

# Pirit, Krom ve Demir ile Üretilen Ağır Betonların Elastisite Modülleri

İlker Ustabaş<sup>1</sup>, Mustafa Demirci<sup>2</sup>, Hasret Yavaş<sup>3</sup>, Şakir Erdoğan<sup>4</sup>

## Özet

Beton, radyoaktif ışıklardan korunmada en çok kullanılan yapı malzemesidir. Nötron ve  $\gamma$  ışınları gibi en tehlikeli radyoaktif ışınların etkisini önlemek için ağır betonlar tercih edilmektedir. Pirit, krom ve demirli agregaların yoğunluğu fazla olmaktadır. Bu durum üretilen betonların yoğunluğunun artmasına neden olarak betonun radyasyona karşı korumasını artırmaktadır.

Bu çalışmada dört grup normal, krom, manyetit ve pirit agregalı 180 mm çökmeli betonlar üretildi. Bu betonlardan hazırlanan silindir numuneler üzerinden elastisite modülleri, basınç dayanımları ve birim hacim ağırlıkları ölçüldü.

Krom, manyetit ve piritle çökmesi yüksek ağır beton yapılabileceği görüldü. Agregata özgül ağırlığının değişmesi beton elastisite modülü üzerinde belirgin

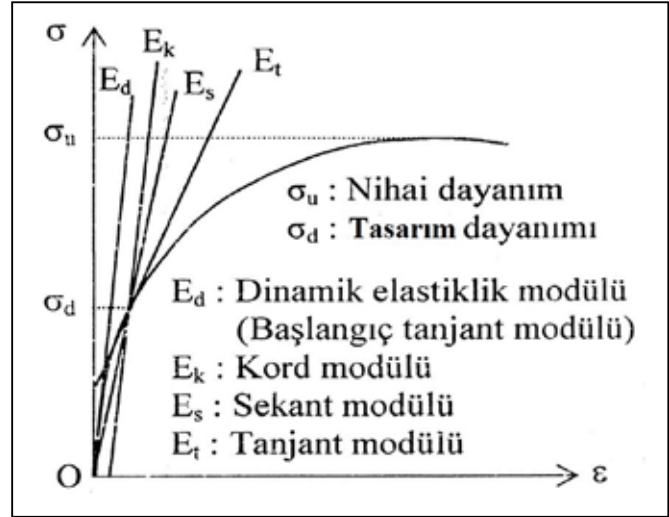
bir değişime neden olmadı. Su/çimento oranının düşmesinin beton elastisite modülünü artırdığı görüldü.

## 1. GİRİŞ

Beton, radyasyondan korunmada yaygın olarak kullanılan yapı malzemesidir [1,2]. Radyasyondan korumak için üretilen betonlarda yoğunluğu fazla agregaların kullanılması betonun yoğunluğunu arttırmaktadır. Böylelikle daha az beton kalınlığıyla radyasyondan koruyuculuk sağlanmaktadır [3,4]. TS EN 206 birim hacim ağırlığı 2600 kg/m<sup>3</sup>ten fazla olan betonları ağır beton olarak sınıflandırmaktadır [5].

Ağır betonların radyasyonu soğurması normal betonlara göre daha fazla olmaktadır. Barit, manyetit gibi yoğunluğu fazla olan agregalar ağır beton üretiminde en çok tercih edilen agregalardır [1,2,6]. Radyoaktif özellikleri yanında yapıda kullanılacak betonun mekanik özellikleri de önem arz etmektedir.

Beton lineer olmayan bir gerilme-şekil değiştirme diyagramına sahip malzemedir [7]. Betonun elastisite modülünü tanımlamak için dört farklı elastisite modülü tanımlanır.



Şekil 1. Betonun farklı elastisite modülleri

Dinamik elastiklik modülü, gerilme-birim şekil değiştirme (σ-ε) eğrisinin başlangıçtaki eğimidir. Dinamik elastiklik modülü ultrasonik yöntemlerle de belirlenir. Sekant modülü eğri

## Elasticity Modules of Heavy Concrete Produce with Pyrite, Chromium and Iron

Concrete is the most commonly building material to protect from radioactive rays. Heavy concrete is preferred to prevent the most dangerous radioactive rays such as neutrons and  $\gamma$  rays. The density of the pyrite, chromium and ferrous aggregates is high. This situation increases the density of the concrete to be produced and increases the protection of the concrete against radiation.

1) ilker.ustabas@erdogan.edu.tr 2) mustafa.demirci@erdogan.edu.tr 3) hasret\_yavasi15@erdogan.edu.tr, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize

4) shake@ktu.edu.tr, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

(\*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

üzerindeki herhangi bir noktanın orjine birleştiren doğrunun eğiminden hesaplanır. Genellikle bu değer nihai dayanımın %40'ına karşılık gelen değerdir. Tanjant modül ise  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrisinde basınç dayanımının %40'daki teğetin eğiminden hesaplanan değerdir. Kort modülü  $50 \times 10^{-6}$  birim şekil değiştirme değeri ile basınç dayanımının %40'ını birleştiren doğrunun eğiminden hesaplanan değerdir [7].

Elastisite modülünü betonun basınç dayanımından veya ultrases geçiş hızından hesaplayan yöntemler de mevcuttur [7].

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI):

Beton içindeki V ses hızı;

$V = L/t$  olarak cm/s olarak bulunur.

$E = V^2 \times (\delta/g)$

Burada  $\delta$  betonun birim hacim ağırlığı, g yerçekimi ivmesidir.

Boyut değişimi yapıldığında bağıntı şu şekilde oluşur:

$E = 10^5 \times V^2 \times (\delta/9,81)$

Burada, V km/sn,  $\delta$  kg/lt, E kgf/cm<sup>2</sup> birimlerinde alınır.

Amerikan Beton Enstitüsüne göre (ACI Building Code 318-92) birim ağırlığı 1500-2500 kg/m<sup>3</sup> arasındaki betonların elastisite modülü şu bağıntı ile belirlenebilir:

$E_c = 43 \times \rho^{1.5} \times \sqrt{f_c} \times 10^{-6}$

Burada;

$f_c$ : betonun 28 günlük standart silindir dayanımı, MPa

$\rho$ : betonun birim ağırlığı, kg/m<sup>3</sup>

$E_c$ : statik elastisite modülü, GPa

Normal ağırlıklı betonlar için ( $\rho=2300$ kg/m<sup>3</sup>);

$E_c = 4.73 \times \sqrt{f_c}$  (GPa)

In this study, 180 mm slump, four group concretes with normal, chrome, magnetite and pyrite aggregates were produced. Modulus of elasticity, compressive strengths and unit volume weights were measured from the cylinder samples prepared from these concretes.

Chromium, magnetite and pyrite were found to be able to make heavy concrete with high density. The change in aggregate specific gravity did not cause a significant change in concrete modulus of elasticity. Decreasing water / cement ratio increased the concrete elasticity modulus.

Yukarıda verilen genel denklem basınç dayanımı 40 MPa'dan düşük betonlar için geçerlidir. Dayanımı 80 MPa'a kadar olan betonlar için ACI 363 R92'de şu denklem önerilmektedir;

$E_c = 3.32 \times \sqrt{f_c} + 6.9$  (GPa)

Dayanımları 80-140 Mpa arasındaki betonlar için Kakizaki aşağıdaki ifadeyi önermiştir.

$E_c = 3.65 \times \sqrt{f_c}$  (GPa)

Avrupa Beton Enstitüsü tarafından hazırlanan CEB-FIB-90 Model Code'da normal ağırlıklı betonlar için elastisite modülü şu denklemden elde edilebilir:

$E_c = 2.15 \times 10^4 \times (f_{cm}/10)^{1/3}$

Burada;

$E_c$ : 28 günlük betonun elastisite modülü, MPa

$f_{cm}$ : 28 günlük ortalama silindir basınç dayanımıdır.

TS 500'de ise betonun basınç dayanımına bağlı olarak elastisite modülünün aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabileceği belirtilmektedir. Formülede  $f_{ckj}$  betonun 28 günlük karakteristik silindir basınç dayanımıdır.

$E_{cj} = 3250 \times \sqrt{f_{ckj}} + 14000$  (MPa)

## 2. YAPILAN ÇALIŞMA

Bu çalışmada CEM I 42,5 R sınıfı çimento ile 0,40, 0,50 ve 0,60 su/çimento orana sahip normal, pirit, magnetit ve krom agregalı 100mm/200mm (çap/boy) ebadında beton numuneler üretildi. Betonda kullanılan agregaların özgül ağırlıkları ve su emmeleri Tablo 1'de görülmektedir.

**Tablo 1.** Agregaların özgül ağırlıkları ve su emme değerleri

Agrega	Normal Agrega			Magnetit			Pirit			Krom		
	İri 2	İri 1	İnce	İri 2	İri 1	İnce	İri 2	İri 1	İnce	İri 2	İri 1	İnce
Özgül Ağırlık	2,64	2,61	2,51	3,36	3,30	3,07	4,74	4,52	4,31	3,18	3,40	3,07
Su Emme (%)	0,85	1,39	3,43	0,46	2,43	10,32	0,60	1,47	3,62	0,64	0,92	6,11

Betonlar, pan tipi mikserle tek seferde 16 litre hacminde hazırlandı ve 100/200 mm / mm boyutunda silindir numune kaplarına her seferinde 25 şişleme yapılarak üç seferde dolduruldu. Beton üretiminde kullanılan madde ham miktarları ve betonların çökmeleri Tablo 2'de görülmektedir.

**Tablo 2.** Betonların (1 m<sup>3</sup>) karışımında kullanılan ham madde miktarları

Beton Türü	Su/ Çimento Oranı	Çimento (kg)	Su (kg)	Agrega (kg)			Kimyasal Katkı (kg)	Toplam Ham Madde (kg)	Çökme (mm)
				İri 2	İri 1	İnce			
Normal Beton	0,40	475	228	511	427	642	14,25	2297,25	185
	0,50	380	230	540	452	679	7,60	2288,6	195
	0,60	317	232	560	468	703	3,17	2283,17	210
Magnetitli Beton	0,40	475	260	619	525	711	14,25	2604,25	190
	0,50	380	265	655	555	751	7,60	2613,6	195
	0,60	317	267	678	575	779	3,17	2619,17	200
Piritli Beton	0,40	475	238	850	750	886	14,25	3213,25	150
	0,50	380	241	899	793	937	7,60	3257,6	165
	0,60	317	243	931	821	971	3,17	3286,17	160
Kromlu Beton	0,40	475	233	616	538	726	14,25	2602,25	175
	0,50	380	236	651	569	767	7,60	2610,6	175
	0,60	317	237	674	589	795	3,17	2615,17	165

Şekil 1'de ağır betonların elastisite modülünün ölçüldüğü cihaz düzeneği görülmektedir. Şekil 1'deki kompresometrede 2 adet düşey, 1 adet dairesel potansiyometrik boy değişim ölçüm sensörü bulunmaktadır. Silindirik beton numunelerine basınç dayanım testi uygulanırken kompresometre ile eksenel ve çapsal boy değişimleri ölçülmektedir. Ölçülen bu değerlerden beton presinin kumanda ünitesine bağlı bilgisayar programı kullanılarak gerilme- birim şekil değiştirme grafikleri çizilmektedir. Çizilen grafikler üzerinden betonların elastisite modülleri hesaplanmaktadır.



**Şekil 1.** Beton numunelerin elastisite modülünün ölçüldüğü kompresometre cihazı

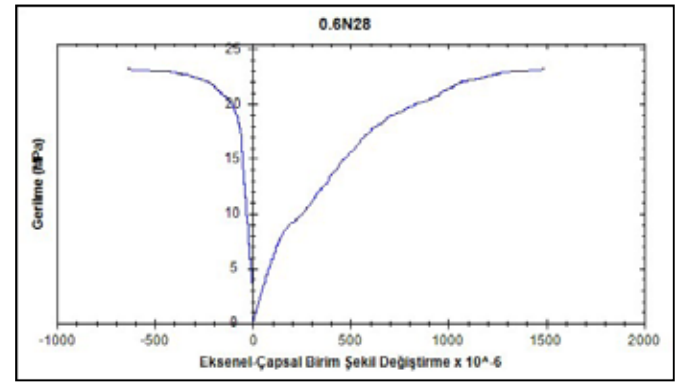
### 3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Normal, kromlu, magnetitli ve piritli betonların taze beton birim hacim ağırlıkları, sertleşmiş beton birim hacim ağırlıkları, elastisite modülleri ve basınç dayanımları Tablo 3'te görülmektedir.

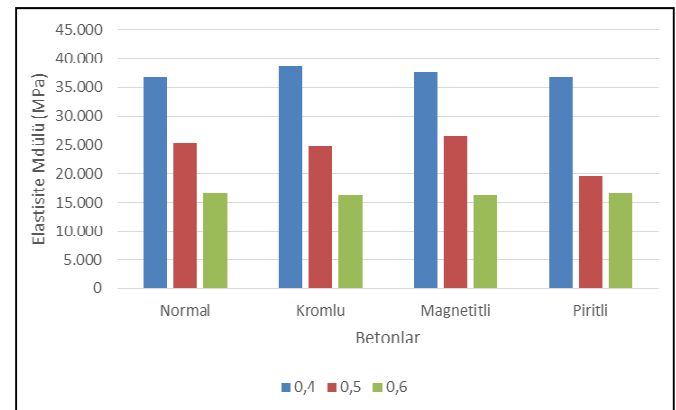
**Tablo 3.** Normal, kromlu, magnetitli ve piritli betonların birim hacim, elastisite modülü ve basınç dayanımı değerleri

Beton Türü	Su Çimento Oranı	Taze Beton BHA (kg/m <sup>3</sup> )	Sertleşmiş Beton BHA (kg/m <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (GPa)	Basınç Dayanım (N/mm <sup>2</sup> )
Normal Beton	0,40	2297	2330	36,9	44,4
	0,50	2288	2290	25,4	30,5
	0,60	2282	2300	16,6	23,2
Kromlu Beton	0,40	2601	2660	38,7	44,4
	0,50	2610	2710	24,8	33,9
	0,60	2615	2810	16,3	23,0
Magnetitli Beton	0,40	2604	2620	37,8	40,6
	0,50	2613	2700	26,5	24,8
	0,60	2619	2700	16,4	19,5
Piritli Beton	0,40	3213	3010	36,8	47,7
	0,50	3257	2970	19,6	36,9
	0,60	3286	3010	16,6	29,9

Tablo 3'teki elastisite modülü Şekil 2'de gerilme birim şekil değiştirme grafiği kullanılarak hesaplandı. Şekil 2'deki 0.6N28 başlığı su çimento oranı 0,6 olan normal agregalı 28 günlük betonları ifade etmektedir. Şekil 2'deki grafikteki düşey eksen megapaskal (MPa) cinsinden basınç gerilmesini göstermektedir. Düşey eksenin solundaki eğri, betonun gerilme-çapsal birim şekil değiştirme, sağdaki kısım ise gerilme-eksenel şekil değiştirme grafiğidir. Şekil 2'deki grafik ölçüm cihazından elde edilen değerlerin cihazla birlikte kontrol ünitesindeki bilgisayar programıyla uygun olmayan değerler filtre edildikten sonra hesaplanmaktadır. İki adet silindirik beton numunesinden hesaplanan elastisite modüllerinin ortalaması Tablo 3'te görülmektedir.

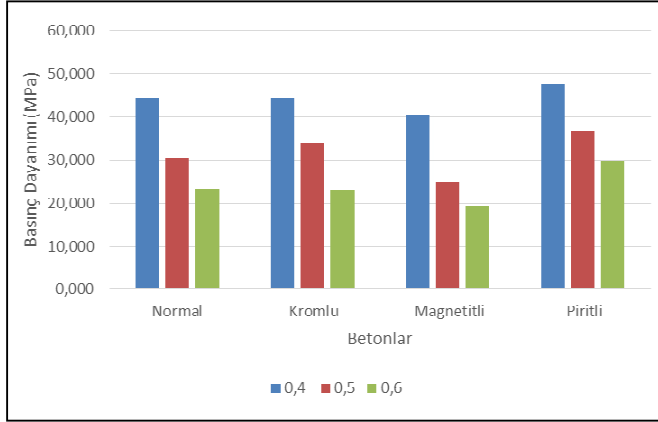


**Şekil 2.** 28 günlük 0,60 S/Ç oranlı normal beton-gerilme çapsal ve eksenel birim şekil değiştirme grafiği



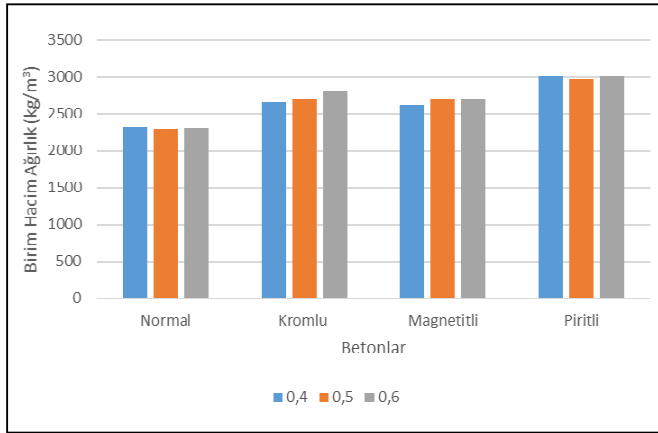
**Şekil 3.** Betonların elastisite modülleri

Şekil 3'te normal, krom, magnetit ve pirit agregalı betonların elastisite modülleri görülmektedir. Şekil 3'te kullanılan agreganın tipinin elastisite modülleri üzerinde etkili olmadığı görülmektedir. Betonların su/çimento oranlarının betonların elastisite modülünü etkileyen ana unsur olduğu anlaşılmaktadır. Su/çimento oranı düştükçe beton elastisite modülü artmaktadır.



**Şekil 4.** Betonların basınç dayanımları

Şekil 4'te betonların basınç dayanımları betonların su/çimento oranlarına göre değişiklik göstermektedir. Kullanılan agreganın türüne göre belirgin bir fark oluşmadığı Şekil 4'te görülmektedir. 28 günlük basınç dayanımlarına göre pirit, krom ve magnetit agregalı betonların basınç dayanımı olumsuz etkilenmemiştir.



**Şekil 5.** Sertleşmiş betonların birim hacim ağırlıkları

Şekil 5'te betonların birim hacim ağırlıkları görülmektedir. Su/çimento oranı arttıkça betonların birim hacim ağırlığı artmaktadır. Bu çalışmada betonlara katılan su miktarı sabit tutulup çimento miktarı azaltılıp farklı su/çimento oranları elde edildi. Azaltılan çimento miktarı yerine agregaya konuldu. Kullanılan agreganın yoğunluğu çimentonun yoğunluğundan fazla olduğundan su/çimento oranı fazla olan betonun birim hacim ağırlığı attığı tespit edildi. Kromlu, magnetitli ve piritli betonların birim hacim ağırlıklarının 2600 kg/m<sup>3</sup>ten büyük olduğu görülmektedir. Bu betonlar TS EN 206'a göre ağır beton sınıfına girmektedir.

## 4. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada aşağıda belirtilen hususlar tespit edildi.

1. Farklı özgül ağırlığa sahip agregaya kullanmak betonların elastisite modülü üzerinde etkili olmamaktadır.
2. Krom, pirit ve magnetit beton basınç dayanımı üzerinde olumsuz etkisi olmamaktadır.
3. Krom, magnetit ve pirit agregalarıyla ağır beton üretilebilmektedir.
4. Su miktarı sabit tutularak çimento miktarı azaltılarak su/çimento oranının artırılması, çimentonun yerine yoğunluğu daha fazla agreganın kullanılmasından su/çimento oranı fazla olan betonun birim hacim ağırlığının artmasına neden olmaktadır.

## Kaynaklar

- [1] Akyüz, S., 1977, "Gamma Işınlardan Korunmada Barit Agregalı Ağır Beton", İTÜ Dergisi, Cilt 35, Yıl 35, Sayı 5, Sayfa 59-69.
- [2] Khaled Saidani, Lasaad Ajam, Mongi Ben Ouedou, "Barite Powder as Sand Substitution in Concrete: Effect on Some Mechanical Properties", Construction and Building Materials 95 (2015) 287-295
- [3] Özen, S., Sengül, C., Erenoğlu, T., Çolak, Ü., Reyhancan, İ. A., and Taşdemir, M.A., "Properties of Heavyweight Concrete for Structural and Radiation Shielding Purposes", Arab J Sci Eng (2016), Springer, 41, pp.1573-1584.
- [4] B. Oto, A. Gür, E. Kavaz, T. Çakır, N. Yaltay, "Determination of Gamma and Fast Neutron Shielding Parameters of Magnetite Concretes", Progress in Nuclear Energy 92 (2016) 71e80
- [5] TS EN 206, Beton- Özellik, İmalat ve Uygunluk, Türk Standardı, Ankara, 2017
- [6] Sh. Sharifi, R. Bagheri, S.P. Shirmard, "Comparison of Shielding Properties for Ordinary, Barite, Serpentine and Steel-magnetite Concretes Using MCNP-4C Code and Available Experimental Results"
- [7] Baradan B., Yazıcı H., Aydın S., "Beton" Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Yayınları No:334,2015