

## AĞIR BETONLARIN SÜLFAT ETKİSİNDE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Şemsettin KILINÇARSLAN\*, Celalettin BAŞYİĞİT\*\*, İsmail UZUN\*\*\*

### ÖZET

Önemli tesislerde kullanılan betonların zamanla dış etmenlerden bozulacağı göz önüne alınarak tasarlanması gereklidir. Dış etkilerden bozulma derecesi ancak betonlar üzerinde yapılacak ön deneylerden sonra anlaşılabilir. Genel olarak betonun çevresel etkilere göre tasarımı iki parametreye göre yapılır. Betondaki maksimum su/çimento oranı ve minimum çimento dozajı gibi kısıtlamaların ne ölçüde gerçekleştirilebileceği doğrudan beton agregasının türüne, granülometrisine ve standartlarına uygun olmasına bağlıdır.

Çalışmada, barit agregası ile mineral- kimyasal katkı malzemeleri kullanılarak yüksek dayanımlı betonlar üretilmiştir. Üretilen betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra durabilitesi de incelenmiştir. Durabilite açısından ağır betonların servis ömrü boyunca karşılaşılabileceği düşünülen sülfat etkilerine karşı dayanımı araştırılmıştır. Sülfat etkisine maruz bırakılmış beton numunelerin basınç dayanım değişimleri, kimyasal ve mikro yapı değişimleri incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalar neticesinde yüksek basınç dayanıma sahip ağır betonların sülfata karşı basınç dayanımlarında azalma görülmüştür. Magnezyum sülfat etkisinin daha tahrip edici bir özelliğe sahip olduğu görülmüştür. Sülfat etkisinden oran olarak en fazla barit agregalı betonlar etkilenmiş olmasına rağmen sayısal olarak basınç dayanım değeri en yüksek beton olarak kalmaya devam etmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır Beton, sülfat etkisi, durabilite

## MECHANICAL PROPERTIES OF SULPHATE ATTACK ON HEAVYWEIGHT CONCRETE

### ABSTRACT

Concrete used in essential facilities needs designing in such a way that it won't be damaged by external factors in time. The extent of damage from external factors can only be understood after the initial experiments. Generally, designing concrete in terms of external factors is done according to two factors. To what extent limitations such as maximum water/cement level in concrete and minimum cement dosage can occur depends on the kind of concrete aggregate, gradation and its convenience to standards.

In the study, highly durable concrete was produced by using barite aggregate and mineral-chemical additives. In addition to the physical and mechanical properties, the durability of the concrete was analyzed. In terms of durability, the strength of heavy concrete was improved against sulphate effects, which the concrete was considered to encounter during its service time. Compression durability variations, chemical and micro structure variations of the concrete, exposed to sulphate effects, were analyzed. As a result of the research conducted in the context of the study, some decline was observed in the durability of heavy concrete with high compression durability against sulphate compression. Magnesium sulphate effect was concluded to have a more destructive

\* Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü,  
E-posta: [seref@tef.sdu.edu.tr](mailto:seref@tef.sdu.edu.tr)

\*\* Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü,  
E-posta: [cbasyigit@tef.sdu.edu.tr](mailto:cbasyigit@tef.sdu.edu.tr)

\*\*\* Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü,  
E-posta: [iuzun@tef.sdu.edu.tr](mailto:iuzun@tef.sdu.edu.tr)

property. Although, in terms of ratio, concrete with barite aggregate was affected most from sulphate effect, it remained as the concrete with the highest compression durability in terms of quantity.

**Keywords:** Heavy concrete, sulphate effect, durability.

## 1. GİRİŞ

Beton diğer yapı malzemelerine göre; daha kolay şekil verilebilir olması, ekonomik olması, dayanıklı olması, üretiminde daha az enerji tüketilmesi, her yerde üretilebilir olması ve estetik özellikleriyle en çok kullanılan yapı malzemesidir. Betonun dayanımı yüksek, dayanıklılığı yeterli ve fazla miktarda genişleme ve büzülme yapmayan özelliklere sahip olması gerekir. Durabilite, bir yapının içinde bulunduğu-bulunacağı çevre etkileri altında, servis ömrü boyunca, dayanım ve diğer işlevlerini koruyabilmesi özelliğidir. Yapay bir malzeme olan betonarmenin olumlu özelliklerini sürdürebilmesi kalıcı olmasına bağlıdır. Betondan beklenen üç önemli fonksiyon, işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılıktır. Bu şartları sağlayan betonun elde edilebilmesi, ancak çevre ve kullanım koşullarını da dikkate alan bir tasarım yaklaşımıyla, eksiksiz, doğru bir uygulama ile ve üretimin her aşamasının denetlenmesi ve kalite kontrolünün yapılması ile mümkündür (Taşdemir, 2005).

Yapının bozulmasına yol açan etmenler fiziksel, kimyasal ve mekanik kökenli olabilir. Mekanik yolla oluşan hasarlar arasında darbe, aşınma, erozyon ve oyulma etkileri sayılabilir. Kimyasal etkenler, dışarıdan beton içine sızan zararlı maddelerden kaynaklanabileceği gibi, beton bileşimini oluşturan malzemelerden de kaynaklanabilir. Bunlar arasında alkali-silika reaksiyonu, sülfat etkisi, karbonatlaşma, korozyon, bazı asit ve tuz etkileri sayılabilir. Bozulmanın fiziksel nedenleri ise; donma-çözülme, çözücü tuzlar, yüksek sıcaklıklar vb. etkilerdir. Betonun diğer kökenli iç ve dış etkenlerle bozulma sebepleri Şekil 1’de verilmiştir (Baradan ve Yazıcı, 2003).



Şekil 1. Betonun bozulma sebepleri

Beton; agrega, çimento hamuru ve agrega-çimento hamuru temas yüzeyinden oluşan bir malzeme olduğu için en zayıf halkasının ara yüzeyler olduğu ortaya çıkar. Beton teknolojisindeki gelişmenin anahtarı çimento hamuru ile agrega arasındaki ara yüzeylerin güçlendirilmesidir. Geçirimlilik ile betonun durabilitesi arasında sıkı bir ilişki vardır. Geçirimsiz ve boşluksuz bir beton üretimi ile donatı korozyonuna, asit, sülfat, don ve alkali reaktivitesine karşı gereken önlem alınmış olunur. Maksimum su /çimento oranı ile minimum çimento içeriğindeki sınırlamalar betonun dayanım ve dayanıklılığını önemli ölçüde etkiler. Bu iki sınırlamanın gerçekleşmesinde agreganın kaliteli ve boyut dağılımının uygun olması zorunludur. Genel olarak betonun çevresel etkilere diğer bir deyişle durabiliteye göre tasarımı bu iki parametreye göre yapılır. Betondaki maksimum su/çimento oranı ve minimum çimento dozajı gibi kısıtlamaların ne ölçüde gerçekleşebileceği doğrudan beton agregasının türüne,

granülometrisine ve standartların uygun olmasına bağlıdır. Su/çimento oranı olabildiğince düşük beton, geçirimsiz beton, kılcal boşlukları azaltılmış betondur (Erdoğan, 2003).

Yapının bozulmasına yol açan etmenler fiziksel, kimyasal ve mekanik kökenli olabilir. Kimyasal etkenler dışarıdan beton içine sızan zararlı maddelerden kaynaklanabileceği gibi, beton bileşimini oluşturan malzemelerden de kaynaklanabilir. Bunlar arasında alkali-silika reaksiyonu (ASR), sülfat etkisi, karbonatlaşma, korozyon, bazı asit ve tuz etkileri sayılabilir (Taşdemir, 2005).

Sudaki, zemindeki ve deniz suyundaki sülfat iyonları betonarme yapılarda bozulmaya yol açabilir. Sülfat saldırısının zararlı etkisi, sülfat iyonlarının sertleşmiş betondaki alüminli ( $C_3A$ ) ve kalsiyumlu ( $Ca(OH)_2$ ) bileşenlerle kimyasal reaksiyona girerek, hacmi çok artan etrenjit ve alçı oluşturmaktan kaynaklanmaktadır. Reaksiyon ürünleri, sertleşmiş betonda genleşme yaratarak agrega-çimento hamuru aderansının olumsuz yönde etkilenmesine, çatlak oluşumuna ve geçirimsizliğin artmasına yol açar. İleri derecedeki etkilenmelerde ise betonun tamamen dağılması söz konusudur. Sülfat saldırısı gibi dış kaynaklı iyon girişi sebebiyle oluşan kimyasal reaksiyonlarda çimentonun kimyasal bileşiminin kontrolü kadar, betonun geçirimsizliği de önem kazanmaktadır (ASTM C 1012, 1995; Baradan vd., 2002). Katı, kuru tuzlar betona zarar vermezler ancak su ile birlikte bulunmaları sonucu, sertleşmiş çimento harcıyla reaksiyona girerler. Bazı killer alkali magnezyum ve kalsiyum sülfat gibi kimyasal maddeler içerir, bunlar yeraltı suyuyla birleşince zararlı etki ortaya çıkar (Neville, 2004).

Akyüz, yaptığı çalışmada Anamur bölgesindeki barit agregalarını kullanarak farklı birim kütleye sahip ağır betonlar üretmiş, bu betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini inceleyerek,  $Co_{60}$  gama ışınına karşı betonların, beton yoğunluğu ile lineer zayıflatma katsayısı arasında ilişki kurmuştur (Akyüz, 1977). Kılınçarslan, çeşitli oranlarda barit kullanılarak değişik dayanım sınıflarında betonlar üretmiş ve bu ağır betonların radyasyon geçirgenlik katsayılarını istatistiksel analiz ile ortaya koymuştur (Kılınçarslan, 2004). Varshney, baritli betonun normal betondan çok önemli bir farkı olmadığını elastisite modülü ve poisson oranlarını karşılaştırmak suretiyle ortaya koymuş, ağır betonda büzülmenin geleneksel betona göre daha az olduğu sonucuna ulaşmıştır (Varshney, 1982). Miller, İngiltere’de ağır betonların bileşimleri, fiziksel ve mekanik özellikleri, üretimleri, taşıma ve yerleştirilmeleri ile ilgili çalışmalar yapmıştır (Miller, 1983). Chindaprasirt vd. tarafından yapılan çalışmada, F sınıfı uçucu kül kullanımının sülfat dayanıklılığını arttırdığı, uçucu kül inceliği arttıkça bu etkinin daha belirgin hale geldiği ve kaba uçucu kül kullanımı halinde ise genleşmelerin azalmadığı aksine arttığı ifade etmiştir (Chindaprasirt vd., 2004). Monteiro ve Kurtis tarafından yapılan çalışmada, betonun sülfat saldırısından zarar görmemesi için kritik bir bölgenin bulunduğu, çimentonun  $C_3A$  miktarının %8’den az, su/çimento oranının 0.45’in altında olması halinde 40 yıllık maruz kalma süresinde hasar oluşmadığı, çimento yerine %25 ve %45 uçucu kül kullanımının genleşmeleri azalttığı belirtilmektedir (Monteiro ve Kurtis, 2003). Yüksek fırın cürufu ve uçucu kül katkılı betonların sülfat dayanıklılığı Li ve Zhao tarafından incelenmiştir. Söz konusu çalışmada, en iyi performansı yüksek fırın cürufu kullanılan betonların gösterdiği ifade edilmiştir (Li ve Zhao, 2003). Oymael vd. üretiminde puzolanlı çimento kullanılan mikro betonların  $Na_2SO_4$  ile  $MgSO_4$  çözeltisinde bekletilmesi sonucu beton için  $MgSO_4$  çözeltisinin  $Na_2SO_4$  çözeltisinden daha zararlı olduğu görülmüştür, kullanılan çimentonun hidrasyon ürünlerindeki miktar ve özelliklerindeki farklılık sülfatlı ortamlardaki etkinin yön ve şiddetini değiştirdiğini belirtmişlerdir. (Oymael vd., 2003).

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmada; Isparta bölgesinin önemli agrega ihtiyacını karşılayan Isparta-Atabey kum çakıl ocağından temin edilen kalker kökenli agrega ve Ş.Karaağaç Maden İşletmelerinden temin

edilen barit olmak üzere iki tip malzeme kullanılmıştır. Barit ve Atabey agregası için yapılan yeterlilik deneyleri sonuçları Çizelge 4’de verilmiştir. Agregası karışım oranları % 40 kum (dane çapı 0-4 mm) ve % 60 çakıl (4-16 mm.) alınmış ve A<sub>16</sub>-B<sub>16</sub> bölgesi içinde kalacak şekilde ayarlanmıştır. Yüksek dayanımlı ve geçirimsiz beton elde etmek için karışımlarda ince malzeme yerine belli oranlarda uçucu kül ve silis dumanı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan C sınıfı uçucu kül Yatağan Termik Santralinden, Silis dumanı Antalya Etibank Elektrometalürji İşletmesi tesisleri’nden temin edilmiştir.

Karışım hesapları, üretilecek betonun kuru plastik kıvamda ve maksimum dane çapı 16 mm. olacak şekilde yapılmıştır. Bu çalışmada; agregadaki barit oranı beton mukavemetine etkisini araştırabilmek için, normal agregası yerine barit belli oranlarda ve belirli dane boyutlarında kullanılmıştır. Bu amaçla hesaplanan agregası miktarının tamamı normal agregası olmak üzere NB serisi kontrol betonları üretilmiştir. Agregası hacmi kadar aynı hacimde barit kullanılarak BB serisi betonlar üretilmiştir. Karışımdaki normal agregası hacminin, yarısı normal agregası ve yarısı da barit kullanılarak KB serisi betonlar üretilmiştir. Akışkanlaştırıcılık özelliği elde etmek ve dayanımı yüksek tutmak için su miktarının %3 ü oranında ASTM C 494 Tip F’ye uygun süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanılmıştır. Su / Çimento (S/Ç) oranı üretilecek betonların 28 günlük basınç dayanımı göz önüne alınarak seçilmiştir. Bu çalışmada C40 dayanımlı betonların üretilmesi hedeflenmiştir. Ön deneyler sonucunda çimentonun CEM I 42.5 R olmasına ve s/ç oranının 0.43 olmasına karar verilmiştir. TS 802 ’de belirtilen karışım suyu ve hava miktarları kullanılarak, 1 m<sup>3</sup> sıkıştırılmış betonda bulunacak beton bileşenlerinin miktarları Çizelge 1’ de verilmiştir.

Beton karışımında kullanılan çimento CEM I 42.5 R Göltaş Çimento fabrikasından alınmıştır. Çizelge 2.’ de çimento, barit, agregası, UK ve SD’ a ait kimyasal analiz sonuçları verilmiştir. Çimentoya ait fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 3.’de verilmiştir.

Çizelge 1. Karışıma giren beton bileşenleri (kg/m<sup>3</sup>.)

Beton	Su	Kimyasal Katkı	Çimento	UK	SD	S/B	İnce Agregası	Kaba Agregası	İnce Barit	Kaba Barit
NB	170	5	245	70	35	0.50	725	1150		
BB							-	-	1160	1720
KB							363	575	580	860

Çizelge 2. Çimento, Agregası, Barit, Uçucu Kül ve Silis Dumanının kimyasal analiz % değerleri

Bileşenler %	Çimento	Agregası	Barit	UK	SD
CaO	61	45.2	0.84	28.22	0.48
MgO	3	13.8	0.50	1.75	0.72
K <sub>2</sub> O	0.1	0.8	0.01	1.05	2.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.28	3.8	0.02	5.25	1.6
SiO <sub>2</sub>	22.5	8.87	2.05	39.61	71.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7	6.56	1.08	16.15	13.5
SO <sub>3</sub>	0.95	2.62	0.01	4.44	1.58
BaSO <sub>4</sub>			92.2		
Kız. Kaybı	1.75	2.5	1.69	0.85	2.7

Çizelge3. CEM I 42.5 R Çimentosuna ait bazı fiziksel ve mekanik dayanım değerleri

İncelik 90 µ	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Eğilme Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)
0.1	2919	3.12	7.88	55.8

Çizelge 4. Agrega ve baritin fiziksel ve mekanik deney değerleri

	Deney		Barit	Normal Agrega	İlgili Türk Standartı	
Fiziksel Özellikler	Özgül Ağırlık	4 mm üst	4	2.66	TS 707	
		4 mm alt	4	2.50		
	Su emme %	4 mm üst	0.24	1.20	TS 3526	
		4 mm alt	1.00	5.02		
	Birim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	4 mm üst	Sıkı	2.85	1.77	TS 3529
			Gevşek	2.19	1.47	
		4 mm alt	Sıkı	2.85	1.75	
			Gevşek	2.53	1.48	
	İncelik Modülü (I)			4.31	3.69	TS 706
	İnce madde oranı %			0.5	3.46	TS 3527
Mekanik Özellikler	Basınç Dayanımı (Küp ve yüzeyi 50 cm <sup>2</sup> ) MPa		26.25	57.45	TS 699	
	Aşınma Kaybı (100 devir) %		59	26	TS 3694	
	Aşınma Kaybı (500 devir) %		99	48	TS 3694	
	Donmaya Karşı Dayanıklılığı (Kimyasal Metot – NaSO <sub>4</sub> )		2.81	4.83	TS 3655	

Deneylerde kullanılan beton numuneleri özellikleri ve kod adları Çizelge 5. de verilmiştir.

Çizelge 5. Beton Numunelerin Kodları

Kod	Seri	Bileşeni	Özelliği
1	NB	Normal Beton	Su içinde saklanmış
2	KB	Agregasının yarısı normal yarısı baritli beton	Su içinde saklanmış
3	BB	Agrega yerine barit kullanılmış beton	Su içinde saklanmış
4	NB	Normal Beton	Sodyum sülfat çözeltisinde saklanmış
5	KB	Agregasının yarısı normal yarısı baritli beton	Sodyum sülfat çözeltisinde saklanmış
6	BB	Agrega yerine barit kullanılmış beton	Sodyum sülfat çözeltisinde saklanmış
7	NB	Normal Beton	Magnezyum sülfat çözeltisinde saklanmış
8	KB	Agregasının yarısı normal yarısı baritli beton	Magnezyum sülfat çözeltisinde saklanmış
9	BB	Agrega yerine barit kullanılmış beton	Magnezyum sülfat çözeltisinde saklanmış

Çeşitli deneylerde kullanılmak üzere; her seri beton için 150mm\*300 mm. standart silindir numune ve 100 mm. kübik numune üretilmiştir. Beton karışımlarının üretimi 60 dm<sup>3</sup> kapasiteli yatay zorlamalı betonyerde yapılmıştır. Karışım hesabı C 40 betonu hedeflenerek yapılmıştır. Bu karışımlara göre betonlar üretilmiştir. Çeşitli deneylerde kullanılmak üzere; her iki seri beton için 12 adet 150 x 300 mm. standart silindir, 5 adet 150 mm. kübik numune

üretilmiştir. Numuneler deneylerin yapılacağı güne kadar bağıl nemi % 65 olan ve sıcaklığı 22 °C olan kür odasında saklanmıştır. Taze beton birim hacim ağırlık deneyleri TS 2941'e uygun olarak yapılmıştır. Sülfat etkisindeki betonların, basınç dayanım özelliklerini incelemek için üretilen 10 cm. küp betonlar, üretildikten 330 gün sonra Çizelge 5'de belirtilen %5 sodyum ve magnezyum sülfat çözeltilerinde, bir kısmı ise su içinde 30 gün süre ile saklanmışlardır. Bu sürenin (üretimden 360 gün sonra) sonunda numuneler yıkandıktan ve kurutulduktan sonra basınç dayanım değerleri deney ile elde edilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 8'de verilmiştir.

Deneylerde kullanılan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve MgSO<sub>4</sub> çözeltilerinin kütlece kimyasal birleşimleri Çizelge 6'da verilmektedir. Çözeltilerdeki sülfat iyonları 33.800 mg/l olup pH değerleri ise 6-8 arasındadır [13, 14 ve 15]. ASTM C 1012'ye uygun olarak çözeltilerde 1 ml/cm<sup>3</sup> sülfat kullanılmıştır. Çözelti havuzu, buharlaşmanın önlenmesi için, cam levha ile kapatılmış, kristalleşmenin meydana gelmemesi için de belirli aralıklarla karıştırılmıştır.

Çizelge 6. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve MgSO<sub>4</sub> çözeltilerinin kimyasal birleşimleri (kütlece %)

	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 7 H <sub>2</sub> O	MgSO <sub>4</sub> 7 H <sub>2</sub> O
NaOH	-	< 0.008
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	< 0.01
Cl	< 0.002	< 0.014
Pb	< 0.001	< 0.0005
As	< 0.0002	< 0.0002
Ca	< 0.005	< 0.01
Fe	< 0.001	< 0.001
Se	-	< 0.001

### 3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

#### 3.1 Beton Özellikleri

Üretilen her seri 100 mm. lik beş adet sertleşmiş kübik numuneler üzerinde yapılan fiziksel özellikler ve 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanım değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 7. de verilmiştir.

Çizelge 7. Betonlara ait fiziksel ve basınç dayanım değerleri

Beton Tipi	Birim ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Görünen Özgül Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Su emme oranı (%)	7 günlük basınç dayanım (MPa)	28 günlük			90 günlük basınç dayanım (MPa)
					Schmidt sertliği	Basınç dayanım (MPa)	Ultrases hızı (m/sn)	
NB	2480	2510	1.89	33.3	37.3	46.2	3550	55.8
KB	2835	3020	1.76	31.86	37.1	45.7	3520	55.2
BB	3570	3626	1.27	37.29	41.1	53.1	4070	62.6

Çizelge 7 incelendiği zaman en yüksek dayanımlı betonun BB olduğu ve 28 günlük basınç dayanımının 53.1 MPa olduğu görülmektedir. Çalışmamızda amacımız yüksek dayanımlı ağır beton elde etmek olduğu için ve BB serisinin gerek basınç dayanımı gerekse birim ağırlık olarak bu şartı sağladığı görülmektedir. BB serisi betonun oldukça yüksek dayanımlı olması karışıma giren malzemelerin bu yönde seçilmesinden ve çalışma amacının bu doğrultuda olmasından kaynaklanmaktadır. NB serisi kontrol betonu ve KB serisi kontrol serisi olarak ele

alınmış ve sonuçların karşılaştırma yapılması için NB ve KB serisi betonlara ihtiyaç duyulmuştur. Çizelge 7’de ki diğer fiziksel ve mekanik deney değerleri arasında bir beklenen paralellik görülmektedir.

### 3.2. Sülfat Etkisi Altındaki Betonun Mekanik Özelliklerindeki Değişimler

Üretilen her seri 100 mm. lik küp beton numunelerden üç tanesi üretildikten 330 gün sonra Çizelge 6’da belirtilen %5 sodyum ve magnezyum sülfat çözeltilerinde, her seriden üç tanesi ise su içinde 30 gün süre ile saklanmışlardır. Üretimden 360 gün, su ve sülfat çözeltilerinde 30 gün bekletilen sonra numuneler yıkandıktan ve kurutulduktan sonra basınç dayanım değerleri deney ile elde edilmiştir. Ortalama basınç dayanım deney değerleri Çizelge 8.’de verilmiştir.

Çizelge 8. Sülfat etkisindeki Betonlara ait basınç dayanım değerleri

Beton Tipi	28 günlük basınç dayanım (MPa)	360 günlük				
		Su İçinde (MPa)	MgSO <sub>4</sub> Etkisinde (MPa)	Değişim %	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Etkisinde (MPa)	Değişim %
NB	46.2	60.3	48.7	19.23	50.8	15.75
KB	45.7	59.1	45.3	23.35	49.4	16.41
BB	53.1	66.1	49.2	25.56	53.2	19.51

Çizelge 8’de 360 günlük betonların su içinde, magnezyum sülfat ve sodyum sülfat çözeltilerinde saklanan numunelerin basınç dayanım değerleri verilmiştir. Betonların dayanımı için 28, 90 ve 360 günlük basınç dayanımları önemli ve kritik sayılan değerleridir. Basınç dayanım karşılaştırılması yapmak için bu dayanım değerlerine ihtiyaç vardır. Çalışmamızda daha önceden 28 günlük basınç dayanımları belli serilerdeki betonların 360 günlük dayanım değer karşılaştırması yapabilmek için bir grup seri su içinde 360 gün bekletilmiş diğer betonların sülfat etkisi ortaya koyabilmek için bir ay sülfat çözeltilerinde bekletilmiştir. NB serisi beton normal olarak 60.3 MPa olması beklenirken magnezyum sülfat etkisinde dayanımı %19 azalarak 48.7 MPa olarak elde edilmiştir. Beton serilerinde magnezyum sülfat etkisi sodyum sülfata göre daha fazla basınç dayanımını etkilemiş ve betonu tahrip etmiştir. Beton serileri içinde en çok etkilenen BB serisi beton olmuş magnezyum sülfat çözeltilerinde %25.56, sodyum sülfat çözeltilerinde %19,51 oranında basınç dayanımı değerinde azalma gözlenmiştir. Ancak üç seri beton içinde yine en yüksek basınç dayanımı BB serisinde elde edilmiştir.

### 3.3. Sülfat Etkisi Altında Betonların Kimyasal Analizleri

Üretilen 100 mm. beton numunelerinden sodyum, magnezyum sülfat çözeltilerinde ve su içinde 30 gün süre ile saklanan numuneler yıkandıktan, kurutulduktan ve toz haline getirildikten sonra SDÜ Jeotermal Yeraltı Su Kaynakları Araştırma Laboratuvarında kimyasal analizleri yaptırılmış bileşenler yüzde cinsinden Çizelge 9’da verilmiştir.

Çizelge 9. Sülfat etkisinde saklanan beton numunelerin kimyasal analizleri

Sıra no	CaO (%)	MgO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	BaSO <sub>4</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Ateş kaybı (%)
1	35.17	14.40	0.51	4.51	0.70	0.54	0.80	0.05	41.66
2	19.53	5.17	0.67	6.27	1.39	0.55	27.16	0.05	21.11
3	5.59	0.26	0.61	4.00	1.10	0.53	30.05	0.05	4.71

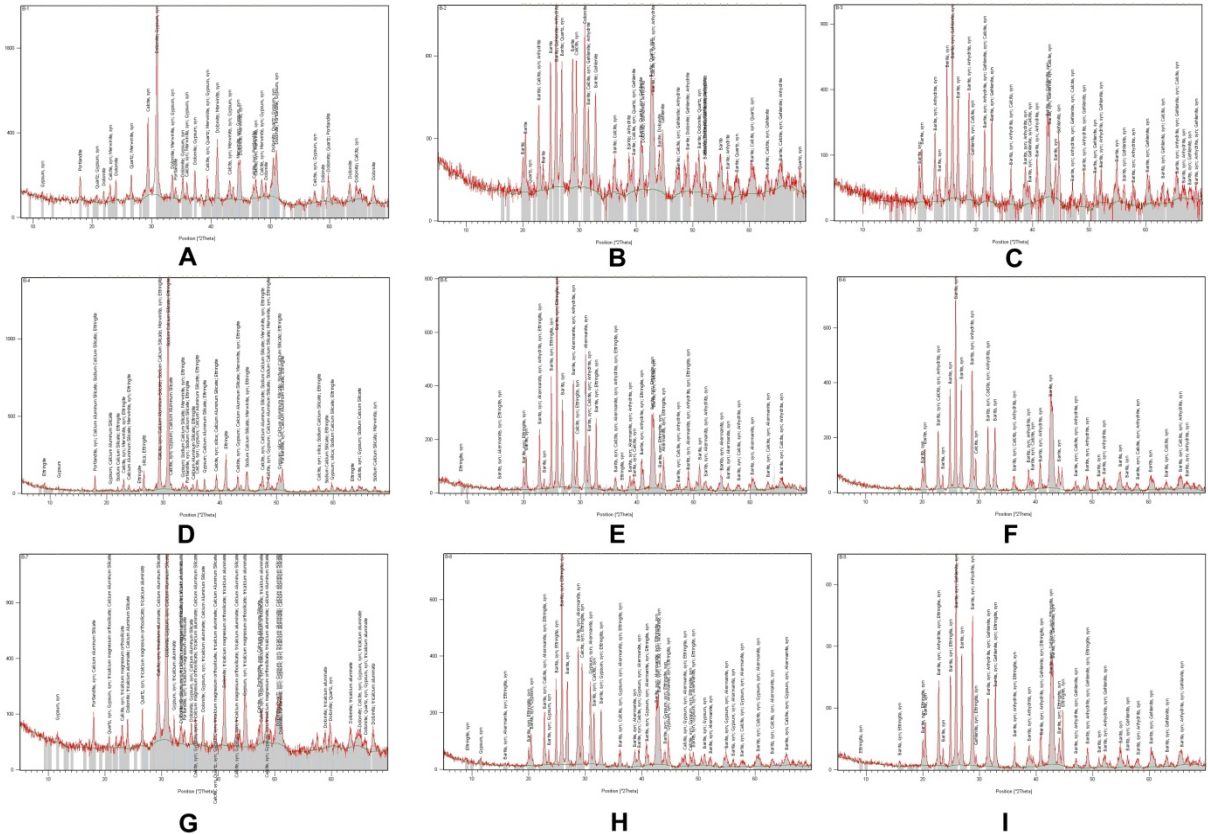
4	39.81	11.25	0.72	5.42	1.01	0.75	0.80	0.05	39.68
5	17.51	5.36	0.76	5.57	1.47	0.76	27.43	0.05	19.21
6	10.19	0.29	0.95	2.03	1.11	0.65	30.40	0.05	6.98
7	40.38	12.85	0.76	4.15	0.93	0.55	0.34	0.05	40.66
8	23.03	4.29	0.87	7.00	1.40	0.63	22.09	0.06	21.31
9	6.73	0.61	1.66	2.07	0.95	0.56	32.32	0.05	4.40

### 3.4. Sülfat Etkisi Altında Betonların Mineralojik Analizi

Üretilen 100 mm. lik küp beton numunelerinden sodyum, magnezyum sülfat çözeltilerinde ve su içinde 30 gün süre ile saklanan numuneler yıkandıktan, kurutulduktan ve toz haline getirildikten sonra SDÜ Jeotermal Yeraltı Su Kaynakları Araştırma Laboratuvarında Mineralojik analizleri yaptırılmıştır. Numunelerin mineralojik analizleri XRD toz difraksiyon yöntemiyle yapılmıştır. Elde edilen veriler Şekil 2’de verilmiştir.

Çizelge 10. Beton numunelerin XRD analiz kodları

A	360 gün su içinde kür edilen NB serisi betonun XRD analizi	F	30 gün NaSO <sub>4</sub> çözeltisinde saklanan BB serisi betonun XRD analizi
B	360 gün su içinde kür edilen KB serisi betonun XRD analizi	G	30 gün MgSO <sub>4</sub> çözeltisinde saklanan NB serisi betonun XRD analizi
C	360 gün su içinde kür edilen BB serisi betonun XRD analizi	H	30 gün MgSO <sub>4</sub> çözeltisinde saklanan KB serisi betonun XRD analizi
D	30 gün NaSO <sub>4</sub> çözeltisinde saklanan NB serisi betonun XRD analizi	I	30 gün MgSO <sub>4</sub> çözeltisinde saklanan BB serisi betonun XRD analizi
E	30 gün NaSO <sub>4</sub> çözeltisinde saklanan KB serisi betonun XRD analizi		



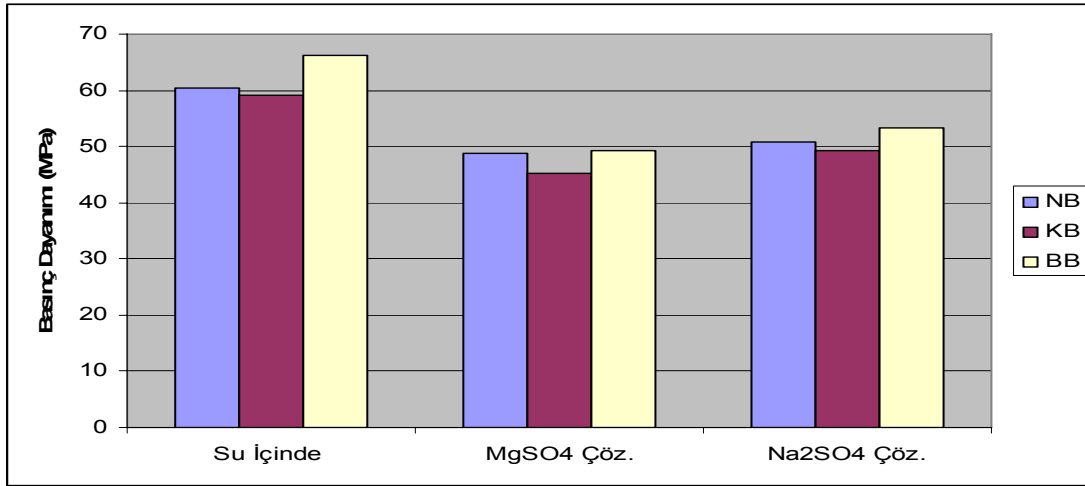


Şekil 2. Beton numunelerin XRD analizleri

#### 4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Üç seri beton içerisinde en yüksek basınç dayanımına sahip beton agregasının tamamı barit olan BB serisi beton olmuştur. Bu baritin dayanımının zayıf olması göz önüne alındığında çelişkili bir durum olarak görülebilir. Daha önceki çalışmalarda barit agregası ile dayanımı yüksek betonlar elde edildiği görülmektedir. Bu çalışmada yüksek dayanımlı barit agregalı beton elde edilmesi önceki çalışmaların sonucudur. Yüksek dayanımlı beton elde etmek için beton bileşenleri farklı seçilmiş ve dayanımı artırıcı ek katkıları kullanılmış, bileşim oranları bu yönde modifiye edilmiştir. Bunun sonucu olarak 53,1 MPa dayanıma sahip barit agregalı beton elde edilmiştir. NB ve KB serisi beton dayanım değerleri birbirine çok yakın çıkmış NB serisi beton için 46,2 KB serisi beton için de 45,7 MPa değerleri elde edilmiştir. Betonların 7, 28, 90 ve 360 günlük basınç dayanımlarında standartlara uygun dayanım artışı görülmüş ve BB serisi beton en yüksek dayanıma sahip olma özelliğini korumuştur. BB serisi betonun birim ağırlığı  $3570 \text{ kg/m}^3$  elde edilmiştir. Bu değer ağır betonlar için yüksek bir değerdir. BB serisi beton hem yüksek dayanımlı hem de yüksek birim ağırlılığa sahip olması açısından çalışmanın amacına ulaşıldığını gösterir.

Sülfat etkisinde 1 ay bekletilen betonların basınç dayanım değerlerinde düşme görülmüştür.



Şekil 3 Sülfat çözeltisinde beton serilerinin basınç dayanımları

Şekil 3'de görüldüğü gibi su içinde, magnezyum ve sodyum sülfat çözeltisinde bekletilen beton serilerinde en yüksek basınç dayanımına sahip beton serisi BB serisi betondur. Ancak Çizelge 8. de görüldüğü gibi basınç dayanım değerinde yüzdesel değişim olarak en çok yine BB serisi beton değerinde olduğu görülmektedir. Her üç seri beton da magnezyum sülfat çözeltisinde en az basınç dayanım değerini aldığı ve en çok magnezyum sülfat çözeltisinden etkilendikleri görülmektedir.

Şekil 2'de verilen XRD analizleri incelendiğinde; sülfat etkisi altında betonların mineralojik analizleri incelendiği zaman NB serisi betonda sodyum sülfat etkisi ile çok sayıda etrenjit ve C-S-H oluştuğu, KB serisi betonda sodyum ve magnezyum sülfat çözeltisinde gips, etrenjite oluştuğu, BB serisi betonda magnezyum sülfat çözeltisinde etrenjite oluştuğu görülmektedir. Beton numuneler gerek fiziksel gerek kimyasal olarak incelendiği zaman; yüzeye paralel çatlaklar, Jips, etrenjit, C-S-H oluştuğu gözlenmiştir. Buna göre dış kaynaklı sülfat etkisi baskındır. İç kaynaklı sülfat etkisi kendisini kimyasal reaksiyon olarak gösterir. Dış kaynaklı sülfat etkisi, dışarıdan betonun içerisine giren sülfat iyonları kimyasal bozulma

mekanizmalarıdır. Çalışmada kullanılan uçucu kül ve silis dumanı betonların sülfat direncini artırmış ve sülfat etkisinin kimyasal reaksiyon sonucu betonlara zarar vermesini önlemiştir. BaSO<sub>4</sub> varlığı sülfat etkisinin kimyasal reaksiyona sebep olduğu gözlenmemiştir. Çalışmada kullanılan tek tip çimento (OPC) harçlar arasındaki yüksek genleşme, gözle görülür çatlaklar ve dayanım kaybından dolayı, OPC'nin sülfatlı ortamlar için uygun olmadığı görülmüştür. Betonların sülfata karşı direncini kıran ana etken kullanılan çimento tipidir. Yüksek mukavemet elde etmek için kullanılan OPC tipi betonların sülfata dayanıklılığını azaltmıştır. Bu yüzden sülfata dayanımlı çimento kullanımı betonun sülfata karşı dayanımını artıracak ancak bunun yanında basınç dayanımında düşmeler görülebilecektir.

- NB ve KB serisinin beton dayanım değerleri birbirine çok yakındır.
- BB serisi 7, 28, 90 ve 360 günlük basınç dayanımlarının standartlara uygun artış göstermesi sonucunda betonda en yüksek dayanıma sahip olma özelliğini korumuştur.
- BB serisi hem yüksek dayanımlı hem de yüksek birim ağırlılığa sahip betonlar olmuştur.
- Bir ay süreyle sülfata maruz bırakılan betonların basınç dayanım değerleri düşmüştür.
- BB serisi diğer beton serileri içinde su, magnezyum ve sodyum sülfat çözeltilerinde de en yüksek basınç dayanıma sahip beton serisi olmuştur.
- Kullanılan çözeltiler içinden betonu en çok etkileyen çözelti magnezyum sülfat çözeltisi olmuştur.
- NB serisi betonda sodyum sülfat etkisi ile çok sayıda etrenjit ve C-S-H oluşmuştur.
- KB serisi betonda sodyum ve magnezyum sülfat çözeltilerinde gips ve etrenjite oluşmuştur.
- BB serisi betonda magnezyum sülfat çözeltilerinde etrenjite oluşmuştur.
- Betonların sülfata karşı direncini kıran ana etken kullanılan çimento tipidir ve OPC çimentoları sülfatlı ortamlar için uygun değildir. Çalışmalar OPC yerine sülfata dayanımlı çimentolar ile tekrarlanmalı ve OPC ile elde edilen değerler ile karşılaştırılmalıdır.

## **5. TEŞEKKÜR**

Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 06 M 1242 nolu proje ile çalışma imkânlarının oluşmasını sağlayan Süleyman Demirel Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

## **6. KAYNAKLAR**

ACI 201.2R-77, 1986. Guide to Durable Concrete, Chapter 3, Abrasion. ACI Manual of Concrete Practice, Part I, Detroit.

Akkurt, İ., Başıyigit, C., Kılınçarslan, Ş. and Mavi, B. 2005. The Shielding of Gamma Rays by Concretes Produced with Barite. Progress in Nuclear Energy, 46, 1–11.

Akkurt, İ., Başıyigit, C., Kılınçarslan, Ş., Mavi B., Akkurt, A. 2006. Radiation Shielding of Concretes Containing Different Aggregates. Cement and Concrete Composites, 28, 153–157.

- Aköz, F., ve Biricik, H., 2000. Sodyum sülfat çözeltisinin buğday sapı külü katkılı ve katkısız harçlara etkileri, Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, 5(26), Ankara.
- Aköz, F., Yüzer, N., Koral, S., 1996. Silis dumanı katkılı ve katkısız harçlara sodyum klorür ve magnezyum klorürün etkileri, 4.Ulusal Beton Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Akyüz, S., 1977. Gamma Işınlardan Korunmada Barit Agregalı Ağır Beton, İTÜ Dergisi, Cilt 35, Yıl35, Sayı 5, Sayfa 59-69, İstanbul.
- ASTM C-1012. 1987. Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to Sulphate Solution.
- Atahan, H.N., Pekmezci, B.Y., Uyan, M., ve Yıldırım, H.,200. Sülfatların portland çimentolu ve sülfata dayanıklı çimentolu betonların durabilitesine etkisi, 5.Ulusal Beton Kongresi, Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), İstanbul.
- Baradan, B., Yazıcı, B. “Betonarme Yapılarda Durabilite ve TS EN 206-1 Standardının Getirdiği Yenilikler” Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 4/ 426, 2003.
- Bellport, B.P., 1968. Combating sulfate attack on concrete on bureau of reclamation projects, Performance of Concrete: Resistance of Concrete to Sulphate and other Environmental Conditions, ed. E.G. Swenson, University of Toronto Pres, Canada, pp.77-92.
- Chindaprasirt P., Homwuttiwong S., Sirivivatnanon V. (2004): “Influence of Fly Ash Fineness on Strength, Drying Shrinkage and Sulfate Resistance of Blended Cement Mortar”, Cement and Concrete Research, Vol. 34, s. 1087-1092.
- Erdoğan, T.Y., 2003. Beton. METU Press, 738 s. Ankara.
- Gürsoy, Y., (1997) Doğu Karadeniz Bölgesi doğal ağır agregalarından biriyle üretilen ağır betonun geleneksel bir betonla karşılaştırmalı olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 136 sayfa.
- Kasap, Ö., Şahmaran, M., Duru, K., Yaman, İ.Ö. 2007. Katkılı Çimento Hamur, Harç ve Betonların Sülfat Direnci. Çimento ve Beton Dünyası, V. 12, Sayı 69, s. 53–63.
- Kılınç, K., ve Uyan, M., 2003. Beton karışım suyundaki sülfat tuzlarının çimento harcı özelliklerine etkisi, 5.Ulusal Beton Kongresi, Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), İstanbul.
- Kılınçarslan, Ş., 2004. “Barit agregalı ağır betonların radyasyon zırlamasındaki özellikleri ve optimal karışımlarının araştırılması” SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Müh. ABD Doktora Tezi, 128 s. Isparta.
- Kılınçarslan, Ş., Akkurt, İ., Başyigit, C. 2006. The Effect of Barite Rate on some Physical and Mechanical Properties of Concretes. Materials Science and Engineering A, 424, 83–86.
- Lee, S.T., Moon, H.Y., Swamy, R.N., Kim, S.S., and Kim, J.P., 2005. Sulphate Attact of Mortars Containing Recycled Fine Aggregates. ACI Materials journal, July–August. Vol:102, No:4, pp: 224-230.
- Mather, K., 1965. Heavyweight Concrete for Radiation Shielding, Journal of ACI. Proc., 62, 951-962.
- Mehta P.K., 1990. Concrete, Structure, Properties and Materials. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Meyer, B., 1989. Heavyweight Concrete. A Structural Engineering Contrubition Towards Radiation Protection Almost Playful Dealings with Concrete Technology, Cement-Bulletin, V.57-23, pp. 1-12.

- Monteiro P.J.M., Kurtis K.E. (2003) Time to Failure for Concrete Exposed to Severe Sulfate Attack, Cement and Concrete Research, Vol. 33, p. 987-993
- Neville, A. 2004. The confused world of sulfate attack on concrete. Cement and Concrete Research, 34 (8), 1275-1296.
- Neville.A.M., Brooks, J.J. "Concrete Technology" Longman Scientific and Technical, p.285.,1987.
- Oymael, S., Şen L., Durmuş, A., 2007. Üretiminde Puzolanlı Çimento Kullanılan Mikrobetonlarda Sülfatlara Dayanıklılık. New World Science Academy, Vol:2, N:3, pp:182-192.
- Skalny, J., Marchand, J., Odler, I. 2002. Sulfate Attack on Concrete. Modern Concrete Technology Services, Spon Pres, 217 pp. London and New York.
- Taşdemir, M.A. 2005. Betonun Dayanım ve Dürabiliteye göre Tasarım ve Üretimi. İMO İstanbul Şubesi, Beton Kurs Notları, 15 s.
- Tobin, R . Hall, D. ve Artuso, J., 1975. High-Density Concrete. Measuring, Mixing, Transporting and Placing., AC1 304 Current-Practise-Sheets, 8, 407-414.
- Topçu, İ.B., 2001. Properties of Heavyweight Concrete Produced With Barite. Cement and Concrete Research, 33,815-822.
- Uyan, M., Taşdemir, M. A., Özkul, H., "Esenboğā Havalimanı II. Pist İnşaatı Kargo Apronu Betonlardaki Soyulmaların İncelenmesi Hakkında Rapor", İTÜ İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemesi Anabilim Dalı, İstanbul, 1991.
- Varshney, R.S., 1982. Concrete Technology, Second Edition, Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi.