

Farklı Karışım Özelliklerine Sahip Betonların Sülfat Dirençlerinin Belirlenmesi

Osman Akçay^{1*} , Mustafa Çullu² 

¹ Yıldız Bakır Madencilik Sanayi A.Ş., Gümüşhane, Türkiye

² Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye

*osmanakcayins@gmail.com

Özet

Betonun durabilitesi, kalitesine bağlı olup, performansta ise bileşen malzemeler, karışım oranları, üretim yöntemi, betonun bakım ve kuru gibi süreçler ile çevre koşulları da etkili olmaktadır. Bu çalışmanın amacı, farklı dayanım sınıflarında hazırlanan beton örneklerin, kontrollü olarak karışım suyundaki azalma ve artmanın betonun sülfat direncindeki değişimi belirlemektir. Bu amaçla C20/25, C30/37 ve C40/50 dayanım sınıflarında hazırlanan beton karışım tasarımlarındaki karışım suyu oranları kontrollü olarak %10, %20, %40, %70 ve %100 oranında artırılıp %10 ve %20 oranında azaltılmıştır. Beton örneklerin sülfat direncini belirlemek amacıyla, beton örnekler ıslanma kuruma çevrimine maruz bırakılmıştır. 105°C' de 2 gün bekletildikten sonra Na₂SO₄ içeriği %5 olan solüsyon içerisinde 2 gün bekletilmiş ve çevrim tamamlanmıştır. ıslanma kuruma çevrimi tamamlandıktan sonra beton örneklerdeki kütle kayıpları belirlenmiştir. Sonuç olarak, dayanım sınıfı ve karışım hesabında belirlenen karışım su miktarının azaltılması veya artırılması betonun sülfat direncini önemli ölçüde etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Betonun Durabilitesi, Karışım Suyu, S/Ç Oranı, Sülfat Direnci

Determination of Sulphate Resistance of Concretes with Different Mixing

Abstract

The durability of concrete depends on its quality, and on the performance, component materials, mixing ratios, production method, processes such as the maintenance and curing of the concrete and environmental conditions are also effective. The aim of this study is to determine the change in the sulfate resistance of concrete with the controlled decrease and increase in mixing water of concrete samples prepared in different strength classes. For this purpose, mixing water ratios in concrete mixture designs prepared in strength classes C20/25, C30/37 and C40/50 were increased by 10%, 20%, 40%, 70% and 100% in a controlled manner and decreased by 10% and 20%. In order to determine the sulfate resistance of the concrete samples, the concrete samples were exposed to the wetting-drying cycle. After being kept at 105°C for 2 days, it was kept in a solution with 5% Na₂SO₄ content for 2 days and the cycle was completed. In this way, a wetting-drying cycle was performed. After the wetting-drying cycle was completed, the mass losses in the concrete samples were determined. As a result, reducing or increasing the amount of mixing water determined in the strength class and mixture calculation significantly affects the sulfate resistance of the concrete.

Keywords: Durability of Concrete, Mixing Water, W/C Ratio, Sulfate Resistance

1. GİRİŞ

Beton, çimento, su ve agrega maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşıp sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir.

Bir yapının ve o yapıyı oluşturan malzemelerin yapı hizmet süresi boyunca görevlerini bozulmadan yerine getirmesine durabilite denir. Bundan ötürü bir yapı hakkında sağlam ve güvenilir kelimelerinin kullanılabilmesi projelendirme ve imalat sırasında doğru malzeme seçimine bağlıdır. Malzemenin iyi kullanımı ve yapıya etki edebilecek çevresel faktörlerin önceden belirlenerek alınacak tedbirlerle birlikte yapının hizmet süresi boyunca minimum bakım gerektirecek şekilde kaliteli imal edilmesi istenmektedir. Eğer ki yapı bu şekilde inşa edilirse durabilitesi yüksek, istenildiği gibi hizmet süresi uzun, sağlam ve güvenilir bir yapı meydana getirilir.

Betonarme yapıların uzun süreli dayanıklılığını olumsuz etkileyen en önemli çevresel etkilerden biri sülfat etkisidir. Sülfat etkisi betonda genişlemeye, dayanımın zaman içinde giderek düşmesine ve kütle kaybına neden olmaktadır. Bu da temel, köprü ayağı, beton borular gibi mühendislik yapılarına zarar vermektedir [1]. Sülfatın betona etkisi, hidrate Portland çimentosu ile sülfat iyonları arasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar yoluyla olur [2, 3, 4].

Çimentodan kalsiyum alüminat hidrat ve kalsiyum hidroksit ile sülfat iyonları arasındaki tepkime sonucunda betonda genişleme yaratan ürünler meydana gelmesi olayına sülfat etkisi denir. Bu ürünler etrenjit ve jips olup, betonda genişleme, çatlak oluşumu yüzeyin pul pul dökülmesi şeklinde hasara dolayısıyla dayanım kaybına sebep olmaktadır. Genleşme oluşmasının dışında da sülfat etkisi betonda dayanım kaybına neden olmaktadır. Bu nedenlerden bir tanesi de sülfat etkisiyle hidrate portland çimentosunun başlıca fazlarından olan kalsiyum hidroksit ve kalsiyum silikat hidratının bozulması da yapıdaki adezyon kuvvetlerinin zayıflamasına ve bunun sonucunda da dayanım kaybına neden olmaktadır. Çimentonun, sülfata karşı göstereceği performansı etkileyen en önemli bileşenler yapısında bulunan C_3A ve C_4AF bileşenleridir. Çünkü sülfat hücumu sonunda meydana gelen ve sertleşmiş çimento ve betonun yapısında genişlemelere sebep olan etrenjit ve monosülfoalüminatların oluşumunda bu ana bileşenler doğrudan rol oynamaktadır. Çimentonun yapısında bulunan C_3A miktarı, beton taze haldeyken meydana gelecek monosülfoalüminat miktarını belirlemekte, monosülfoalüminatlar ise sertleşmiş betonda zararlı genişlemelere sebep olan etrenjit oluşumuna sebep olmaktadır.

Yapılan araştırmalar çimento kimyasalının betonda sülfat hücumunu önleyici tek faktör olmadığını göstermektedir. Çimentoda bulunan düşük miktardaki C_3A bileşeninin yanı sıra üretilen betonun geçirimsizliğinin düşük olması, sülfat hücumunu engelleyici ve azaltıcı faktörler arasında sayılmaktadır. Bilindiği gibi toprakta ve yeraltı sularındaki sülfatlar, betonun içerisine sızan sularla birlikte girebilmektedir. Bu nedenle betonun geçirimsizliğinin az olması betona girecek sülfat miktarının azalmasını sağlayacaktır. Sülfat hücumu sonucu oluşabilecek hasarları önleme yollarından bir diğeri ise beton üretiminde mineral katkıların kullanılmasıdır. Mineral katkılar, özelliklerine göre betonu sülfat hücumuna karşı daha dayanıklı hale getirebilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda mineral katkı kullanımının çimentonun sülfata karşı direncini arttırmada etkili olduğu bildirilmektedir [5].

Sülfat iyonlarının kalsiyum hidroksit ile reaksiyonlarından sonra oluşan alçıtaşının yanı sıra katyon tipine bağlı olarak $Mg(OH)_2$, $NaOH$ gibi hidroksitler oluşmaktadır. Bunların ortamda bulunması etrenjit oluşumunu ve sülfatın etki mekanizmasını ciddi şekilde etkiler. Örneğin, çok düşük çözünürlük değerine sahip olan magnezyum hidroksit ortamın pH değerini 10.5 mertebelerine düşürebilmektedir ve C-S-H jeli ile etrenjitin stabilitesini bozabilmektedir [2; 6].

$Ca(OH)_2$ ile tepkimeye giren zararlı kimyasallar su içerisinde çözünen tuzlar oluşturmaktadırlar. Bu tuzların betondan yıkanması geçirimsizliği artırarak zararlı kimyasalların beton içerisine girişine hız kazandırmaktadır. Sülfatlarda bu tip tepkimelere girdiğinde betonda genişlemelere ve çatlaklara sebep olan etrenjit üretmektedirler [7].

Freeman ve Carrasquillo, uçucu külü betona döküm esnasında karıştırmak yerine uçucu küllü çimento kullanımının sülfat direnci açısından daha faydalı olduğunu belirtmişlerdir [8].

Sülfatın betonda oluşturduğu hasarlar ve bunları en asgari düzeye indirme konusu uzun yıllardan beri araştırmacıların ilgisini çekmiş ve bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmıştır [9]. Özellikle, silis dumani, uçucu kül, cüruf gibi mineral katkı maddeleri ve çeşitli kimyasal katkıları kullanılarak betonun sülfat direncinin artırılması yönündeki çalışmalar yaygındır [10; 11; 12; 13; 14; 15].

Betonda yüksek miktarda kalsiyum oksit (CaO) ve amorf kalsiyum alüminat içeren uçucu küllerin kullanılması durumunda betonun sülfat direncinin azaldığı, düşük miktarda kalsiyum içeren uçucu küllerin kullanımının ise betonun sülfat dayanımını arttırdığı yapılan deneyler sonucunda ortaya çıkmıştır [16].

Bu çalışmanın amacı, farklı dayanım sınıflarında hazırlanan beton örneklerin, beton üretimi esnasında kontrollü olarak karışım suyundaki azalma ve artmanın betonun sülfat direncindeki değişimi belirlemektir.

2. MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışmada beton üretiminde kireçtaşı agregası, çimento ve Gümüşhane şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

2.1. Materyal

2.1.1. Agregası

Yapılan çalışmada (0-4 mm, 4-11.2 mm, 11.2-32 mm) agrega gruplarından, beton santrallerinde normal ve yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılan Gümüşhane yöresine ait kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Kireçtaşı agregası

2.1.2. Çimento

Üretilen betonlarda CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimento Gümüşhane’de bulunan Aşkale Çimento Fabrikası’ndan temin edilmiştir. Tablo 1’de çimentoya ait analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 1. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Analizler		Fiziksel Testler	
SiO ₂	18.10	İncelik (45 µ elek üstü %)	7.15
Al ₂ O ₃	4.48	Yoğunluk (g/cm ³)	3.1
Fe ₂ O ₃	3.09	Özgül Yüzey (cm ² /g)	3698
CaO	63.65	Priz Başlangıcı (saat-dk)	2saat-31dk
MgO	2.58	Priz Sonu (saat-dk)	3saat-11dk
SO ₃	2.84	Hacim Genişlemesi (mm)	1.0
Kızdırma Kaybı	3.90	Su İhtiyacı (%)	29.5

Na ₂ O	0.21		
K ₂ O	0.62		
CI	0.015	Basınç Dayanımı (MPa)	
Ölçülemeyen	0.52	2.Gün	27.9
Toplam	100	28.Gün	58.0

2.1.3. Karışım Suyu

Çalışmada Gümüşhane şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Beton Örneklerin Üretimi

Bu çalışmada 10x20 cm ebadında silindir numuneler için uygun plastik kalıp kullanılmıştır. Kalıpların iç yüzeyleri beton dökülmeden önce iyice temizlenmiş ve betonun kalıba yapışmadan kolayca sökülmesi için hafifçe yağlanmıştır.

Beton yapımında kullanılan agrega uygun olarak ağırlık hesabına göre hazırlanmıştır. Hazırlanan agrega karışımının üzerine daha önceden tartılarak hazırlanmış olan çimento ilave edilerek, mikserde önce beş dakika kuru karılmıştır, daha sonra her bir test serisi için hazırlanan tasarım suyu ve bu tasarım suyunun belli oranlarda değiştirilmiş miktarları karışımlara ilave edilmiş ve betonda çözülme oluşmaması için 20 dakika daha karılmıştır. Karışım sonucu tasarım betonu ve agrega, çimento miktarları sabit tutularak su miktarının optimum su miktarına göre %10, %20, %40, %70, %100 artırıldığı ve %10, %20 azaltıldığı beton karışımları elde edilmiştir. Beton örneklerinin kodları karışım suyu artırılmasında sırasıyla S+10, S+20, S+40, S+70, S+100 ve karışım suyu azaltılmasında S-10, S-20'dir. Beton önceden hazırlanan silindir kalıplara yerleştirilmiştir. Her kalıba yerleştirildiğinde beton içerisinde hava kabarcığı kalmayınca kadar vibratör ile sıkıştırılmıştır. Kalıpların üzeri mala ile sıyrılmış ve numaralandırılmıştır. Bu şekilde hazırlanan numuneler 24 saat laboratuvar da üzerleri camla kapatılarak bırakılmış ve 24 saat sonunda kalıplardan çıkartılarak su sıcaklığı $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ' de sabit olan kür havuzuna yerleştirilmiştir. Numuneler deney yapılacakları günden bir gün öncesine kadar su içinde bekletilmişlerdir.

Çökme değeri TS 802 den 8-10 cm aralığı ve S/Ç=0.6 seçilmiştir. Tablo 2'de beton karışım tasarımı verilmiştir.

Tablo 2. Beton karışım tasarımı

Malzeme	C20/25		C30/37		C40/50		
	Hacim	Ağırlık	Hacim	Ağırlık	Hacim	Ağırlık	
Çimento	105	316	134	404	172	519	
Su	218	218	218	218	218	218	
Hava	20	-	20		20	0	
Agrega	0-4 (%49)	322	847	308	809	289	760
	4-11.2 (%30)	197	511	188	488	177	458
	11.2-32 (%21)	138	356	132	340	124	319
Su/Çimento		0.69		0.54		0.42	
Toplam	1000	2247	1000	2259	1000	2274	

2.2.2. Sülfat Dayanıklılığı Tayini

Beton örneklerin sülfat direncini belirlemek amacıyla, beton örnekler ıslanma-kuruma çevrimine maruz bırakılmıştır. 105°C 'de 2 gün bekletildikten sonra Na^2SO^4 içeriği %5 olan solüsyon içerisinde 2 gün bekletilmiş ve çevrim tamamlanmıştır. Her çevrimden sonra beton örneklerin ağırlık değişimleri belirlenmiştir. Sonuçlar grafikler üzerinden yorumlanmıştır. Sülfat deneyi uygulaması Şekil 3' de gösterilmiştir.



Şekil 2. Sülfat ıslanma döngüsü

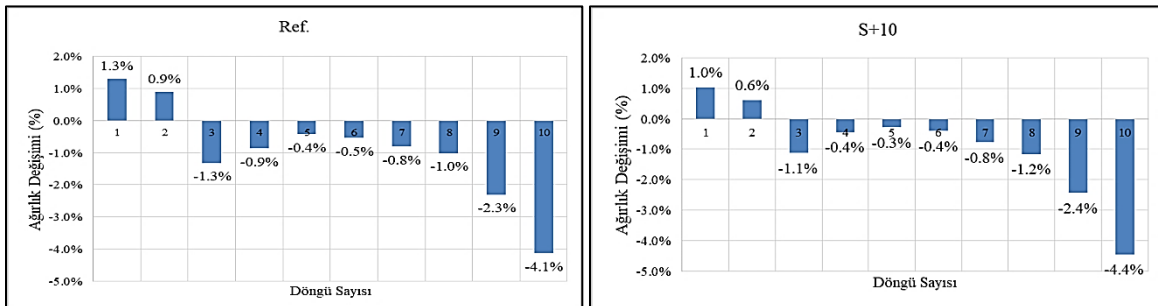


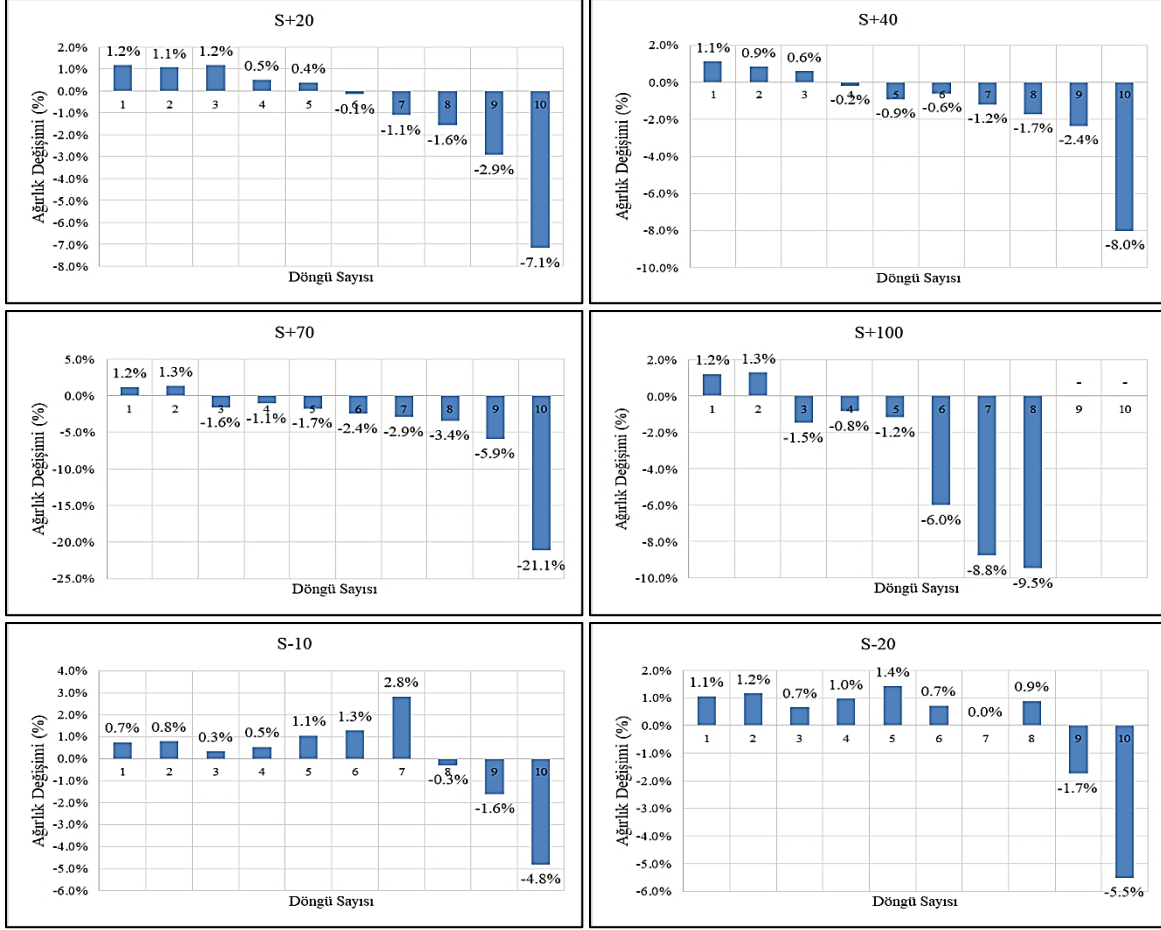
Şekil 3. Sülfat kuruma döngüsü

3.BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Sülfat Etkisi ile Ağırlık Değişimi

C20/25, C30/37 ve C40/50 dayanım sınıflarında hazırlanan kontrollü su artış ve azaltma miktarlarına bağlı olarak sülfat etkisine maruz bırakılan beton örneklerinde zamana bağlı olarak ağırlık değişimleri gözlemlenmiştir. Beton dayanım sınıfına göre sülfat etkisi altında zamana bağlı ağırlık değişimlerini gösterir grafikler Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5’de görülmektedir.





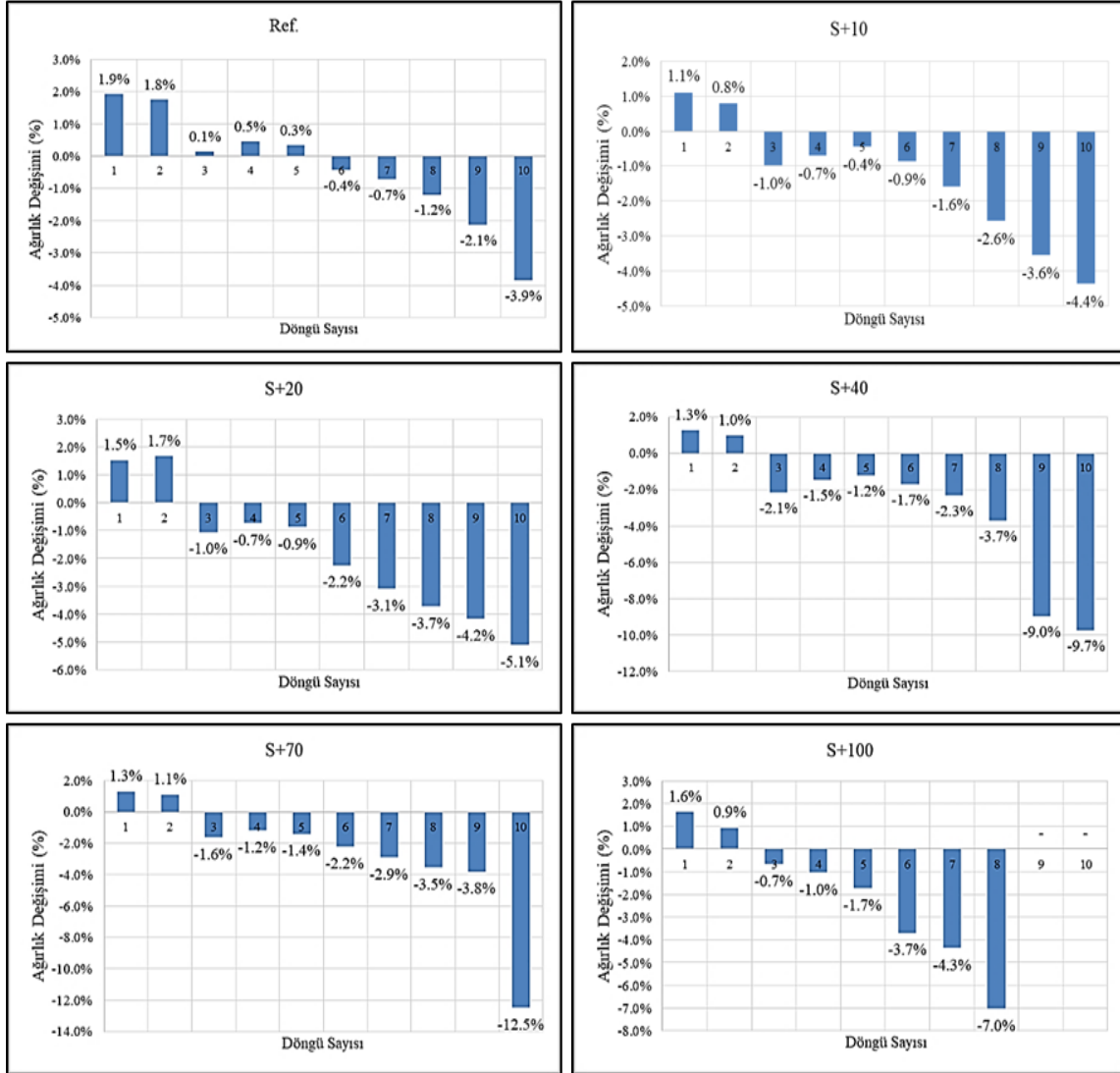
Şekil 4. C20/25 dayanım sınıfındaki betonların sülfat etkisi altında zamana bağlı ağırlık değişimleri

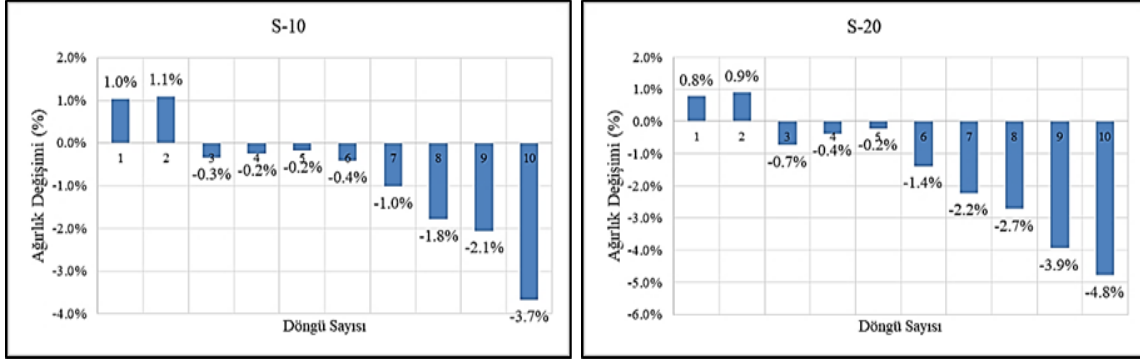
C20/25 dayanım sınıfındaki beton örneklerin sülfat etkisinde ıslanma kuruma döngüsü değerlendirmesinde;

- Referans beton örneklerinde 1. ve 2. döngülerde sırasıyla %1.3 ve %0.9 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. Döngü sonunda, %4.1'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+10 beton örneklerinde 1. ve 2. döngülerde sırasıyla %1.0 ve %0.6 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %4.4'lük ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+20 beton örneklerinde 1., 2., 3., 4. ve 5. döngülerde sırasıyla %1.2, %1.1, %1.2, %0.5 ve %0.4 ağırlık artışı olurken, 6. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %7.1'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+40 beton örneklerinde 1., 2. ve 3. döngülerde sırasıyla %1.1, %0.9 ve %0.6 ağırlık artışı olurken, 4. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %8.0'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+70 beton örneklerinde 1. ve 2. döngülerde sırasıyla %1.2 ve %1.3 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda ağırlıklarda %21.1 azalma gözlenmiştir.
- S+100 beton örneklerin 1. ve 2. döngülerde sırasıyla %1.0 ve %0.6 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 8. döngü sonunda, %9.5'lük ağırlık kaybı belirlenmiştir.

- S-10 beton örneklerin 1., 2., 3., 4., 5., 6. ve 7. döngülerde sırasıyla %0.7, %0.8, %0.3, %0.5, %1.1, %1.3 ve %2.8 ağırlık artışı olurken, 8. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %4.8'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S-20 beton örneklerin 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7. ve 8. döngülerde sırasıyla %1.1, %1.2, %0.7, %1.0, %1.4, %0.7, %0.0 ve %0.9 ağırlık artışı olurken, 9. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %5.5'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.

C30/37 dayanım sınıfında kontrollü su artış ve azaltma miktarlarına bağlı olarak sülfat etkisine maruz bırakılan beton örneklerinde zamana bağlı ağırlık değişimleri gözlemlenmiştir.



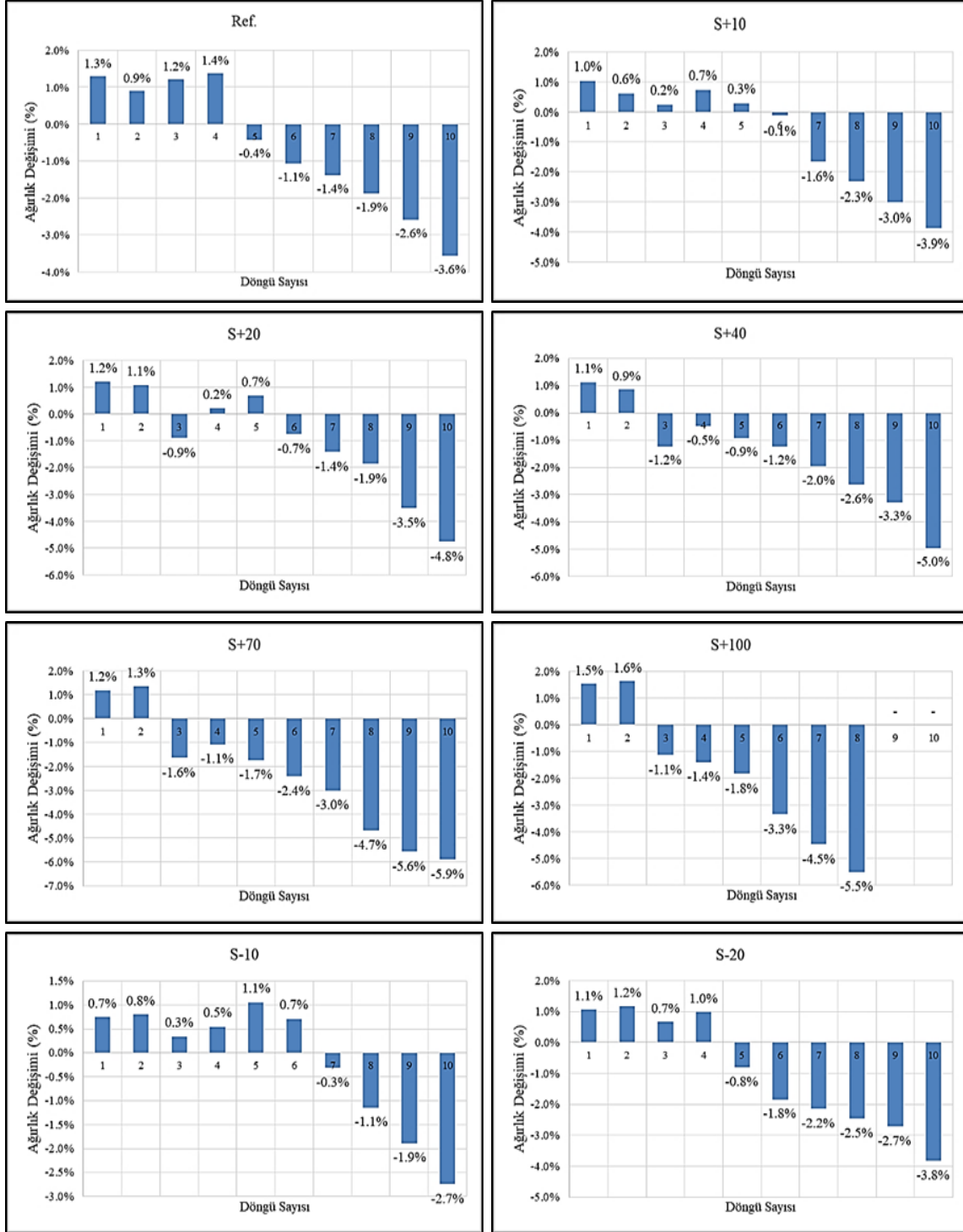


Şekil 5. C30/37 dayanım sınıfındaki betonların sülfat etkisi altında zamana bağlı ağırlık değişimleri

C30/37 dayanım sınıfındaki beton örneklerin sülfat etkisinde ıslanma kuruma döngüsü değerlendirmesinde;

- Referans beton örneklerinde 1., 2., 3., 4. ve 5. döngülerde sırasıyla %1.9, %1.8, %0.1, %0.5 ve %0.3 ağırlık artışı olurken, 6. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %3.9'luk ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+10 beton örneklerinde 1. ve 2. döngülerde sırasıyla %1.1 ve %0.8 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %4.4'lük ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+20 beton örneklerinde 1. ve 2. döngülerde sırasıyla %1.5 ve %1.7 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %5.1'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+40 beton örneklerinde 1. ve 2. döngülerde sırasıyla %1.3 ve %1.0 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %9.7'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+70 beton örneklerinde 1 ve 2 döngülerde sırasıyla %1.3 ve %1.1 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %12.5'luk ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+100 beton örneklerin 1 ve 2 döngülerde sırasıyla %1.0 ve %0.6 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 8. döngü sonunda, %7.0'lık ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S-10 beton örneklerin 1 ve 2 döngülerde sırasıyla %1.0 ve %1.1 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %3.7'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S-20 beton örneklerin 1 ve 2 döngülerde sırasıyla %0.8 ve %0.9 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %4.8'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.

C 40/50 dayanım sınıfında kontrollü su artış ve azaltma miktarlarına bağlı olarak sülfat etkisine maruz bırakılan beton örneklerinde zamana bağlı ağırlık değişimleri gözlemlenmiştir.



Şekil 6. C40/50 dayanım sınıfındaki betonların sülfat etkisi altında zamana bağlı ağırlık değişimleri
C40/50 dayanım sınıfındaki beton örneklerin sülfat etkisinde ıslanma kuruma döngüsü değerlendirmesinde;

- Referans beton örneklerinde 1., 2., 3. ve 4. döngülerde sırasıyla %1.3, %0.9, %1.2 ve %1.4 ağırlık artışı olurken, 5. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %3.6'lık ağırlık kaybı belirlenmiştir.

- S+10 beton örneklerinde 1., 2., 3., 4. ve 5. döngülerde sırasıyla %1.0, %0.6, %0.2, %0.7 ve %0.3 ağırlık artışı olurken, 6. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %3.9'luk ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+20 beton örneklerinde 1., 2., 3., 4. ve 5. döngülerde sırasıyla %1.2, %1.1, %0.3, %0.2 ve %0.7 ağırlık artışı olurken, 6. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %4.8'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+40 beton örneklerinde 1. ve 2. döngülerde sırasıyla %1.1 ve %0.9 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %5.0'lık ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+70 beton örneklerinde 1 ve 2 döngülerde sırasıyla %1.2 ve %1.3 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %5.9'luk ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S+100 beton örneklerin 1 ve 2 döngülerde sırasıyla %1.5 ve %1.6 ağırlık artışı olurken, 3. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 8. döngü sonunda, %5.5'luk ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S-10 beton örneklerin 1., 2., 3., 4., 5. ve 6. döngülerde sırasıyla %0.7, %0.8, %0.3, %0.5, %1.1 ve %0.7 ağırlık artışı olurken, 7. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %2.7'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.
- S-20 beton örneklerin 1., 2., 3. ve 4. döngülerde sırasıyla %1.1, %1.2, %0.7 ve %1.0 ağırlık artışı olurken, 5. döngüden sonra ağırlıklarda azalma gözlenmiştir. 10. döngü sonunda, %3.8'lik ağırlık kaybı belirlenmiştir.

4.SONUÇLAR (CONCLUSION)

Sülfat etkisi beton ve betonarme elemanların hizmet süreleri göz önüne alındığında çok kısa sürelerde betonda deformasyona neden olan kimyasal bir olaydır. Betonun sülfattan etkilenmesi geçirimsizliği ile doğrudan ilgilidir. Yapılan çalışmada beton karışım suyuna ilave edilen fazla su beton bünyesinde boşlukların artmasına ve betonun daha geçirimli olmasına neden olmuştur. Boşluk miktarı fazla ve geçirimli olan betonların sülfattan etkilenme hızları da artmaktadır. %5 sülfat konsantrasyonu ile daha kısa sürelerde betonda oluşacak yıkımı görmek amacıyla yapılan bu çalışmada gerçekleştirilen on çevrim ıslanma-kuruma döngüsü sonucunda C20/25 dayanım sınıfında referans örneklerde %4 civarında ağırlık kaybı olurken su miktarının artmasıyla birlikte ağırlık kayıp miktarı da artmaktadır. Beton örneklerin ıslanma-kuruma çevriminde ortalama 3-4. çevrimden sonra ağırlık değişimleri gözlemlenmiştir. Karışım suyunun % 100 arttırılması durumunda 9. ve 10. çevrimde beton örnekler tamamen deforme olmuştur. Beton dayanım sınıfının artışı ile birlikte sülfatın betonlar üzerindeki etkisinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Beton üretimi yapılırken karışım hesabında belirlenen optimum su miktarı üzerinde su ilave edilmesi veya eksiltilmesi durumunda beton basınç dayanımının yanı sıra diğer mekanik özelliklerin de olumsuz etkilendiği görülmüştür. Ayrıca su miktarındaki değişimin sülfat etkisine karşı direnci azalttığı da gözlemlenmiştir. Bu sebepten dolayı beton üretimi yapılırken veya yapıldıktan sonra döküm esnasında karışım hesabında belirlenen su miktarının artırılmaması ve eksiltilmemesi önerilmektedir.

İleride su miktarının arttırılması veya azaltılması ile alakalı çalışma yapacak araştırmacılara, karışım suyu miktarının arttırılmasıyla betonun servis ömrü boyunca maruz kalacağı diğer korozyon etkilerine karşı durabilite özelliklerinin araştırılması önerilmektedir.

REFERANSLAR

- [1] Al-Akhras N.M. (2006). Durability of metakaolin concrete to sulfate attack. *Cement and Concrete Research*, 36, 1727–1734.
- [2] Al-Amoudi O.S.B. (1997). Sufate attack and reinforcement corrosion in plain and blended cements exposed to sulfate environments. *Building and Environment*, 33, 53- 61.
- [3] Neville A. (2004). The confused world of sulfate attack on concrete. *Cement and Concrete Research*, 34, 1275–1296.
- [4] Nehdi M. and M. Hayek (2005). Behavior of blended cement mortars exposed to sulfate solutions cycling in relative humidity. *Cement and Concrete Research*, 35, 731–742.
- [5] Ilıca, T., 2008, Farklı Çimentolarla Üretilen Betonlarda Sülfat Etkisi ve Klorür Geçirimsizliği, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.
- [6] Kılınç K., Uyan M. (2003) Beton karışım suyundaki sülfat tuzlarının çimento harcı özelliklerine etkisi. 5. Ulusal Beton Kongresi, Bildiriler Kitabı, İstanbul, s. 393-402.
- [7] Postacıoğlu, B.,1986, Bağlayıcı Maddeler Cilt-1, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul, Türkiye.
- [8] Özturan, T., 1993, Uluslararası IV. CANMET-ACI Betonda Uçucu Kül, Silis Dumanı, Cüruf ve Doğal Puzolanların Kullanımı Konferansının Değerlendirilmesi, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Ankara, Türkiye, pp. 57-78.
- [9] Lee S.T., Moon H.Y., Hooton R.D. and J.P. Kim (2005). Effect of solution concentrations and replacement levels of metakaolin on the resistance of mortars exposed to MgSO₄ solutions. *Cement and Concrete Research*, 35, 1314–1323.
- [10] Irrasar F. and O. Batic (1989) Effect of low calcium fly ash on sulfate resistance of OPC cement. *Cement and Concrete Research*, 19, 194-202.
- [11] Lawrance C.D. (1992) The influence of binder type on sulfate resistance. *Cement and Concrete Research*, 22, 1047-1058.
- [12] Bonen D. (1993) A microstructural study of the effect produced by magnesium sulphate on plain and silica fume bearing portland cement mortars. *Cement an Concrete Research*, 23, 541-553.
- [13] Türker F., Aköz F.,Koral S. and N. Yüzer (1997) Effects of magnesium sulfate concentration on the sulfate resistance of mortars with and without silica fume. *Cement and Concrete Research*, 27, 205-214.
- [14] Biricik H., Aköz F., Türker F. and Berktaş İ. (2000) Resistance to magnesium sulfate and sodium sulfate attack of mortars containing wheat straw ash. *Cement and Concrete Research*, 30, 1189-1197.
- [15] Bekem Kara, İ. ve Kara, C., Farklı Kimyasal Katkılar ile Üretilen Betonlar Üzerinde Magnezyum Sülfat ve Sodyum Klorür Etkisinin Araştırılması, *Electronic Journal of Vocational Colleges*, vol. 6, no. 4, pp. 117–125, Dec. 2016.
- [16] Tikalsky, P. J. ve Carrasquillo, R. L.. 1992, Influence of FlyAsh on the Sulfate Resistance of Concrete, *ACI Materials Journal*, 89, pp. 69-75.