

Barit ile Üretilmiş Ağır Betonlar Üzerine Bir Çalışma

Özet

Radyoaktif ışınların kanserojen etkisi nedeniyle canlı vücuduna zarar vermesini önlemek ve radyoaktif yapılarda olabilecek sızıntıları engellemek üzere adına ağır beton denilen yüksek birim ağırlıklı agregalar ile üretilen yüksek yoğunluklu betonlar kullanılır. Ağır betonlar, yukarıda sayılan özelliklerinin dışında tasarımındaki farklılıklar nedeniyle de geleneksel betondan oldukça farklıdır. Ağır beton tasarımındaki en önemli husus, düşük su/çimento oranı olup çimento dozajının ise radyoaktif geçirimsizliği sağlayacak derecede yüksek ve aynı zamanda rötreten kaynaklanan çatlakların ortaya çıkmasını önlemek için de az olması gerektiği gerçeğidir. Yapılan çalışmada barit agregası kullanılarak iki farklı çimento ile yedi farklı su/çimento oranında üretilen ağır betonların fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Çalışma sonuçları açısından değerlendirildiğinde, ağır betonlar için en uygun su/çimento oranının 0.40 olduğu ve çimento dozajının ise 350 kg/m³'den az olmaması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağır beton, Mineral katkı, Silis dumanı, Barit agregası

1. Giriş

Ağır betonlar nükleer reaktörlerde, röntgen odalarında, onkoloji hastanelerinde ve savunma amaçlı sığınaklarda radyoaktif ışınlar karşı kullanılır. α ve β parçacıkları ile γ ve x ışınları ve nötronlar canlı dokular üzerinde zararlı etkilere neden olabilirler Bu nedenle radyasyon dozlarını olabildiğince azaltabilmek amacıyla zırh veya kalkan denilen tabakalar yapılır. Radyoaktif ışın ve parçacıkların ortam dışına çıkışını engellemek amacıyla kullanılan kurşun tabakaların nötronları yakalama kapasiteleri zayıftır. Nötron hareketini hidrojen atomu zengin olan ortamlar durdurabildiğinden hidrojen içeriği açısından yoğun olan betonlar bu açıdan en yararlı malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Normal betonlarda nötronların durdurulması için gerekli hidrojen miktarı karma suyunun

yaklaşık % 4'üne karşılık gelir. Bu su, çimento hamurunun hidrate elemanlarında serbest olarak yada kristal suyu olarak çimento hamurunda ve agregada bulunur.

Ağır beton üretiminde kullanılan agregaların özgül ağırlıkları genellikle 4000 kg/m³ ün üzerinde olur. Bu nedenle ağır beton üretiminde en çok tercih edilen agregalar barittir. Barit ile üretilen betonun 1.25 MeV'luk γ ışınlarını yutma katsayısı, barit agregasının yüzdesine bağlı olarak $\mu=0.55 e^{1.36c} \text{cm}^{-1}$ (e: agregadaki barit yüzdesi) şeklinde ve betonun birim ağırlığına bağlı olarak da $\mu=0.006 e^{1.04\Delta} \text{cm}^{-1}$ (Δ : kg/dm³ olarak betonun birim ağırlığı) şeklinde ifade edilmektedir. Yüksek birim ağırlıklı agregalarla radyoaktif geçirimsizliği sağlamak için üretilen ağır betonun kullanılması sonucu gerekli olan normal beton kalınlığını 1.5 ile 2.5 kat azaltmak mümkündür. Bu şekilde zamandan ve

beton hacminden kazanç sağlanabilir, [1, 2, 3, 4]. Ayrıca baritle üretilen ağır betonunun ısıl genleşme katsayısı 0-38°C aralığında normal betonun iki katı civarında ve ısı iletkenliğinin ise normal betonun altında olduğu tespit edilmiştir, [5]. Çalışma sonucunda Türkiye’de bol miktarda bulunan baritlerle yapılan ağır betonların özelliklerinin belirlenmesi sonucu bunların kullanım olanakları artırılmış olacaktır.

2. Deneysel Çalışmalar

Çalışmada Konya-Beyşehir-Höyük yöresinden getirilen barit agregası kullanılmıştır. Halen Etibank tarafından işletilen bu barit yatağında 12.700.000 ton % 95.50 saflıkta barit rezervi mevcuttur. Çalışmada önce barit mineralinin fiziksel, mekanik ve petrografik yapısı incelenmiştir. Daha sonra üretilen ağır betonların fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Karışımlarda yedi farklı su/çimento oranında iki farklı tip çimento kullanılarak betonlar üretilmiştir.

2.1 Barit Agregasının Fiziksel ve Petrografik Özellikleri

Barit agregası farklı tane çaplarına ayırdıktan sonra karışımlarda kullanılmıştır. Agregada TS 1226 ve TS 1227 [6]’ye uygun elek düzeniyle TS 706 [7]’ye uygun olarak, en büyük tane çapı 16 mm olacak şekilde tane gruplarına ayrılarak sınıflandırılmıştır. Tane gruplarına göre sınıflandırılan agregaların kum (< 4 mm) ve çakıl (> 4 mm) kısımları üzerinde, TS 3526 [8] ve TS 3529 [9]’a göre gevşek, doygun ve kuru birim ağırlık ile su emme deneyleri yapılmış ve bulunan sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir.

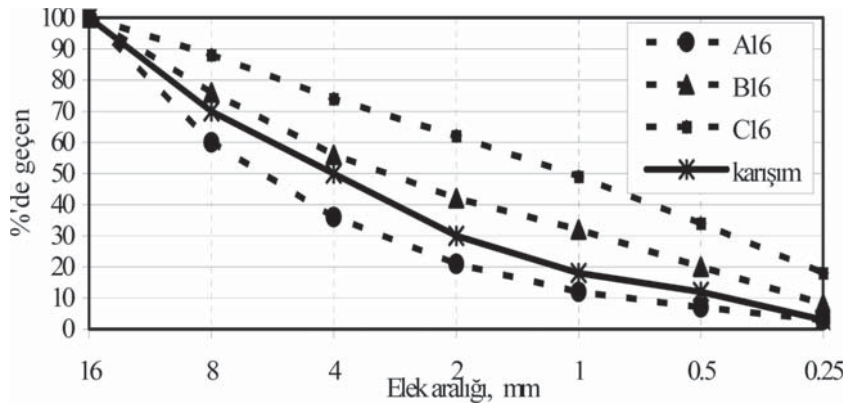
Tablo 1 - Barit fiziksel özellikleri

Agrega Tane Boyutu mm	Gevşek Birim Ağırlık, kg/m ³	Kuru Birim Ağırlık, kg/m ³	Doygun Birim Ağırlık, kg/m ³	Su Emme 48 saatte, %
Kum (> 4 mm)	2235	4002	4011	0.002
Çakıl (< 4 mm)	2210	3946	3988	0.010

Osmangazi Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Petrografi Laboratuvarında gerçekleştirilen çalışmada agregalardan seçilen barit örneklerinden ince kesitler alınarak petrografik analiz yapılmıştır. Yapılan incelemelerde ince kesitlerde baritin dışında başka minerale rastlanılmamıştır. Barit kristalleri 25-1500 µ arasında değişen boyutlar göstermiştir. Barit kayacının mekanik özellikleri için kaya bloklarından boyutları ø 75x150 mm olan karot numuneler alınmış ve bunlar üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyleri sonucu kayacın basınç dayanımı 36.8 MPa bulunmuştur.

2.2 Ağır Betonların Karışım Oranları ve Üretimi

Beton karışım hesaplarında mutlak hacim yöntemi kullanılmıştır. Karışımlarda çimento dozajı 350 kg/m³ olarak sabit tutulmuştur. En büyük tane boyutu 16 mm seçilerek Şekil 1’de görülen tane



Şekil 1 - Karışımlarda kullanılan tane dağılımı eğrisi

dağılımı eğrisi elde edilmiştir. Agregalar 0.50-1 mm den % 12, 1-2 mm den % 18, 2-4 mm den % 20, 4-8 mm den % 20 ve 8-16 mm den de % 30 oranlarında ağırlıkça alınarak kullanılmıştır. Çimento olarak, PKÇ 32.5 (özgül ağırlığı 2850 kg/m³ ve özgül yüzeyi 3574 cm²/g) ve PÇ 42.5 (özgül ağırlığı 3100 kg/m³ ve özgül yüzeyi 3182 cm²/g) çimentoları kullanılmıştır. Üretilen ağır betonların karışım oranları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 - Ağır betonların bileşenlerinin miktarları ve çökme değerleri

S/Ç oranı	Su Miktarı, kg/m ³	Çimento Miktarı, kg/m ³	Toplam Agrega Miktarı, kg/m ³	Çökme, cm
0.30	105	350	3038	0.5
0.35	123	350	2967	1.0
0.40	140	350	2876	1.5-2
0.45	158	350	2835	2.5
0.50	175	350	2756	4-5
0.55	193	350	2683	6-7
0.60	210	350	2615	7.0

Beton numuneleri standart 15x30 cm boyutlarındaki silindirik kalıplar kullanılarak üretilmiştir. Her su/çimento oranı için 3 adet numune üretilmiştir. Beton kalıplara 3 kademede vibratörle sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Hazırlanan numuneler 24 saat 20°C'de kalıp içinde bekletildikten sonra kalıplardan alınarak 28 gün süre ile sıcaklığı 23°C'deki kirece doymun su içinde saklanmıştır.

Numunelerde hasarsız olarak ultrases hızı, rezonans frekansı ve Schmidt sertliği deneyleri yapılmıştır. Yine basınç deneylerinin yanı sıra ağır betonların σ - ϵ (gerilme - şekil değiştirme) eğrileri çizilerek elastisite modülleri tespit edilmiştir.

3. Deneylerin Sonuçları

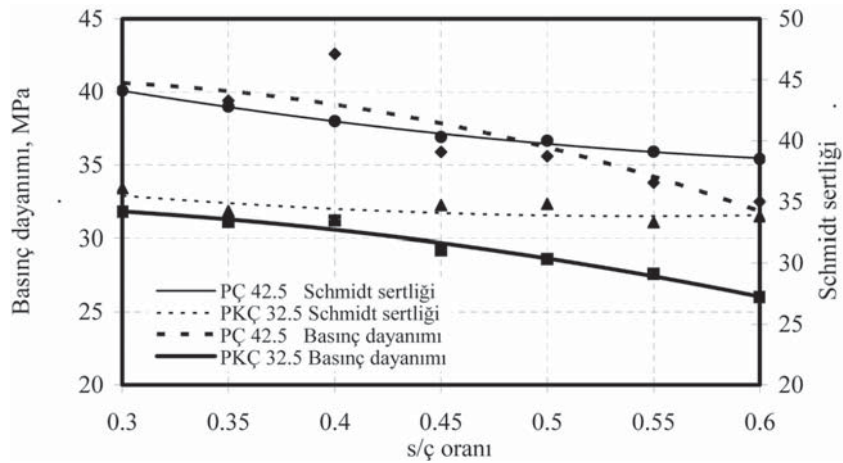
Çalışmada ilk aşamada barit mineralinin fiziksel özellikleri tespit edilmiş ve bulunan 4000 kg/m³ civarındaki barit birim ağırlığının ağır beton üretimi için gerekli birim ağırlık değerini sağladığı görülmüştür. Kayacın agregaya olarak kullanılabilmesi için ölçülen basınç dayanımının yeterli olduğu görülmüştür. Karışımlarda akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmadığından üretilen betonların kıvamı kuru olmuş ve Tablo 2'de verildiği gibi oldukça düşük çökme değerleri elde edilmiştir. Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde; birim ağırlık, rezonans frekansı, ultrases geçiş süresi, Schmidt sertliği, ve basınç dayanımı ölçümleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir.

Barit ile üretilen ağır betonların birim ağırlıkları PKÇ 32.5 ile 3203-3288 kg/m³, PÇ 42.5 ile 3278-3359 kg/m³ olarak bulunmuştur. Ağır beton birim ağırlıklarının normal beton birim ağırlığından yaklaşık % 25 fazla olduğu görülmüştür. Bu açıdan bakıldığında PÇ 42.5 ve PKÇ 32.5 ile hazırlanan ağır betonlarda su/çimento oranının 0.40 olduğu betonlar yüksek basınç dayanımları ve uygun işlenebilirlik özelliklerine sahiptir. Beton çekici kullanılarak beton yüzey sertliğinden hareketle tahribatsız olarak basınç dayanımını kestirebilmek için de deneyler yapılmış sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3 ve şekil 2'den görüleceği üzere su/çimento oranının büyümesi ile basınç dayanımı ve Schmidt (geri tepme) sayısı azalmaktadır. Bu sonuçların ilginç tarafı, her iki farklı çimentonun kullanıldığı karışımlarda su/çimento oranı 0.30'dan 0.60'a tam % yüz yükseldiği halde bu değişim Schmidt sertliğine yansımamış sonuçlar ancak % 10 düzeyinde azalmıştır. PÇ 42.5 çimentosu kullanılarak üretilen ağır betonların basınç dayanımı ve Schmidt sertliği değerleri PKÇ 32.5 çimentosu kullanılarak üretilen betonlara göre yaklaşık % 10 daha fazladır.

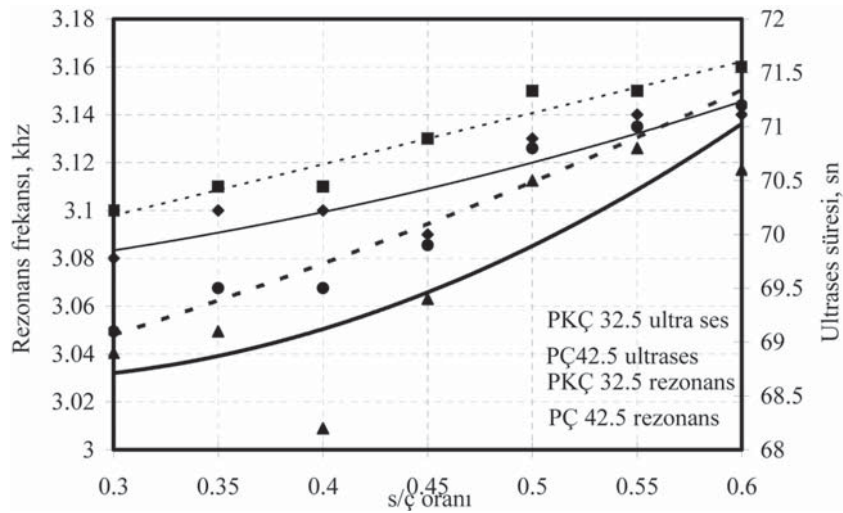
Yine, sertleşmiş beton numuneleri üzerinde, beton içerisindeki süreksizlikleri (boşluk, çatlak, peteksi doku, vs.) tespit etmek ve beton iç yapısı hakkında fikir yürütebilmek için ultrases geçiş süresi ve rezonans frekansı ölçümleri yapılarak sonuçlar tablo 3'de verilmiştir. Bu değerler kullanılarak hazırlanan Şekil 3'den görüleceği üzere su/çimento oranının artması ile rezonans frekansı değerleri ve

Tablo 3 - Sertleşmiş beton deney sonuçları

Çimento Tipi	S/Ç oranı	Birim Ağırlık, kg/m ³	Rezonans Frekansı, khz	Ultrases Süresi, sn	Schmidt Sertliği	Basınç Dayanımı, MPa
PKÇ 32.5	0.30	3288	3.08	68.9	36	31.8
	0.35	3280	3.10	69.1	34	31.1
	0.40	3272	3.10	68.2	34	31.2
	0.45	3247	3.09	69.4	35	29.2
	0.50	3227	3.13	70.5	35	28.6
	0.55	3220	3.14	70.8	33	27.6
	0.60	3203	3.14	70.6	33	26.0
PÇ 42.5	0.30	3359	3.10	69.1	44	40.1
	0.35	3356	3.11	69.5	43	39.4
	0.40	3346	3.11	69.5	42	42.6
	0.45	3322	3.13	69.9	40	35.9
	0.50	3309	3.15	70.8	40	35.6
	0.55	3296	3.15	71.0	39	33.8
	0.60	3278	3.16	71.2	39	32.5



Şekil 2 - Basınç dayanımı ve Schmidt sertliğinin s/ç oranı ile değişimi

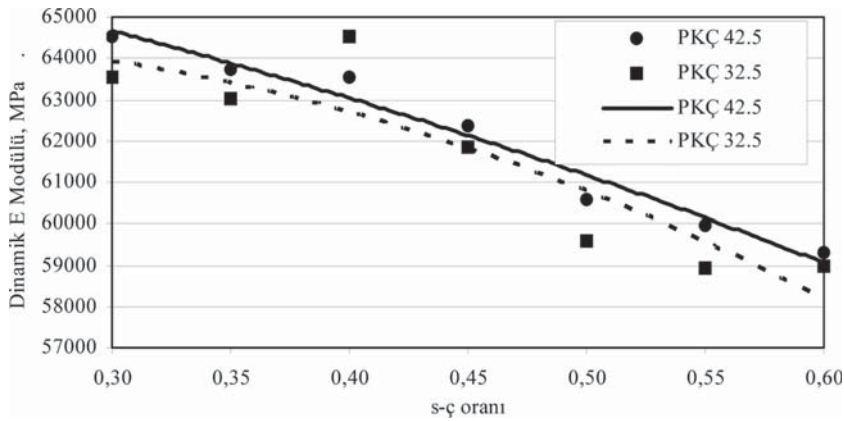


Şekil 3 - Ultrases geçiş süresi ve rezonans frekansının s/ç oranı ile değişimi

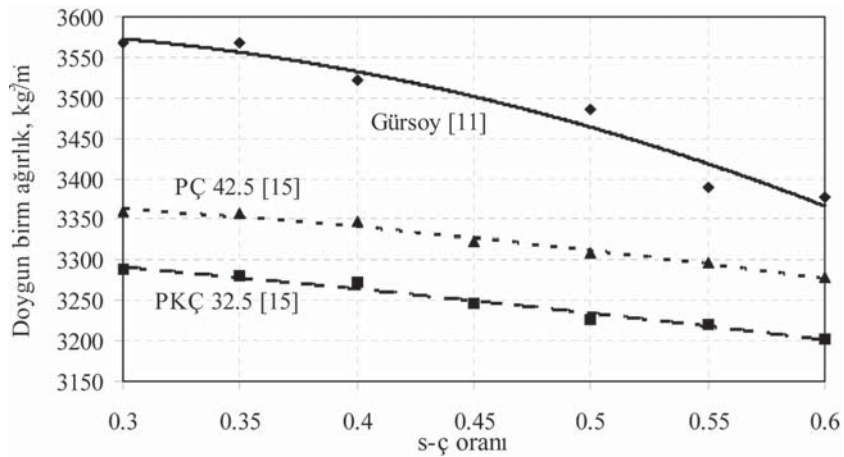
ultrases geçiş süreleri de artmaktadır. Buradan da görüleceği üzere P ile üretilen betonların PK ile üretilen betonlara göre rezonans frekansları daha yüksek olup ultrases geçiş süreleri de daha uzundur. Bu, PK içerisindeki puzolanın imento içerisindeki serbest kireci bağlaması nedeniyle ortaya çıkan yeni tobermorit jellerinin imento hamuru fazını daha yoğun bir yapıya kavuşturması sonucu ortaya çıkmış bir durumdur. Numune yaşının değişimi ile yani 90 yada daha sonraki günlerde ölçümlerin tekrarlanması sonucu şüphesiz puzolanın olumlu etkisi daha belirgin hale gelecektir.

şekil 4'de ise su/imento oranının elastisite modülü ile değişimi verilmiştir. Bilindiği üzere normal betonların (C 16 - C 50) elastisite modülü 25 000 - 40 000 MPa arasındadır. Ağır beton için ultrases geçiş süresi değerine göre bulunan dinamik E modülü 55 000 - 65 000 MPa arasındadır. Ağır beton için kullanılan barit agregasının kimyasal bileşimindeki minerallerin atom numaralarının yüksek olması, sesi daha hızlı geçirmesi ve dayanımlarının daha yüksek olması nedeni ile dinamik elastisite modülleri de daha yüksek çıkmıştır. Burada da P ile üretilen betonların dinamik elastisite modülleri PK ile üretilen betonlara göre daha yüksektir.

şekil 5'te ise üretilen ağır betonların doğun birim ağırlıkları iki farklı imento tipi esas alınarak değişen su/imento oranlarına göre karşılaştırılmıştır. şekilden de görüleceği üzere su/imento oranı arttııca doğun birim ağırlıklarda bir azalma grlmştir. Bu, karışıma katılan su miktarının artması ile imento ve agrega miktarında meydana gelen azalma ile açıklanabilir. Burada bulunan değerler daha önce yapılmış bir çalışma ile kıyaslandığında elde edilen birim ağırlıkların biraz düşük olduğu görülecektir, [11]. Bununla birlikte yine burada da P ile üretilen betonların birim ağırlıklarının PK ile üretilen betonlara göre çok az da olsa biraz daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



şekil 4 - Ağır betonların E-modüllerinin s- oranı ile değişimi



şekil 5 - üretilen ağır betonların doğun birim ağırlıklarının karşılaştırılması

4. Sonuçların İrdelenmesi

Bu çalışmadaki amaç barit ile üretilen ağır betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemektir. Bu çalışmalar yapılırken ağır betonun asıl kullanım alanı olan radyoaktivite yönünden geçirimsizlik özelliği de düşünülmüştür. Ağır betonlarda çimento dozajının 350 kg/m^3 'ü geçmemesi önerilmekle [11] birlikte diğer bir çalışmada ise 350 kg/m^3 'den fazla olması gerektiği belirtilmektedir, [12]. Çalışmada iri tanelerin karışımı bozma eğilimi vardır. Bu sorunu çözmek için ise ince agrega miktarının artırılması önerilmektedir Bu şekilde harçtaki su jelini yüksek tutarak kalkan özelliklerinin iyileştirilmesi düşünülmüştür [13]. Bununla birlikte kalkan özelliğini iyileştirmek için çimento dozajı artırılırken artan rötre riski de unutulmamalıdır. Ayrıca hidrasyon ısısı sonucu oluşabilecek çatlaklar nükleer tesislerde en istenmeyen durumdur. Oluşabilecek bu çatlaklardan radyoaktif sızıntı olasılığı oldukça yüksektir. Literatürde genellikle ağır beton birim ağırlığı için 3200 ile 3700 kg/m^3 civarı değerlerin yeterli olduğu belirtilmektedir. Yaptığımız çalışmada ise beton birim ağırlıkları 3266 ile 3279 kg/m^3 arasında bulunmuştur. Gürsoy [11] birim ağırlıklardaki farklılıkların kullanılan barit birim ağırlıklarının farklı olmasından kaynaklandığı düşüncesindedir. Bilindiği üzere ağır beton birim ağırlığının artması sonucu betonun kalkan özelliklerinde iyileşmeler ortaya çıkmaktadır. Ancak, yapılacak kalkanın kalınlığı, radyoaktif ortamın aktifliği dikkate alınarak belirlenmelidir. Aynı su/çimento oranında değişik çimentolar ile üretilmiş betonların birim ağırlıkları arasındaki fark kullanılan çimentoların farklı birim ağırlığa sahip olmalarından kaynaklanmıştır. Gürsoy ve Can'ın birim ağırlıkları arasında görülen fark ise kullanılan barit minerallerinin arasında % 5-7 birim ağırlık farkı olmasından ileri gelmiştir

Elde edilen sonuçlar dayanım açısından değerlendirildiğinde; bulduğumuz sonuçların Can'ın daha önce 350 kg/m^3 çimento dozajında hazırlamış olduğu betonlarla elde ettiği sonuçlara benzediği, buna karşılık Gürsoy'un 300 kg/m^3 çimento dozajı ile elde ettiği sonuçlara benzemediği görülmüştür, [11,15]. Gürsoy'un elde ettiği basınç dayanımı değerleri değişik su/çimento oranlarında 55 ile 20 MPa arasında olup Can'ın elde ettiği değerler ise aynı su/çimento oranlarında 45 ile 30 MPa arasındadır. Yaptığımız çalışmada elde ettiğimiz sonuçlar daha çok Can'ın değerleri ile uyum sağlamaktadır. Zaten literatüre göre de ağır betonlarla elde edilmiş en yüksek dayanımlar 76 MPa'ın altındadır, [14].

Ağır betonda öncelik radyoaktif geçirimsizliği sağlamaktır. Bu yüzden çimento dozajı seçilirken önce performans sonra dayanım dikkate alınmalıdır. Çünkü ağır beton çoğu yapılarda kalkan görevi yapmakta taşıyıcı olarak kullanılmamaktadır.

Bu nedenle ağır betonlar üretilirken kalkan görevini yerine getirebilmesi için gerekli 40-45 MPa'lık bir basınç dayanımı hedeflenmelidir. Bu basınç dayanımı en düşük su/çimento oranında ve en iyi işlenebilirlikte yüksek yoğunluklu agrega ile elde edilmelidir, [13].

Su/çimento oranının düşük olması, daha çok radyoaktif geçirimsizlik için gerekli bir parametre olup dayanım olarak bunun karşılığı 40-45 MPa'dır. Kalkan duvarın kalınlığının düşürülebilmesi için de bu özellikteki betona gereksinim duyulur,[13]. Su/çimento oranının düşük olması aynı zamanda yüksek dayanım, düşük sünme ve rötre dir. Düşük sünme ve rötre daha kararlı, geçirimsiz, çatlaksız ve bütün bu özelliklerin sonucunda ise radyoaktivite açısından daha geçirimsiz, yani kalkan özelliği yüksek bir beton demektir.

Maliyeti normal agregadan 3-4 kat daha fazla olmasına rağmen ağır betonda kalkan olarak kullanılabilmesi için gerekli yoğunluğu sağlaması ve sonuçta beton kalınlığını azaltması nedeniyle barit agrega olarak tercih edilmektedir.

5. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada iki farklı tip çimento kullanılarak sekiz farklı su/çimento oranında betonlar üretilmiş ve bu betonların gerek birim ağırlık ve gerekse de radyasyon geçirimsizliği için gerekli basınç dayanımı ve içyapı açısından radyoaktiviteye karşı geçirimsiz olma özelliklerini taşıdığı görülmüştür. İki farklı tip çimento kullanılarak üretilen on dört seri beton içerisinde her iki çimento tipinde de 0.40 su/çimento oranındaki betonun dayanım açısından en yüksek değeri vermesi dikkatle değerlendirilmelidir.

Yine elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, PÇ çimentosu ile üretilen betonların; gerek yüksek

dayanım ve birim ağırlık ve gerekse de PKÇ ile üretilen betonlarla aynı içyapı özelliklerini taşıması bakımından tercih edilmesinde fayda olacağı izlenimi edinilmiştir. PKÇ su kullanılarak üretilen betonların ise daha düşük kalkan özeliğinin gerektiği yerlerde kullanılmasında bir sakınca yoktur.

Elde edilen dayanımlar açısından bakıldığında yine PÇ 42.5 çimentosu ile 0.30 ve 0.40 su/çimento oranlarında C 40 sınıfı betonların, 0.35, 0.45 ve 0.50 su/çimento oranlarında ise C 35 sınıfı betonların, 0.55 ve 0.60 su/çimento oranlarında ise C 30 sınıfı betonların üretilebildiği görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar barit mineralinin betonda agrega olarak kullanılmasının betonun taşıyıcılığı açısından da uygun olduğunu ortaya koyar niteliktedir.

Kaynaklar

- [1] Price, B. T., Horton, C. C. and Spinney, K. T., Radiation Shielding, Pergamon Press, London-New York, 1957.
- [2] Yazar, Y., Kolemanitli Betonların Nötron Zırhlama Etkinliğinin ve Aktivitesinin İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul, 1994, s.103.
- [3] Stewart, D. A., The Design and Placing of High Quality Concrete, London, Britania, 1962, pp.143-151.
- [4] Lamarsh, J. W., Introduction to Nuclear Reactor Engineering, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1977.
- [5] Akyüz, S., "Gama Işınlardan Korunmada Barit Agregalı ağır Beton", İ.T.U. Dergisi, Journal, Cilt 35, Sayı 5, 1977, pp. 59-69.
- [6] TS 1226, "Deney Elekleri-Metal Levhalı, Yuvarlak veya Kare Delikli", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985 ve TS 1227, "Deney Elekleri-Tel Kafesli Kare Göz Açıklıklı", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985.
- [7] TS 706, "Beton Agregaları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
- [8] TS 3526, "Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
- [9] TS 3529, "Beton Agregalarında Birim Ağırlıklarının Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
- [10] Atan, Y., "Yapı Malzemesi Ders Notları 2", İTÜ İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemesi Kürsüsü, 1972.
- [11] Gürsoy, Y., "Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Ağır Agregalarından Biriyle Üretilen Ağır Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırmalı olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
- [12] Topçu, İ.B., Karakurt, C., "Ağır Betonlar", İMO Eskişehir Şubesi Bülteni, Mart 2002, Yıl 6, Sayı 14, ss. 15-19.
- [13] Mindess, S., Young, J.F., Concrete, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632, pp. 596-599.
- [14] Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M., Concrete, Structure, Properties and Materials, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, pp. 425-428.
- [15] Can, C., "Barit ile Üretilen Ağır Betonların Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniv. , Fen Bilim. Enst., İnş. Müh. ABD, Kasım 2001, s. 45.