirlik zorunluluğu %20 oranının %45'e çıkarılmasını gerektirdi. Şekil 2'de kumun katılımı %45 olarak alındı ve granülometri bu hal için çizildi.



Şekil 1. Bazalt (soldaki) ve Kalker Agregası Granülometrisi, Şekillerde $D_{max}=16$ mm için Standart A ve B referans eğrileri de belirtilmiştir.



Şekil 2. Doğal kum ilaveli Bazalt (soldaki) ve doğal kum ilaveli Kalker Agregası Granülometrisi, Şekillerde $D_{max}=16$ mm için Standart B ve C referans eğrileri de belirtilmiştir.

3.4. f_{cc} , f_c ve K_G Değerleri

CEM-I ve CEM-III A çimentolarının standart dayanımları (f_{cc}), TSE EN 196-1 standardına göre 450 g çimento, 225 g su ve 1350 g standart kum kullanılarak sağlandı. Bu çimentolarla üretilen betonların dayanımlarında deniz yapıları betonları için önerilen normlara uyulmaya çalışıldı [15, s.205]. Çimento dozajı 350 kg/m^3 , su/çimento (W/C) oranı maksimum 0.45; deneylerde ise su miktarı 140 litre alınarak ancak W/C=0.40 oranı ile üretime başlandı. Betonlar çökme (slump) yapmadı, vibrasyon bile yetersiz oldu. Su 170 litreye yükseltildi, karışıma %0.5 oranında normal akışkanlaştırıcı katıldı. Tablo 2’de gösterilen f_c ve K_G değerleri 170 litre su (W/C=0.486) içeren örneklerle aittir.

Tablo 2. CEM-I 42.5R ve CEM-III A 42.5N çimentoları ve bunlarla üretilen betonlarda f_{cc} , f_c ve K_G değerleri

CEM-I 42.5R grubu değerleri						
7 günlük sonuçlar				28 günlük sonuçlar		
f_{cc} (MPa)	f_c (MPa)	K_G	Δ (kg/m^3)	f_{cc} (MPa)	f_c (MPa)	K_G
34.5	33.8	4.327	2472	39.4	43.7	3.871
CEM-III A 42.5N grubu değerleri						
7 günlük sonuçlar				28 günlük sonuçlar		
f_{cc} (MPa)	f_c (MPa)	K_G	Δ (kg/m^3)	f_{cc} (MPa)	f_c (MPa)	K_G
30.0	41.6	3.056	2472	32.8	47	2.958

CEM-I ile 28. günde 43.7 MPa, CEM-III A ile 47.0 MPa basınç dayanımı elde edildi. Graf formülüne dayanarak CEM-III A çimentosu ile 90MPa’lık bir beton elde etmek için gerekli su miktarı ne olurdu?

$$W = \frac{C}{\sqrt{\frac{f_c \cdot K_G}{f_{cc}}}} = \frac{350}{\sqrt{\frac{90 \cdot 2.958}{32.8}}} = 123 \text{ l.} \quad (3)$$

Doğal olarak 170 lt ile ancak işlenebilen bu betonun 123 litre su ile üretimi çok zor olur. Aynı soru CEM-I için araştırılırsa gerekli su miktarı 118 litre oluyor.

4. YAPAY ÇİMENTO- BAĞLAYICI

Salt çimentolar ile deniz yapı betonlarının üretimi günümüzde terk edilmiştir. Gerçi kompozit çimentolar belirli amaçlara yönelik olarak katkılarla karıştırılıp satılıyorlar. Bunların birleşimleri, katkıların özgün nitelikleri ise tüketiciye ayrıntılı olarak aksettirilmiyor. Bu bakımlardan araştırmada birleşimin nitelikleri yıllardır iyi bilinen Portland CEM-I çimentosu ana çimento olarak seçildi ve çağdaş koşullarda deniz betonlarında önerilen mineral-kimyasal katkı maddeleriyle gerekli oranlarda

zenginleştirildi. Bir yapay çimento elde edildi. Aslında bu yapay çimentoya genel adıyla bağlayıcı deniliyor.

Bu bölümde bağlayıcının kompozisyonu sunuldu. Birinci katkı granüle yüksek fırın cürufudur (YFC). Standartlarımızda YFC'nin sadece puzolanik bir katkı gibi tanımı ve değerlendirilmesi yadırgatıcıdır. Günümüzde bu değerli endüstriyel ürün atık değildir ve Portland çimentosu yerine geçmiştir. Portland çimentosuna %80-90 oranında katılır, aslında katkı, artık Portland çimentosudur. Onun yerine kireç veya alkalin bir madde katılır ve aktivasyon sağlanır. Araştırmada bağlayıcının ana bileşeni olan Portland çimento CEM-I, dayanım nedeniyle 450 kg/m^3 dozajında düşünülürdü, daha sonra YFC'nin dayanım artırıcı etkisi olacağı sebebiyle biraz azaltıldı 440 kg/m^3 oldu, fakat deneylerde gerçek dozajı 435 kg/dm^3 değerinde oluştu. YFC çimentoya hacimsel oranla %40 katıldı. İlave katılan maddelerin ve çimentonun farklı özgül ağırlıkları nedeniyle katkı oranlarının hacimsel verilmesi daha doğrudur, ama ağırlık esasına göre katılım kolaylık ve anlayış bakımından yapıla gelmektedir. %40 hacimsel katkı, ağırlık cinsinden %36.7 oluyor.

Beton basınç dayanımının yüksek olması ve betonun deniz suyu erozyonundan korunması için silis dumanı (SD), çimentonun %8'i mertebesinde önerilir, araştırmada bu oran %7 ile sınırlandırıldı. Betonun üretimi sırasında %2 oranında hiperakışkanlaştırıcı (HA) karboksilik esashı madde sıvı halde kullanıldı. Katı elemanlardan oluşan bağlayıcıya bu sıvı katkı katılmadı. Böylece bağlayıcı 435 kg CEM-I çimento, 158 kg YFC ve 30 kg SD birleşimindedir.

Yapay çimentonun (bağlayıcının) standart basınç dayanımını (f_{bb}) bulmak gereklidir. Yöntem TS EN 196-1'e uygun yürütüldü. Hazırlanan 450g bağlayıcının birleşimi $314\text{gCEMI}+114\text{gYFC}+22\text{gSD}$ 'dir. $s_u = 450/2=225 \text{ g}$, kum (standart) 1350 gramdır. f_{bb} 'nin ortalama 7 gündeki değeri 31.0MPa, 28. gündeki ise 41.7MPa olarak bulunmuştur. 7 ve 28 günlük f_p 'ler 5. Bölüm'de anlatılan iri agregalı kalker ve bazalt betonların dayanımlarıdır. K_G 'ler o bölümde hesaplanıp sunulacaktır.

5. KALKER VE BAZALT AGREGALI BETONLARIN TASARIMI VE ÜRETİMİ

Deniz yapı betonlarında kullanılacak betonların birleşimlerinin saptanmasında önce teorik yaklaşımlar denendi. Betonun bağlayıcı fazının kompozisyonu tespit edilmiş ve bağlayıcı standart sapması (f_{bb}) üretim sonucu hesaplanmıştı. Betonlar konusunda ilk sorunlar su miktarına karar vermek ve agregalar tür birleşimlerini ve ağırlıklarını hesaplamaktır. İki farklı beton üretildi, farklılık sadece iri agregalar türlerinin farklılığından kaynaklanıyordu: bu agregalar kalker ve bazalt agregalarıdır. Birinci deneme iri agregası kırma kalker olan beton üzerinde yapıldı.

5.1. Kalker Agregalı Betonlar

Çimento (CEM-I, 42.5R) için 440 kg/m^3 dozajı uygun varsayıldı. YFC $0.36 \times 440 = 158.2 \text{ kg/m}^3$, SD $0.07 \times 440 = 30.8 \text{ kg/m}^3$, Aitcin ve Mehta'nın önerilerine göre [14, s.74], dayanımı 90 MPa olan ve çimento+YFC+SD ile üretilen betonlarda 140 l/m^3 su miktarı öneriliyordu, bu değer kabul edilecekti. 140 l/m^3 suyun çok az olduğu düşünülerek bu miktar 150 l/m^3 'e yükseltildi. Üretim sırasında %2 hiperakışkanlaştırıcı katılacağından,

Beton Deniz Yapılarında Bazalt Agregası Kullanımı

bu katkının su miktarını 5 l artırması da mümkündür. Su miktarı sorunu teorik olarak çözüldü varsayıldı. Agregaların salt kırma taş kalkerle çözülmesi olanaksızdı. Doğal kum kullanılması granülometrik yapının düzeltilmesi açısından zorunlu idi, kum ince malzeme bölümünde olumlu iken, iri bölgeyi de inceltiyordu, o bakımdan katılımı %20 ile sınırlandırıldı. Klasik beton birleşim hesaplarına göre su+bağlayıcıdaki katıların hacmi 1000dm³'ten çıkartılması ile agreganın kaplayacağı hacim bulundu:

$$1000 - \left(150 + \frac{440}{3.14} + \frac{158.2}{2.9} + \frac{30.8}{2.3}\right) = 641.941 \quad (4)$$

Genellikle tahmin edilen hava hacmi (10, 20,... dm³)+suyun hacmi+bağlayıcı fazdaki katı öğelerin toplam hacmi. Örneğin: $10 + 150 + \frac{440}{3.14} + \frac{158.2}{2.9} + \frac{30.8}{2.3} = 368.6 \text{ dm}^3$. Agregaların kaplayacağı hacim: $1000 - 368.6 = 631.4 \text{ dm}^3$. Ağırlık olarak agregaların toplam ağırlığı (x), kum için 0.20x ve kalker agregası için 0.80x'dir. Bu ağırlıkları özgül ağırlıklarına bölerek hacimleri: kum $\frac{0.20}{2.66}x$, kalker $\frac{0.80}{2.76}x$ 'dır ve toplamları 631.4 dm³ olacaktır. Aşağıdaki (5) denklemini ile toplam agregası ağırlığı saptandı.

$$\frac{0.80}{2.76}x + \frac{0.20}{2.66}x = 641.941 \therefore 1730 \text{ kg/m}^3 \quad (5)$$

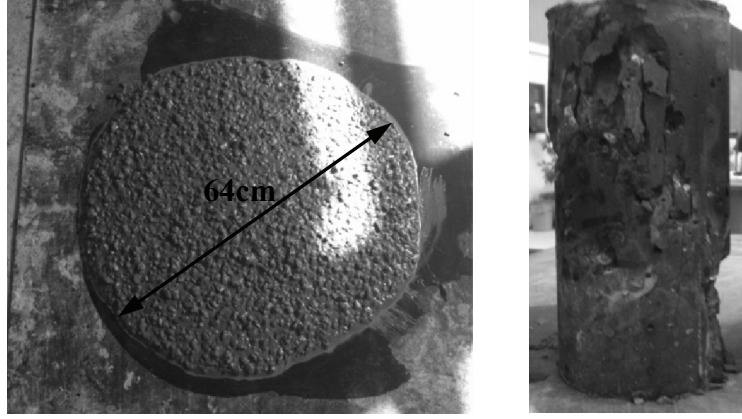
Bu toplam miktarı kum ve kalkerle bölerek, kum=1730x0.2= 346kg, kalker=1730x0.80=1416kg değerleri hesaplandı. Üretilecek betonun, 1m³'deki birleşimi: Çimento 440kg, YFC 158.2kg, SD 30.8kg, su 150kg, kum 346kg, kalker mıcır 1416kg'dır. Bu betondan 20 dm³ hacminde bir örnek hazırlandı ve üretildi.

İşlenebilme açısından sonuç çok kötü idi. İri agregası taneleri yığınlar halinde kütlede kopuyordu. Suyu artırmak, hiperakışkanlaştırıcı oranını artırmak yeterli bir çözüm değildi.

Agregaların toplam granülometrilerinin ince bölgeye kayması sakıncasına rağmen, kum oranını artırmak zorunlu idi. Kum oranı %20'den %45'e yükseltildi. Kırma taş kalker iri agregası oranı da %55 oldu. Çimento biraz azaltıldı ve YFC, SD miktarları da basitleştirildi. Yeni betonun 1m³ içindeki birleşimi aşağıdadır:

Çimento (CEM-I 42.5R) 435kg, YFC 158kg, SD 30kg, HA 8.7kg, su 150kg. Ayrıca tahmini hava hacmi 10 dm³. Bu verilere göre toplam agregaların dolduracakları hacmin 625.88dm³ ve toplam agregası ağırlığının 1698kg/m³ olabilecekleri hesaplandı. Kum miktarı (%45) 764kg/m³, kırma taş kalker mıcır miktarı (%55) 934kg/m³ oldu. 1 m³ betonun birleşimi böylece C=435kg, YFC=158kg, SD=30kg, HA=8.7kg (sıvı olarak çimentonun %2'si), W=150kg, kum=764kg, kalker mıcır=934kg oldu. Bu arada betonun birim ağırlıkları da teorik ve deneysel olarak saptandı: teorik birim ağırlık (Δ_t)=2480kg/m³, deneysel gerçek birim ağırlık (Δ_g)=2469kg/m³ oldu. Δ_t , Δ_g 'ye göre 11kg/m³ (%0.44) oranında yükseklik gösterdi.

Bu beton üretildi, işlenebilmesi ENFARC [16] standardına göre yayılma testi ile ölçüldü. T50 15.2 saniye ve yayılma 64cm elde edildi. Mükemmel bir işlenebilme vardı. Basınç dayanımı (f_b) değerleri de çok başarılıydı. 7 günde basınç dayanımı 82MPa, 28 günde 91MPa ortalama değerleri elde edildi. Bu karışıma ait yayılma testi ve basınç dayanım testine ait fotoğraflar aşağıda verilmiştir.



Şekil 3. Kalker iri agrega ile yapılan betonun yayılma ve basınç dayanım testine ait görüntüleri

Basınç dayanım değerleri öğrenilen ve standart basınç değerleri de önce saptanmış olan bu betonların Graf katsayıları hesaplanabildi. Standart basınç değerleri (f_{bb}), -bu değerler bazaltla üretilen betonlarda da aynıdır-, 7 gün için 31MPa, 28 gün için 41.7MPa olarak ölçülmüştür. Bu betonların K_G değerleri klasik Graf formülü yardımıyla hesaplandı.

$$f_b = \frac{f_{bb} \left(\frac{B}{W}\right)^2}{K_G} \rightarrow K_G = \frac{f_{bb} \left(\frac{B}{W}\right)^2}{f_b} \quad (6)$$

7 gün için $K_G = \frac{31 \times 16.16}{82} = 6.11$, 28 gün için $K_G = \frac{41.7 \times 16.16}{91} = 7.40$ olarak hesaplandı.

Graf formülünden yararlanılarak 7 günde 90MPa, 28 günde 105MPa basınç elde etmek üzere önerilen su (W) değerleri hesaplandı.

Graf formülünde f_b olarak 90MPa ve 105MPa alındı. $B=631.7\text{kg}$ 'dır. Genel formülden yararlanılarak elde edilen W değerleri aşağıdadır:

$$7 \text{ gün, } W = \frac{B}{\sqrt{\frac{f_b \times K_G}{f_{bb}}}} = \frac{631.7}{\sqrt{\frac{90 \times 6.11}{31}}} = 150 \text{ litre, ve } 28 \text{ gün } W = \frac{631.7}{\sqrt{\frac{105 \times 7.40}{41.7}}} = 146 \text{ litre} \quad (7)$$

Mehta-Aitcin'in önerileri [14] 7 gün 90MPa için 140 l, 28 gün 105MPa için 130 l'dir.

İşlenebilmedeki başarı kumu artırmakla sağlandı, ancak granülometrik yapı çok inceldi, iri bölümde granülometri B-C arasındaki bölgeye kaydı, 1mm'den küçük bölgede daha da incelerek C eğrisinin de üstüne çıktı. Şekil 2'de kırma taş kalker+ince kum toplam granülometrisi ve referans B, C, eğrileri çizildi. Kumun ince bölgedeki durumu ayrıca incelendi, eleme deneyi 63µm ve 90µm eleklerinde de yapıldı, özellikle 63µm üstünde kalan kalıntı böylece ölçüldü. 63µm ile 0.5mm arasında farklı bir taş unu filler fonksiyonu olması doğal kabul edildi.

5.2. İri Agregası Bazalt Olan Beton

İri agregaları bazalt olan betonların iri agregaları kireçtaşı (kalker) olan betonlarla karşılaştırılması için beton karışımlarının benzer olması gerekliydi. Bu nedenle karışımların ve özellikle bağlayıcılarının eşitliği korundu. Daha sonra taze beton ve sertleşmiş beton nitelikleri karşılaştırılarak tartışıldı. Agregası toplam ağırlıklarında ve beton birim ağırlıklarında görülen ufak artışlar bazaltın özgül ağırlığının 2.90kg/dm^3 , kalkerinkinin ise 2.76kg/dm^3 olmasından kaynaklandı.

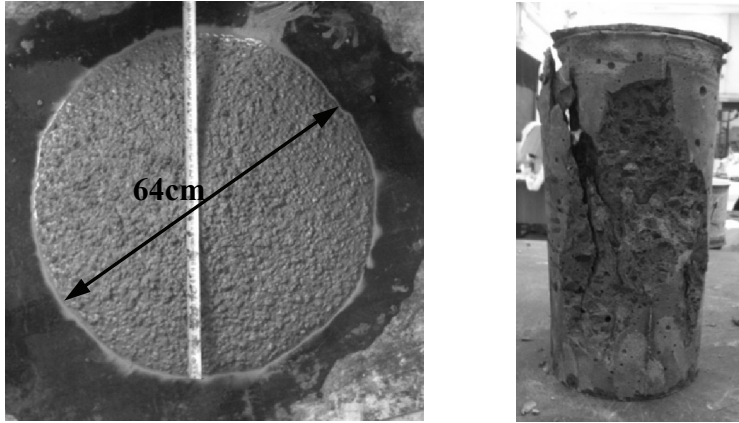
1m^3 betonun birleşimi çimento (CEM-I 42.5R) 435kg, YFC 158kg, SD 30kg, W 148kg, HA 8.7kg, kum 786kg, bazalt 963kg olarak saptandı. Karşılaştırma amacıyla bazalt betonu ve kırma taş kalker betonunun toplam agregası ağırlıkları ve Δ_t , Δ_g teorik ve gerçek birim ağırlıkları aşağıda tablo halinde gösterildi.

Tablo 3. Kalkerli ve bazaltlı betonların agregası ağırlıkları ve birim ağırlıkları

	Agregası toplam ağırlığı, (kg/m^3)	Δ_t , (kg/m^3)	Δ_g , (kg/m^3)
Bazaltlı Beton	1749 (963+786)*	2509	2485
Kalkerli Beton	1698 (934+764)	2480	2469

* parantez içinde önce bazalt veya kalker sonra doğal kum ağırlıkları yazıldı. Bazalt betonlarının 50kg daha ağır oldukları, birim ağırlıklarının da %0.65 (çok küçük) yükseldiği görülür. Bazalt betonlarında da %55 iri agregası, %45 doğal kum karışımları uygulandı.

Sertleşmiş beton özelliklerinde basınç dayanımları ve beton yayılma (işlenebilme testleri) karşılaştırıldı. Bu karışıma ait yayılma testi ve basınç dayanım testine ait fotoğraf aşağıda verilmiştir.



Şekil 4. Bazalt iri agregası ile yapılan betonun yayılma ve basınç dayanım testine ait görüntüleri

Tablo 4. Kalkerli ve bazaltlı betonların basınç dayanım ve T50 deneyleri sonuçları

	7. gün basınç dayanımı (MPa)	28. gün basınç dayanımı (MPa)	T50 –yayıma	
			saniye	cm
Bazaltlı Beton	84	98	18.3	63
Kalkerli Beton	82	91	15.2	64

Gerek basınç dayanımı, gerek işlenebilme açısından iki tür beton arasında tam bir uyum oldu. Hatta bazalt betonlarının dayanımları çok az miktarda kalker betonlarında yüksektir. İşlenebilme açısından bazalt betonları aksi yönde ama yine minimum düzeyde daha olumlu davranış gösterdiler.

Bazaltlı betonların Graf katsayıları 7 gün için 6.72, 28 gün için 7.75 olarak hesaplandı. Kalkerli betonların bu katsayıları 6.11 ve 7.40 idi. Bu değişiklikler katsayıların beton karışımı ve zamanla farklılaştığını gösterdi.

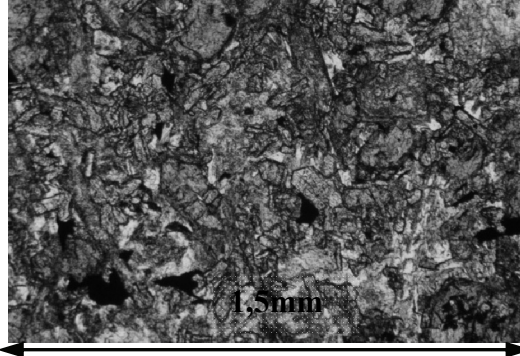
6. PETROGRAFİ- ASR GENLEŞME- GEÇİRİMLİLİK

6.1. Bazalt Agregası

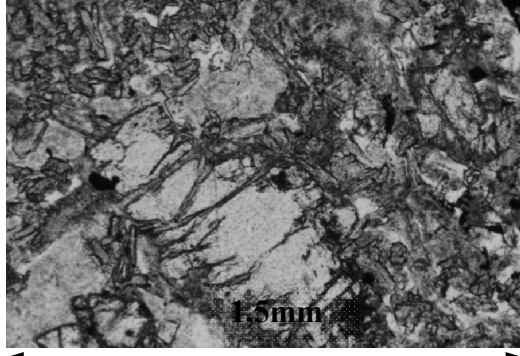
Bazalt agregası kullanımını kesinlikle ret ettiren husus bazaltın alkali silika reaksiyonuna (ASR) yol açan reaktif silis içermesi olasılığıdır [10]. Genç bazaltlarda bu olasılık düşüktür, yaşlılarda çoğunlukla vardır. Bunu araştırmanın ilk adımı taşın petrografisini yapmak ve camlaşmış (amorf) silika dönüşümünü saptamaktır. İkinci adım ve en güvenilir olan ve bir yıl süren harç deneyine başvurmaktır. Fiziksel ve mekanik deneylerde bazalt ve bazalt içeren betonlarda çok olumlu sonuçlar veren bazaltın ASR olasılığını araştırmak üzere petrografi yapılmasına karar verildi. İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Bölümünden yardım istendi. Jeoloji Bölümü Laboratuvarında petrografik polarizasyon optik mikroskopla çok titiz bir inceleme yapıldı. Tablo 5’de bazaltın modal mineralojik birleşimi, bazalt numunesine ait ince kesite ait iki fotoğraf da Şekil 5 ve 6’da verildi.

Tablo 5. Bazalt numunenin modal-mineralojik bileşimi.

Mineral / Bileşen	Modal Oran (%)
Hamurda (mikrolitik); Plajiyoklas (andezin/labrador)	40-42
Hamurda (mikrolitik); Piroksen (genelde ortorombik)	20-22
Hamurda (volkanik cam)	<3
Fenokristal olarak; Olivin	26-28
Fenokristal olarak; Piroksen	4-5
Opak mineral	4-5
Boşluk içinde ikincil silis, kalsedon	<1



Şekil 5. Kayaç numunesinin içinde ince-orta taneli mikrolitik bir zemin içerisinde iri fenokristaller bulunmakta, iri fenokristaller genelde olivin ve nadiren piroksen minerallerine ve de ayrıca opak mineral tanelerine aittir. Bu taneler genelde 0,5-1 mm arası boyutlu olup, bazı olivinlerde uzun boy için 1,5 mm'ye varan irilikler söz konusudur. Opak mineraller muhtemelen manyetit, titano-manyetit, ilmenit, kromit taneleridir. Camsı hamur oranı oldukça düşüktür.



Şekil 6. Zemini oluşturan mikrolitlerin büyük bölümü plajiolaz türü feldspatlardır ve yanısıra piroksenlerdir. Plajiolazlar andezin-labrador türüdürler ve genelde 0,5 mm altı uzun boylu, dar-uzun lameller halindedirler. Piroksenler ise genelde 0,1 mm civarı tanecikler halindedirler. Camsı hamur oranı oldukça düşüktür.

Sonuçta kayaca "Olivinli Bazalt" tanımı kondu. Olivin peridot sınıfından bir Fe, Mg, silikattır. Olivinin bazı daneleri kısmen, bazıları ise tamamen altere olmuştur; iç kesimleri serpantinleşmiş, kloritleşmiştir, çevreleri iddingsitleşmiştir. Plajiolaz ve piroksenlerde alterasyon yoktur.

Petrografik açıdan volkanik cam yok mertebesinde. Olivinlerin alterasyonu kayanın dayanımını bozabilir. Ancak ASR'ye yol açacak amorf oluşum çok düşüktür.

Kesit fotoğraflarında örnekler verilen bu petrografik inceleme bazaltın henüz ASR'ye yol açacak durumda olmadığını göstermektedir. Ancak olivinlerdeki alterasyonların varlığı gelecekte dürabilite sorunlarının gelişebileceğini düşündürmektedir.

6.2. ASR Sonucu Oluşan Genişlemenin Ölçümü

Bazalt agreganın ASR açısından zararlı olup olmadığı konusunda ASTM C1260 (mortar bar method) testi uyarınca kısa süreli genişleme testi yapıldı. Bu testte 2.5cm kesitli prizmatik harç numuneler hazırlanıyor. Belirli oranlarda öğütülmüş bazalt ve çimento karıştırılarak prizmalara dolduruluyor. 2 gün suda kaldıktan sonra, harç numuneler sudan çıkartılıyor ve mikron seviyesinde ölçülüp başlangıç okuması saptanıyor sonra normal NaOH eriğine konuyorlar. 3,7,10 ve 14. günde prizmaların boyları ölçülüyor, başlangıç boyundan olan farkları hesaplanıyor ve % olarak bu farklar değerlendiriliyor. NaOH eriyiğinin sıcaklığı 80°C'dir.

YFC'nin etkinliğini de görebilmek ümidiyle, salt çimento yerine laboratuarda üretilen yapay çimento ile öğütülmüş bazalt karıştırılarak bir deney serisi daha yapıldı [11]. Bunlara "katkılı numuneler" adı verildi.

Her iki serinin 3,7,10 ve 14. günlerde yaptıkları genişlemelerin yüzde değerleri 0.01'in altında kaldı. 14. gün sonunda bu değer biraz daha 0.01'e yaklaştı. Bu sonuçlar bazaltın ASR'e yol açmayacak durumda olduğunu kesin kanıtladı.

6.3. Klor İyonu Geçirimsizlik Testi

Geçirimsizlik konusunda, "Su Geçirimsizliği" deneyi yapılmaktan vazgeçildi. Su geçirimsizlik testi, boşluklu, su geçiren cisimlerin Darcy tarafından formüle edilen yasayla ölçülen ve hesaplanan geçirimsizlik katsayısını saptamak amacıyla yapılır. Beton, harç fazı varlığı nedeniyle jel ve kapiler boşlukları olan ve hidrolik basınç etkisiyle su geçiren bir cisimdir. Agregaların bu olayda fonksiyonu hemen hemen yoktur. Agregaların boşluklarının hidrasyon süreciyle artması, kapanması, jel veya kapiler boşlukların boyutlarının, yerlerinin, sayılarının değişmesi gibi çok karmaşık sorunları yoktur. Zaman, kuruma, ıslanma, bağlayıcıların inceliği, kalınlığı, kompozisyonları harç fazında hep etkin faktörlerdir. Bu bakımdan Darcy katsayıları da güvenilirliği olmayan, sabitlikleri tartışmalı değerlerdir. Araştırmanın ana konusunun iri agregaların bazalt veya kireçtaşı olması ile ilgili olduğu düşünülürse, harç fazının asıl etken olduğu bu geçirimsizlik probleminin incelenmesinin bu araştırmadaki anlamsızlığı görüldü ve bu nedenle bu deneyin yapılmasından vazgeçildi [20].

Su geçirimsizlik testi yerine betonarme, öngerilmeli beton gibi çelik donatılı yapı elemanlarının hasar sorunu korozyona koruyucu etkisi beklenen betonlarda klor iyon geçirimsizliği ele alındı.

Klor iyonu korozyon olayında büyük etkinlikler gösterir. Klor iyonu paslanmayı durduran ve ortama passivasyon sağlayan çelik üzerindeki pas ürününü çözer ve tekrar oluşmasını önler; doğal olarak anodik reaksiyon tekrar başlar. Klor ortamı asitleştirerek pH değerini düşürür, oyuklanma (pitting) paslanmalarına yol açar. Klor ayrıca paslanmaz çelik üzerinde de etkin olur, bazı demir klorürler üreterek anodik reaksiyonlara katkısı olur. Klor iyonu

Beton Deniz Yapılarında Bazalt Agregası Kullanımı

beton ortamını elektrolitleştirir ve betonun elektrik akımı geçirmesine neden olur. Bu akım korozyon için gereklidir.

Korozyonun daha şiddetli olması ortamda O_2 'nin varlığı ile ortaya çıkar. Bu durum yarı batık betonarme elemanlarda, deniz seviyesinin hemen altında ve hemen üstünde kalan bölgede paslanmaya ve donatının yok olmasına yol açar [15, s.179-182]. Korozyonda bu kadar zararlı olan klor iyonunun geçirimsizlik deneyinin önemi ortadadır, gerekliliği tartışılmaz.

Klor iyon geçirimsizliği deneyleri ASTM C1202 ve AASHTO T259 standartlarına uygun olarak yürütüldü [21]. 10cm çaplı silindirik beton numunelerinde 5cm yüksekliğinde kesilen numuneler suya doygun hale getirildikten sonra bir yüzlerinde NaCl, diğerinde NaOH solüsyonları ile temasa geçirildiler ve 60v doğru akım devresine yerleştirildiler. Akım NaCl'den NaOH'a doğru 6 saat uygulandı, akımda meydana gelen amperaj değişikliklerinden elektron geçişleri ölçüldü ve elektrik miktarları Coulomb (1 Coulomb = 6.24×10^{18} elektron) cinsinden hesaplandı. Bu deneylerde kalkerli betonlarda 82 Coulomb, bazaltlı betonlarda 228 Coulomb geçişler olduğu saptandı. Bu büyüklüklerin değerlendirilmeleri de standartta belirtilen ve ABD Highway Department Association tarafından öne sürülen sınırlarla açıklandı [22].

Tablo 6. ASTM C1202 Standardına göre klor iyonu geçirimsizlik deneyi değerlendirilmesi

Coulomb olarak geçen Klor değeri	Değerlendirme
>4000	Yüksek
4000-2000	Orta
2000-1000	Düşük
1000-100	Çok düşük
<100	İhmal edilebilir

Deneylerdeki değerlendirmeler bazaltlı betonda çok düşük, kalkerli betonda ihmal edilebilir (yok) sınırları içinde oldular. Bu sonuçlar elbette tatmin edicidir. Ancak 228 ve 82 Coulomb arasındaki fark açıklama gerektirdi.

İki grup arasında zaman farkı bulunmaktadır. Kalkerli betonlar 92 günlük, bazaltlı betonlar 42 günlüktü. Ayrıca kalkerli betonlar uzun süre suda kaldıkları gibi bir süre havada da kaldılar. Kalkerli betonlar bu süreler içinde daha çok hidrasyon yapabildiler ve YFC etkileri de arttı, sonuçta daha yoğun ve boşluksuz bir yapı kazandılar ve geçirimsizlik arttı. Önceleri uçucu kül ile yürütülen bir araştırmada klor iyon Coulomb değerlerindeki zamanla olan azalma görülmüştür. YFC'nin de benzer fonksiyonu olması doğaldır [22].

7. DEĞERLENDİRME ÖNERİLER

7.1. Özet Değerlendirmeler

Denizlerde kullanılacak betonlarda iri agregalar olarak bazalttan yararlanılması konusu ayrıntılı düzeyde incelendi. Çorlu bazaltı üzerindeki bu araştırmada olumlu sonuçlara varıldı. Tüm bazaltlar için genel pozitif bir karar beyanı doğru olamaz. Bu yüzden bölümün sonunda bazı öneriler sunuldu.

Kullanılan bazalt kayacın dayanımı kalkere oranla iki kat daha yüksek bulundu. Bazaltın su emmesi, boşluk oranları ise kalkere oranla biraz yüksekti fakat miktar olarak her ikisi de çok azdı.

Ancak agregalar parçaları üzerinde yürütülen petrografi çalışmasında %26-28 oranında fenokristal olarak saptanan olivin ögelerinde alterasyon (bozulma) gözlemlendi. Bu hususun dayanım özelliğini etkileyebileceği düşünüldü. Volkanik cam ve amorf silise rastlanmaması ASR tehlikesinin olmayacağını kısmen kanıtladı. Bu tehlikenin yokluğunu kesinleştirmek amacıyla ASTM C 1260 testi yapıldı, bazalt öğütülerek çimentoyla ve bağlayıcıyla karıştırıldı, NaOH solüsyonuna yatırıldı ve 16 gün genleşme ölçüldü. Genleşmeler %1'in altında kalarak olumlu pozitif sonuç elde edildi.

Bazalt agregalar ile üretilen ve deniz yapılarında kullanılacak betonun, kireçtaşı (kalker) agregaları ile üretilen betonla karşılaştırılması araştırmanın kapsamlı, yoğun çalışması oldu. Deniz yapı betonlarının çok yüksek dayanımlı, ileri işlenebilme yeteneği olan ve vibratörsüz yerleşebilen türde ve erozyona dayanıklı olması zorunludur. Bazalt ve kalker agregalı betonlar bu nitelikleri aynı düzeyde, çok başarılı şekilde gerçekleştirdiler. 7 günde 82-84MPa, 28 günde 91-98MPa basınç dayanımları ve işlenebilmede T50 15-18 saniye, 63-64cm yayılmaları oldu. Birleşimlerinde 435 kg/m³ CEM I 42.5R, %37 YFC, %7 SD ve %2 HA kullanıldı. Agregalar salt bazalt veya kalkerle yeterli işlenebilmeyi sağlayamadılar. Çok ince kum ilavesi gerekti. %45 kum, %55 iri agregalar ile sorun halloldu. Bu kumun yüksek katılımı önemli bir çözümdü, karar kolay alınmadı. Karar öneriler arasında tartışıldı.

7.2. Öneriler

Bazalt agregaları deniz yapı betonlarında kullanma kararı alacak yüklenicilerin, Hazır Beton Kuruluşlarının, mühendislerin detaylı bir ön inceleme yapmaları gerekir. Bazalt Gabbro kayalarının yüzeysel, atmosfere çıkmış magmatik, volkanik bir türüdür. Bu yüzeye çıkış çok eski (milyonlarca yıl) veya yeni (birkaç milyon yıl) olabilir. Eski ocaklardaki bazaltlarda atmosferin, iklimin oluşturduğu bozulmalar oldukça fazladır. Taş ocağı gezilerek durum gençlik, eskilik açısından denetlenmelidir. Bazaltın petrografisini yapmak şarttır, ayrıca ASR deneyleri de ele alınmalıdır. İnşa edilecek yapının batık mı, yarı batık mı olduğu, ortamın iklim koşulları, dalga, oksijen durumu vb. dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmadaki betonlar belki prefabrike olup, dışarıda hazırlanan, sertleştikten sonra batırılan veya önceden denizde yerleştirilmiş kalıplara doldurulan betonlar olabilir [14, 17]. Bunlar büyük ve derin temel hacimlerine ancak tremi metodu ile dökülebilirler. Günümüzde yıkanmayı önleyen (antiwashout) katkıları kullanılmak suretiyle doğrudan suya dökülen betonlar üretiliyor [18]. Araştırma betonlarına bu katkı eklenmedi; viskoziteyi artırmasından ve uygulamayı mutlaka denizde yapma zorunluluğundan çekinildi. Su içine

döküm sürecine başvurulacaksa, bu araştırmadaki betonlara katkı ilave edilerek denenir; belki yeni farklı karışımlar yapılması gerekecektir.

Araştırmadaki doğal kumun “silt mi” kuşkusunu 63 μ m’lik elekten geçememesi ile ince beton agregası sınıfına girmesini sağladı. Bu çok ince kum, çok zengin bir harç fazı yarattı ve filler etkisi de gördü. Bu gözlem bu betonlarda kırma kum yerine nispeten küresel daneli çok ince bir kum kullanılmasının zorunlu olduğunu vurguladı. İşlenebilme ve yüksek dayanım bakımından bu öneri dikkate alınmalı.

Deniz yapı betonlarında YFC katılımı zorunludur. Ancak betondaki büyük boşlukları süratle küçülten bu katkı havada açık kaldığında karbonatlaşma sonucu hızlı tıkkama yeteneğini yitirir ve dürabiliteye olumlu etkisi de yok olur [19]. Yarı batık elemanlarda bu durum ve çelik korozyonu da büyük önem taşırlar.

8. SONUÇ

Bazalt kayanın basınç dayanımının kalkerinkinden çok yüksek olduğu, su emme ve boşluklarının da düşük değerleri olduğu saptandı. İri agregaların granülometrilerinin referans bölgelerine tam girmemle beraber iyi sayılması gerektiği, ancak ince agreganın katılmasının zorunluluğu tespit edildi. Çok ince doğal kumun işlenebilme ve dayanım yönünden katılmasının gerekliliği ortaya çıkarıldı. Böylece beton karışım oranları çok yüksek ince agregalı doğal kum ilavesi ile elde edildi. Üretilen deniz betonları çok yüksek dayanımlı ve ileri düzeyde işlenebilmeleri olan betonlar oldu. 28. gündeki dayanımlar bazaltlı betonlarda 98MPa, kalkerli betonlarda 91MPa; işlenebilme ENFARC standartlarına göre 15~18 saniye ve 63~64cm yayılma gösterdi. Bazaltlar üzerinde petrografi incelemeleri ile alkali-silika reaksiyonu olamayacağı saptandı. Genleşme testleri de bu saptamayı doğruladı. Klor iyonu geçirimsizliğinde de bazaltlı betonda 228 Coulomb, kalkerli betonda 82 Coulomb değerleri ölçüldü. Sonuçlar 1000 ve hatta 100 Coulomb altında olduğundan klor iyon geçirimsizliğinin olamayacağı tespit edildi.

Yukarıda özetlenen tüm deneylerde ve incelemelerde pozitif ve başarılı sonuçlar veren bu bazalt agregalarının deniz yapıları betonlarında kullanılmalrı doğal olarak kabul edildi.

Ancak, bu olumlu sonucun tüm bazaltlar için genelleştirilerek kabulü anlamsız hatta hatalıdır. Çünkü bazaltlar çok farklı, kusurlu ve tehlikeli olabilirler [1,10]. 7. Bölümdeki önerilerin mutlaka dikkate alınması ve gerekli incelemelerin, deneylerin yapılması zorunludur.

Semboller

- B: Bağlayıcı
C: Çimento
 f_b : Bağlayıcı ile üretilen betonun basınç dayanımı
 f_{bb} : Bağlayıcının standart basınç dayanımı
 f_c : Çimento ile üretilen betonun basınç dayanımı

f_{cc} :	Çimentonun standart basınç dayanımı
K_G :	Graf katsayısı
W:	Karma suyu
Δ :	Birim ağırlık
Δ_g :	Gerçek birim ağırlık
Δ_t :	Teorik birim ağırlık
ASR:	Alkali-silis reaksiyonu

Teşekkür

Araştırmamın deneyleri İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi, Maden Fakültesi Jeoloji Bölümü Laboratuvarlarında yapıldı. Deneylerde çabaları olan bu laboratuvarların teknisyenlerine teşekkür borçluyum. Ayrıca, özellikle çalışmalarımı izleyen, denetleyen kıymetli öğretim üyeleri Doç. Dr. Hakan Nuri Atahan'ın, Prof. Dr. Yılmaz Akkaya'nın, Prof. Dr. Fahri Esenli'nin ve Prof. Dr. Aral Okay'ın katkılarını minnetle belirtir, kendilerine şükranlarımı ve saygılarımı sunarım.

Kaynaklar

- [1] Erguvanlı, K., Mühendislere Jeoloji, İTÜ Kütüphanesi Sayı 1126, 109-110, 1983.
- [2] Mitchell, L. J., Thermal Properties , ASTM Sp. Tech. Publ. No.169, 129-135, 1956.
- [3] Walker, S., Bloem, D.L., Mullen W.G., Effects of Temperature Changes on Concrete as Influenced by Aggregates, Journal of ACI 48, 661-679, 1952.
- [4] Zoldners, N.G., Effect of High Temperatures on Concrete Incorporating Different Aggregates, Mines Branch Research Report R64, Dept. Mines and Technical Surveys, 1960.
- [5] Akman, M.S., Influence de la Fraction Volumetrique et de la Qualité du Gravier sur l'Inelasticité du Béton, Material und Technik No. 1977/2, EMPA, Dübendorf, 83-92, 1977.
- [6] Jones, R., Kaplan, M.F., The Effect of Coarse Aggregate on the Mode of Failure of Concrete in Compression and Flexure, Road and Research Lab., Dept. Scientific and Industrial Research, South African Council, 89-94, 1957.
- [7] Rusch, H., Kordina, K., Hilsdorf, H., Der Einfluss des Mineralogischen Characters der Zuschlage auf das Kriechen von Beton, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, No.146, 19-33, 1963.
- [8] Troxell, G.E., Rafael, J.M., Davis, R.E., Long Time Creep and Shrinkage Tests of Plain and Reinforced Concrete, Proc. ASTM No. 58, 1101-1120, 1958.

- [9] Rafael, J.M., Shayan, A., Quick, G.W., An Alkali-Reactive Basalt from Queensland, Australia, *Int. Journal of Cem. Compos. Lightweight Concrete*, 10 (4) 210-214, 1988.
- [10] Çopuroğlu, O. et al., Minerology, Geochemistry and Expansion Testing of an Alkali Reactive Basalt from Western Anatolia, Turkey, *Materials Characterization Rev.*, No. 60(7) 756-766, 2009.
- [11] Sersale, R., Frigione, G., On the Minimization of the Alkali-Aggregate Reaction, Influence of Pozzolans: Powdered Volcanic Tuff, Blast Furnace Slag and Fly Ash Proc. 7th Int Conf. On Alkali-Aggregate Reaction, Ottawa, 1986.
- [12] Graf, O., *Der Aufbau des Mörtels und des Betons*, 1930.
- [13] Graf, O., *Eigenschaften des Betons*, Springer Verlag, 1960.
- [14] Akman Pek, A.N., Akman, M.S., Kıyı ve Açık Deniz Yapılarında Beton, TMMOB İnşaat Müh. Odası, İstanbul Şubesi, s.71, 2012.
- [15] Akman, M.S., *Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi*, İTÜ Kütüphanesi 1481, 1992.
- [16] EFNARC, *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete*, 2005.
- [17] Akman, A.N., Açık Deniz Platformlarında Kullanılan Yüksek Performanslı Betonlar, TMMOB İnşaat Müh. Odası, İstanbul Şubesi, 6. Ulusal Beton Kongresi, İTÜ, İstanbul, 137-146, 2005.
- [18] Nagataki, S., Antiwashout Admixtures for Underwater Concrete, RILEM Report No.10, *Application of Admixtures in Concrete*, Ed. Paillere, A.M., 77-87, 1995.
- [19] Litvan, G.G., Meyer, A., Carbonation of Granulated Blast Furnace Slag Cement Concrete During Twenty Years of Field Exposure, Proc. Second Int. Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Madrid, ACI SP91, 1446-1462, 1986.
- [20] Neville, A.M., *Properties of Concrete*, ss.383-388, 1975.
- [21] ASTM C1202, *Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*, 2012.
- [22] Akman, M.S., Öztekin, E., Erdinç, M., Düşük Çimento Dozajlı ve Uçucu Kül Katkılı Hazır Betonlarda, Dayanım ve Dayanıklılık, İMO İstanbul Şubesi, 3. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, ss. 297-310, 1994.