



## Farklı Su/Çimento Oranlarına Sahip Kalsiyum Alüminat Çimentolu Betonların Yüksek Sıcaklıkta Basınç Dayanımlarının ve Elastisite Modüllerinin İncelenmesi

Abdülkadir GÜLEÇ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümü, 46100, Kahramanmaraş

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-1518-4362>

\*Sorumlu yazar: abdulcadir.gulec@hotmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 29.03.2023

Kabul tarihi: 20.07.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Kalsiyum alüminat çimentolu beton

Yüksek sıcaklık

Su/çimento oranı

### ÖZ

Kalsiyum alüminat çimentosu hızlı sertleşme kabiliyetine sahip, agresif çevre koşullarına (yüksek sıcaklıklara ve asidik ortam) karşı dayanıklı özel bir çimento türüdür. Bu üstün özelliklerinin yanı sıra oldukça kararsız yapısı yapısal uygulamalarda kullanımını büyük ölçüde kısıtlar. Portland çimentosunun aksine hidrasyon mekanizması sıcaklık ve nemden büyük ölçüde etkilenir. Sıcaklık, nem ve zaman etkisiyle hidrasyon sonucu oluşan kararsız bileşikler belli dönüşümlere uğramak suretiyle kararlı hale geçme eğilimindedirler. Bu dönüşümler kalsiyum alüminat çimentolu betonun mekanik özelliklerini negatif biçimde etkiler. Bahsedilen dönüşüm reaksiyonlarına etki eden parametrelerden bir de su/çimento oranıdır. Bu çalışmada, yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalsiyum alüminat çimentolu betonlarda optimum su/çimento oranı araştırılmıştır. Bu kapsamda farklı su/çimento oranlarına sahip (0,35, 0,40, 0,45) kalsiyum alüminat çimentolu betonların normal ve yüksek sıcaklıkta (600 °C) işlenebilirlik durumları, basınç dayanımları ve elastisite modülleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda kalsiyum alüminat çimentolu betonda işlenebilirlik ve dayanım parametreleri birlikte değerlendirildiğinde 0,35-0,40 aralığındaki su/çimento oranının makul bir değer olabileceği tespit edilmiştir.

## Investigation of Compressive Strength and Modulus of Elasticity of Calcium Aluminate Cement Concretes with Different Water/Cement Ratios at High Temperature

### Research Article

#### Article History:

Received: 29.03.2023

Accepted: 20.07.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Calcium aluminate cement concrete

High temperature

Water/cement ratio

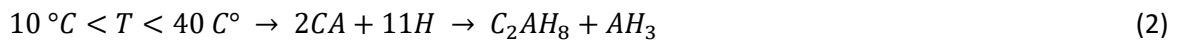
### ABSTRACT

Calcium aluminate cement is a special type of cement that has fast hardening ability and is resistant to aggressive environmental conditions (high temperatures and acidic environment). However, in addition to these superior features, its highly unstable structure greatly limits its use in structural applications. Unlike Portland cement, the hydration mechanism is greatly affected by temperature and humidity. Unstable compounds formed as a result of hydration tend to become stable by undergoing certain transformations with the effect of temperature, humidity and time. These transformations negatively affect the mechanical properties of calcium aluminate cemented concrete. One of the parameters affecting these conversion reactions is the water/cement ratio. In the present study, optimum water/cement ratio was investigated in calcium aluminate cement concrete exposed to high temperatures. In this context, workability degrees, compressive strength and elasticity modules of calcium aluminate cement concretes with different water/cement ratios (0,35, 0,40, 0,45) at normal and high temperatures (600 °C) were investigated. As a result of the study, the water/cement ratio in the range of 0,35-0,40 can be a reasonable value in terms of workability and strength parameters in calcium aluminate cement concrete.

## 1. Giriş

Günümüzde yüksek dayanıma ve dayanıklılığa sahip beton üretiminde kalsiyum alüminat çimentosu bağlayıcı olarak kullanılabilir. Kalsiyum alüminat çimentosu yüksek sıcaklık, asidik ortam ve aşınma kuvvetlerine karşı üstün bir performans gösterir (Scrivener ve ark., 1999; Vafaei ve Allahverdi, 2016). Ayrıca hızlı dayanım kazanma yeteneği sayesinde tamir harcı olarak da kullanılabilir (Ideker ve ark., 2013). Ancak tüm bu üstün özellikleri yanı sıra hidrasyon sürecindeki kararsız yapıları nedeniyle yapısal uygulamadaki kullanımı oldukça sınırlıdır. Portland çimentosuyla üretilen betonlarda hidrasyon sonucu oluşan bileşikler düşük ortam sıcaklıklarından (<100 °C) etkilenmez. Ancak sıcaklık ve nem etkisi ile birlikte kalsiyum alüminat çimentolu betonlarda hidrasyon sonucu oluşan düşük yoğunluklu yarı kararlı bileşikler (CAH<sub>10</sub>, C<sub>2</sub>AH<sub>8</sub>) yüksek yoğunluklu kararlı bileşiklere (C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub>, AH<sub>3</sub>) dönüşme eğilimindedirler. Bu dönüşüm, betonda gözenek oluşumuna ve dolayısıyla dayanım kaybına neden olabilir. Bu nedenle kalsiyum alüminat çimentosunun hidrasyon mekanizmasına etki eden parametrelerin araştırılması dayanım ve dayanıklılık açısından önemli bir konudur. Hidrasyon mekanizmasına etki edebilecek parametrelerden birisi su/çimento oranıdır.

Beton karışım hesabında, su/çimento oranının tespit edilmesi en kritik parametrelerden biridir. Beton karışımında hidrasyon olayının gerçekleşebilmesi için su gereklidir. Çimento su ile reaksiyona girerek karışıma giren diğer bileşenler arasındaki bağı kurar. Suyun bir diğer görevi ise işlenebilirliği artırmaktır (Panda ve ark., 2020). Taze betonun kıvamı ve işlenebilirliği, sertleşmiş betonun performansını önemli ölçüde etkiler. Bu nedenle betonda su/çimento oranının araştırıldığı çalışmalarda işlenebilirlik durumunun da araştırılması gerekir. Bilindiği üzere genel olarak su/çimento oranı ile beton basınç dayanımı arasında ters bir ilişki vardır (Apebo ve ark., 2013). Su/çimento oranı arttıkça gözeneklilik artacağından beton dayanımı azalır (Popovics ve Ujhelyi, 2008). Buna ek olarak, sıcaklık etkisiyle kalsiyum alüminat çimentolu betonlarda hidrasyon sonucu oluşan bileşiklerin dönüşümü sırasında yoğunluk farklılıkları nedeniyle betonda gözeneklilik meydana gelebilir. Kalsiyum alüminat çimentolu betonun sıcaklığa bağlı olarak hidrasyon mekanizması denklem (1-3) de belirtilen kimyasal reaksiyonlarla ifade edildiği gibidir.



Literatür incelendiğinde son yıllarda kalsiyum alüminat çimentolu betonlar ile ilgili çalışmalarda dikkate değer bir artış görülmüştür. Özellikle literatürde konu ile ilgili çalışmaların geniş bir yelpazede var olması inşaat piyasasında kullanımı henüz sınırlı olan kalsiyum alüminat çimentosuna olan ilginin giderek arttığına işaret etmektedir. Roig-Flores ve ark. (2023) kalsiyum alüminat çimentolu

betonlarda farklı agrega tiplerinin betonun termal performansına etkilerini araştırmışlardır. Buna göre kalsiyum alüminat çimentolu betonda termal olarak kararlı ve uygun tane boyutu dağılımına sahip agrega kullanımının yüksek sıcaklıklarda betonda oluşabilecek bozulmaları azaltabildiği bildirilmiştir. Bir başka çalışmada kalsiyum alüminat çimentolu betonda alev geciktirici polimer kullanımının yüksek sıcaklıklarda betonun dayanımını koruma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı (800 °C’de %45’den daha az dayanım kaybı) ve betonun yüksek sıcaklıklarda patlayarak dağılmasını önlediği bildirilmiştir (Zhang ve ark., 2023). Benzer bir çalışmada yüksek dayanımlı beton tasarımında normal çimento yerine kalsiyum alüminat çimentosu kullanımının yüksek sıcaklıklarda betonun parçalanarak dağılmasını büyük oranda engellediği bildirilmiştir. Buna göre normal çimentolu betonda 500 °C’de parçalanma görülebilirken, kalsiyum alüminat çimentolu betonda 1000 °C’de bile parçalanma görülmediği ifade edilmiştir (Khan ve ark., 2023). Kalsiyum alüminat çimentolu betonların yüksek sıcaklıklardaki performansına ilişkin daha önceki yıllarda yapılan çalışmalarda da kalsiyum alüminat çimentolu beton numunelerinin yüksek sıcaklıklardaki dayanım kayıplarının normal çimentolu numunelere kıyasla daha düşük olduğu belirtilmiştir (Khaliq ve Khan, 2015; Baradaran-Nasiri ve Nematzadeh, 2017). Kalsiyum alüminat çimentolu betonlarda su/çimento oranının mekanik özelliklere etkisi ile ilgili çalışmalar ise oldukça sınırlı sayıdadır. Abolhasani ve ark. (2020) konu ile ilgili yaptığı çalışmada su/çimento oranının artmasıyla mikro çatlakların arttığını ve bundan dolayı dayanım özelliklerinin azaldığını bildirmişlerdir. Taramalı elektron mikroskopu görüntülerinde su/çimento oranı 0,5 olan numunelerde daha düşük su/çimento oranına sahip numunelere kıyasla daha yoğun mikro çatlak oluşumu gösterilmiştir. Bununla birlikte su/çimento oranının artmasıyla süneklik ve kırılma tokluğu gibi parametrelerin arttığı belirtilmiştir.

Literatür incelendiğinde yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalsiyum alüminat çimentolu betonların optimum su/çimento içeriğinin tespitine yönelik çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Mevcut çalışmada farklı su/çimento oranlarına sahip kalsiyum alüminat çimentolu betonların normal sıcaklıkta ve yüksek sıcaklıkta (600 °C) basınç dayanımları ve elastisite modülleri tespit edilmiş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma neticesinde işlenebilirlik durumu da göz önünde bulundurularak kalsiyum alüminat çimentolu betonun optimum su/çimento oranı tespit edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Mevcut çalışmada beton karışımlarında 0,35, 0,40 ve 0,45 olmak üzere 3 farklı su/çimento oranı kullanılmıştır. Karışım oranları Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** 1 m<sup>3</sup> beton için karışım oranı (kg)

Su/çimento oranı	Çimento	Su	İnce Agrega	Kaba agrega	SP
0,35	460	162	892	955	1,76
0,40	460	185	860	925	1,76
0,45	460	207	830	892	-

Her oran için 12 silindir (100x200 mm), 12 küp numune (150x150x150 mm) üretilmiştir. Kontrol dışı parametreleri minimize etmek için tüm numuneler aynı gün aynı laboratuvar koşullarında hazırlanmışlardır. Döküm prosedürü tüm numuneler için tamamen aynıdır. Tüm numunelerde KAÇ-40 tipi çimento kullanılmıştır. KAÇ çimentosunun özgül ağırlığı 3,30, Blaine değeri 3200 cm<sup>2</sup>/g'dır. Kullanılan çimentonun bünyesinde bulunan önemli bileşikler aşağıdaki Tablo 2'de ifade edilmiştir. Beton karışımlarında Kahramanmaraş bölgesinden elde edilen kalker kökenli kırma agregalar kullanılmıştır. İnce agrega olarak 0-4 mm, kaba agrega olarak 4-8 mm tane çapı aralığına sahip agrega kullanılmıştır. Agreganın özgül ağırlığı 2,65 olarak tespit edilmiştir. Kullanılan agregaların granülometrisi TS 802 (2016) standartlarına uygundur. Karışımda kullanılan agregalar karışıma girmeden önce 24 saat suda bekletilerek kuru yüzey doygun hale getirilmişlerdir. Beton karışımlarında akışkanlaştırıcı olarak Glenyum 51 tipi akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Beton karışımı hazırlanırken yapılan pilot çalışmalarda kalsiyum alüminat çimentolu beton karışımının normal beton karışımına kıyasla malzemelerin ağırlıklarına ve nem durumlarına çok daha fazla duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle karışıma giren malzemelerin tartım ve nem durumuna yüksek hassasiyet gösterilmiştir. Hazırlanan taze betonların işlenebilirlik durumlarının değerlendirilebilmesi için her gruba ayrı ayrı çökme deneyleri yapılmıştır. Sonrasında taze betonlar kalıplara dökülmüş ve 24 saat sonra kalıplardan çıkartılmışlardır. Kalıptan çıkarılan tüm numuneler 28 gün 23 °C suda kürlenmişlerdir. Kür sonrası betondaki serbest suyu uzaklaştırmak için numuneler 100 °C'de fırında 24 saat bekletilmişlerdir. Bu sayede numunelerden serbest su uzaklaştırılırken aynı zamanda kalsiyum alüminat çimentolu betonlarda dönüşüm reaksiyonlarının oluşması sağlanmış ve nispeten numunelerin daha kararlı bir halde testlerinin yapılması hedeflenmiştir. Basınç testleri TS EN12390-3 standartlarına uygun bir biçimde 2000 kN kapasiteli cihazda, 0,25 MPa/s yükleme hızı ile gerçekleştirilmiştir. Elastisite modülleri ASTM C469/C469M şartnamesine göre gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Test iki etapta gerçekleştirilmiştir. İlk etapta herhangi bir yüksek ısıyla maruz bırakılmamış numuneler test edilmiş, ikinci etapta ise 600 °C sıcaklıkta 2 saat bekletilen numuneler test edilmişlerdir. 600 °C sıcaklıkta 2 saat bekletilen numuneler test öncesi 24 saat oda sıcaklığında soğutulmuştur ve herhangi bir ön yük uygulamadan teste tabi tutulmuşlardır. Isıtma hızı 0,5 °C/dk olarak belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 1. Elastisite modülü deneyi



Şekil 2. 600 °C'de ısıtma işlemi

Tablo 2. Kalsiyum alüminat çimentosu kimyasal bileşimi

Çimento	Bileşikler (%)			
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
KAÇ-40	39,92	34,10	3,23	15,44

### 3. Bulgular ve Tartışma

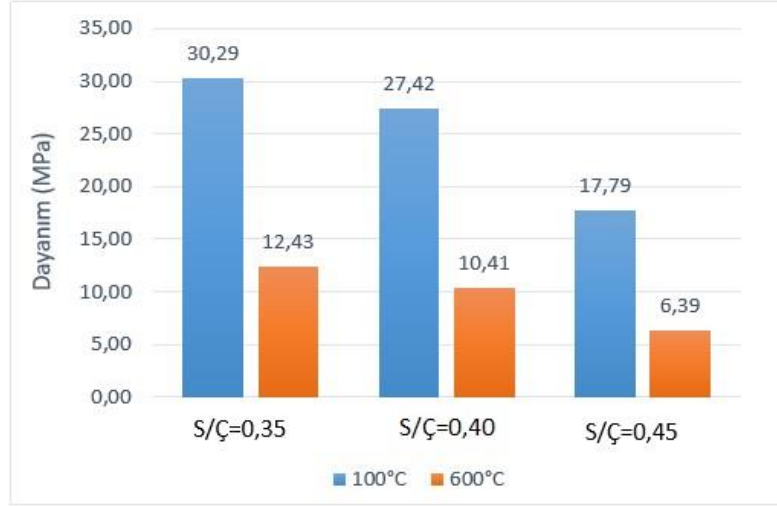
Taze betonda TS EN 12350-2 standartlarına uygun olarak çökme deneyleri yapılmıştır. Su/çimento oranının değişmesiyle birlikte işlenebilirlik durumu da değişmiştir. Çökme deneyi esnasında herhangi bir segregasyon ile karşılaşılmaştır. Buna göre su/çimento oranı 0,35 olan beton S2 (65 mm) kıvam sınıfında, su/çimento oranı 0,40 ve 0,45 oranlarındaki betonlar ise sırasıyla S4 (210 mm) ve S5 (240 mm) kıvam sınıflarında yer almaktadırlar (Şekil 3). Su/çimento oranı 0,35 olan numunelerin işlenebilirliklerinin diğer oranlardaki numunelere kıyasa oldukça düşük olduğu değerlendirilebilir. Yüksek su/çimento oranına sahip beton karışımındaki fazla su iç sürtünmeyi azaltarak işlenebilirliği artırmıştır (Arslan ve ark., 2005). Çökme deneyi sonucu kalsiyum alüminat çimentolu betonun işlenebilirlik durumunun normal çimentolu betona göre su/çimento oranındaki artıştan daha fazla etkilendiği değerlendirilebilir. Aynı tespit akışkanlaştırıcı oranı için de geçerlidir. Pilot çalışmalarda akışkanlaştırıcı miktarının gereğinden bir miktar fazla kullanıldığı veya su/çimento oranının 0,50'nin üzerinde olduğu durumlarda agrega tanelerinin harçtan kolaylıkla ayrılabilirdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3. Çökme deneyi

Basınç testi sonuçları Şekil 4 ve Tablo 3'te gösterilmiştir. Basınç testi yapılmadan önce betonun içindeki serbest suyun uzaklaştırılması için numuneler 24 saat 100 °C fırında bekletilmişlerdir. Normal betonda bu uygulama sonrası herhangi bir dayanım kaybı görülmez iken kalsiyum alüminat çimentolu beton dayanımında azalma görülebilir. Bunun nedeni ısı sebebiyle hidrasyon ürünlerinin dönüşüme uğramasıdır. Bu sayede hiç ısıtılmamış numunelere kıyasla daha kararlı hale gelen numunelerin 600 °C'ye kadar ısıtılmaları sonrasında yaşayacağı basınç dayanım kaybı oranları daha gerçekçi olarak tespit edilebilmiştir. Portland çimentolu normal betonda olduğu gibi su/çimento oranı arttıkça basınç dayanımları tüm numunelerde azalmıştır. Yüksek ısıya maruz kalmamış su/çimento oranı 0,35 olan numunelerin silindir basınç dayanımı ortalamaları 30,29 MPa, küp basınç dayanımları ortalaması 37,94 MPa'dır. Yüksek ısıya maruz kalmamış su/çimento oranı 0,40 ve 0,45 olan numuneler için silindir basınç dayanımları ortalamaları sırasıyla su/çimento oranı 0,35 olan numunelere göre %9,5 ve %41,30 oranında azalmıştır. Ortalama küp basınç dayanımları ise sırasıyla %7,20 ve %32,90 oranında

azalmıştır. Su/çimento oranının 0,40 oranının üzerine çıkmasıyla basınç dayanımda ciddi bir kayıp olduğu değerlendirilebilir. Bunun nedeni, su/çimento oranının artmasıyla birlikte hidrasyon işleminde kullanılmayan suyun boşluk oluşturması ve bunun neticesinde betonun daha gözenekli bir yapıya sahip olmasıdır. Gözenek miktarının artması nihai basınç dayanımını azaltır (Chen ve ark., 2013).



Şekil 4. Sıcaklığa bağlı basınç dayanımı sonuçları

Tablo 3. Basınç dayanımı ve elastisite modülü testi sonuçları

Su/çimento oranı	Sıcaklık	Numune tipi	Dayanım (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
0,35	100 °C	Silindir	30,29	32451
		Küp	37,94	
	600 °C	Silindir	12,43	5951
		Küp	19,30	
0,40	100 °C	Silindir	27,42	30112
		Küp	35,21	
	600 °C	Silindir	10,41	5002
		Küp	16,02	
0,45	100 °C	Silindir	17,79	26931
		Küp	25,48	

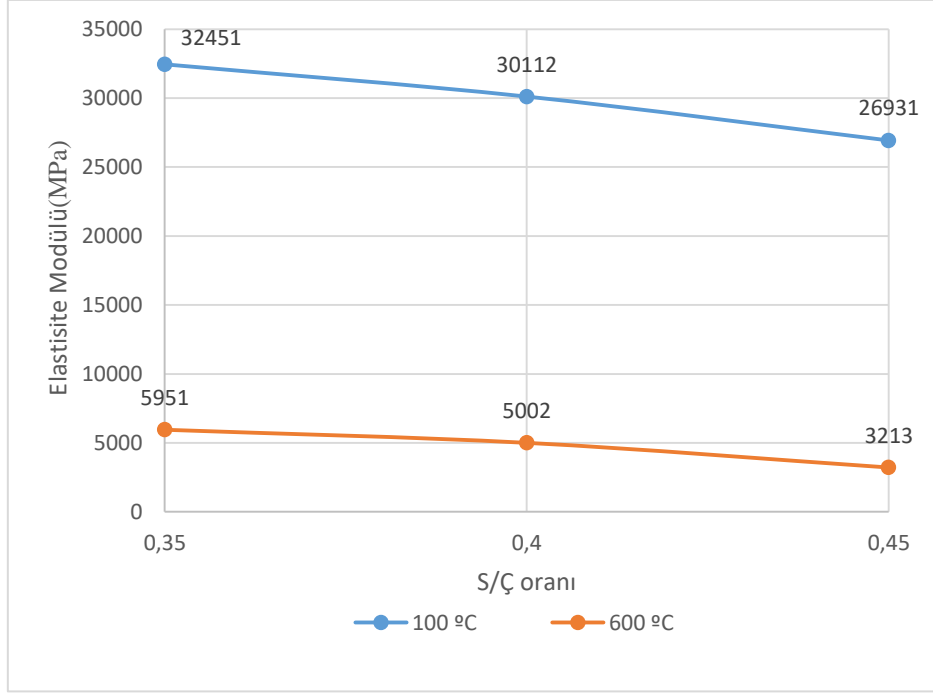
600 °C	Silindir	6,39	3213
	Küp	10,43	

Yüksek ısıya maruz kalmış (600 °C) tüm numunelerin basınç dayanımları beklenildiği gibi azalmıştır. Normal çimentolu betonda 300 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda büyük ölçüde betonun basınç dayanımından sorumlu olan CSH bileşiğinin dehidratasyonu başlar. Bu nedenle bu sıcaklığın üzerinde betonun basınç dayanımı azalmaya başlar. 530 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise Ca(OH)<sub>2</sub> ayrışarak CaO bileşiğine dönüşür. Bu durum büzölmeye neden olur. Soğuma sonrası bu kimyasal dönüşüm tersine hareket eder ve hacim artışına neden olur. Tekrarlanan hacim değişimleri betonda çatlaklara neden olur ve dayanım özelliklerini olumsuz etkiler (Arioz, 2007). Kalsiyum alüminat çimentolu betonların yüksek ısılar altındaki davranışı normal çimentolu betondan farklıdır. 200 °C-300 °C'de AH<sub>3</sub> ve C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub> dehidratasyonu başlar. Isı yükseldikçe 500 °C-800 °C arasında C<sub>12</sub>A<sub>7</sub> bileşiği oluşmaya başlar (Antonovič ve ark.,2013). Bu nedenle yüksek ısılar altında normal çimentolu betonun davranışı ile kalsiyum alüminat çimentolu betonun davranışı farklı su/çimento oranları için farklılık gösterebilir. Mevcut çalışmada, yüksek sıcaklık etkisiyle su/çimento oranı 0,35, 0,40 ve 0,45 olan numunelerin ortalama silindir basınç dayanımları sırasıyla %59,01, %62,10 ve %64,09 oranlarında azalmıştır. Ortalama küp basınç dayanımları ise sırasıyla %49,14, %54,51, %59,07 oranlarında azalmıştır. Yüksek sıcaklıklarda basınç dayanımındaki bu düşüşler literatürdeki benzer çalışma sonuçları ile örtüşmektedir (Khaliq ve Khan, 2015). En yüksek dayanım kaybı ve en yoğun çatlak oluşumu, su/çimento oranı 0,45 olan numunelerde gözlemlenmiştir. Bunun sebebi su/çimento oranı arttıkça çimento matrisindeki ve çimento agrega ara yüzündeki gözenek miktarının artması ve dolayısıyla bağ kuvvetinin azalması olabilir. Yüksek sıcaklıklar altında beton dayanımındaki düşüşler genel olarak dönüşüm reaksiyonları sonucu mikro yapının bozulmasına atfedilebilir. Boyut etkisine bağlı olarak silindir/küp basınç dayanımı oranlarının normal çimentolu betonlardaki silindir/küp basınç dayanımı oranlarına benzer olduğu değerlendirilmesi yapılabilir. Normal betonlarda olduğu gibi düşük basınç dayanımı seviyelerinde silindir/küp basınç dayanımı oranının azaldığı görülmüştür. Literatüre benzer şekilde basınç dayanımı azaldıkça silindir numunelerin basınç dayanımı değerleri küp numunelerin basınç dayanımı değerlerinden uzaklaşmıştır (Şanal, 2018).

Elastisite modülü basınç dayanımı ile doğrudan ilişkilidir. Bundan dolayı şartnamelerde teorik elastisite modülü hesaplamaları basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Şekil 5'te de görülebileceği gibi su/çimento oranı arttıkça elastisite modülü azalmıştır. Normal sıcaklıktaki elastisite modülündeki azalma trendi literatürle uyumludur (Felekoğlu ve ark., 2007). 600 °C'ye kadar ısıtılmış numunelerde, su/çimento oranı 0,45 olan numunelerde elastisite modülündeki azalma miktarı diğer oranlara göre en yüksektir. Su/çimento oranı 0,35, 0,40 ve 0,45 olan numunelerde sıcaklık artışı ile birlikte sırasıyla elastisite modülündeki azalma miktarı %81,67, %83,39, %88,07 oranlarındadır.



Yüksek su/çimento oranına sahip numunelerin çimento matrisindeki ve çimento agrega ara yüzündeki gözenek miktarı daha çoktur (Yıldırım ve Sengul, 2011). Bu nedenle sıcaklık artışına bağlı olarak dönüşüm reaksiyonları sonucu su/çimento oranı yüksek olan numunelerin mikro yapılarının daha çok bozulduğu yorumu yapılabilir. Şekil 5'te yüksek sıcaklığa bağlı olarak elastisite modülündeki azalma trendi ifade edilmiştir. Su/çimento oranı yüksek olan numunelerde 600 °C ısı sonrası çatlak oluşumunun diğer numunelere göre daha çok olması bu durumu doğrulayabilir. Şekil 6'da su/çimento oranı 0,45 olan numunedeki çatlak oluşumunun su/çimento oranı 0,35 olan numuneye kıyasla daha belirgin olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Sıcaklığa bağlı elastisite modül değişimleri



Şekil 6. Yüksek sıcaklık sonrası çatlak oluşumları

#### **4. Sonuçlar**

Mevcut çalışmada farklı su/imento oranlarına sahip kalsiyum alüminat çimentolu numunelerin işlenebilirlik durumları incelenmiş bununla beraber normal sıcaklıkta ve yüksek sıcaklıkta (600 °C) basınç dayanımları ve elastisite modülleri tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1-Mekanik testler öncesinde yapılan ön ısıtma kalsiyum alüminat çimentolu numunelerde dönüşüm reaksiyonlarını tetiklemiş ve testler yapılmadan önce numuneler basınç dayanımlarının önemli bir kısmını kaybetmişlerdir. Böylece nispeten daha kararlı numuneler üzerinde testler yapılmıştır. Yüksek ısıya maruz kalmamış numunelerde su/imento oranının 0,40'ın üzerine çıkmasıyla numunelerde basınç dayanımı ve elastisite modülündeki azalma miktarında artış gözlemlenmiştir.

2-Su/imento oranı yüksek olan numunelerde hidrasyon sürecine katılmayan su, imento matrisindeki ve imento-agrega ara yüzündeki gözenek miktarını ve kılcal çatlakları artırmıştır. Bu nedenle yüksek sıcaklıkla birlikte imento matrisi nispeten daha az rijit olan yüksek su/imento oranına sahip numunelerde mikroyapı diğer numunelere göre daha fazla bozulmuş ve bu nedenle basınç dayanımı ve elastisite modülleri diğer numunelere göre daha fazla miktarda azalmıştır.

3-Su/imento oranı 0,35 olan numunelerin normal ve yüksek sıcaklıkta basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri diğer numunelere kıyasla en yüksektir. Ancak yapılan çökme deneylerinde işlenebilirlik performansının diğer numunelerin gerisinde kaldığı tespit edilmiştir. Özellikle hızlı sertleşme ve düşük işlenebilirlik durumunun birlikte olduğu bu durumda taze betonun kalıplara yerleştirilmesinde belirli sıkıntıların yaşanabileceği tespit edilmiştir. Bu nedenle kalsiyum alüminat çimentolu betonlarda hem işlenebilirlik hem de dayanım özellikleri göz önünde bulundurulduğunda su/imento oranının 0,35-0,40 arasında seçilmesi daha uygun olabileceği değerlendirmesi yapılmıştır.

#### **Teşekkür**

Bu alışma 2021/2-31 M proje numarası ile Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

#### **ıkar atışması Beyanı**

Çalışmada belirtilecek çıkar atışması bulunmamaktadır.

#### **Araştırmacı Katkı Oranı Beyanı Özeti**

Yazar bu alışmaya % 100 oranında katkı sağlamıştır.

## **Kaynaklar**

- Abolhasani A., Nazarpour H., Dehestani M. The fracture behavior and microstructure of calcium aluminate cement concrete with various water-cement ratios. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics* 2020; 109: 102690.
- Antonovič V., Kerienė J., Boris R., Aleknevičius M. The effect of temperature on the formation of the hydrated calcium aluminate cement structure. *Procedia Engineering* 2013; 57: 99-106.
- Apebo NS., Shiwua AJ., Agbo AP., Ezeokonkwo JC., Adeke PT. Effect of water-cement ratio on the compressive strength of gravel-crushed over burnt bricks concrete. *Civil and Environmental Research* 2013; 3(4): 74-81.
- Arioz O. Effects of elevated temperatures on properties of concrete. *Fire Safety Journal* 2007; 42(8): 516-522.
- Arslan EI., Aslan S., Ipek U., Altun S., Yazicioğlu S. Physico-chemical treatment of marble processing wastewater and the recycling of its sludge. *Waste Management and Research* 2005; 23(6): 550-559.
- ASTM C469/C469M Standard test method for static modulus of elasticity and poisson's ration of concrete in compression. ASTM International West Conshohocken, 2014.
- Baradaran-Nasiri A., Nematzadeh M. The effect of elevated temperatures on the mechanical properties of concrete with fine recycled refractory brick aggregate and aluminate cement. *Construction and Building Materials* 2017; 147: 865-875.
- Chen X., Wu S., Zhou J. Influence of porosity on compressive and tensile strength of cement mortar. *Construction and Building Materials* 2013; 40: 869-874.
- Felekoğlu B., Türkel S., Baradan B. Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete. *Building and Environment* 2007; 42(4): 1795-1802.
- Ideker JH., Gosselin C., Barborak R. An alternative repair material. *Concrete International* 2013; 35(4): 33-37.
- Khaliq W., Khan HA. High temperature material properties of calcium aluminate cement concrete. *Construction and Building Materials* 2015; 94: 475-487.
- Khan M., Lao J., Ahmad MR., Kai MF., Dai JG. The role of calcium aluminate cement in developing an efficient ultra-high performance concrete resistant to explosive spalling under high temperatures. *Construction and Building Materials* 2023; 384: 131469.
- Panda S., Sarkar P., Davis R. Effect of water-cement ratio on mix design and mechanical strength of copper slag aggregate concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2020; 936: 012019.
- Popovics S., Ujhelyi J. Contribution to the concrete strength versus water-cement ratio relationship. *Journal of Materials in Civil Engineering* 2008; 20(7): 459-463.

- Roig-Flores M., Lucio-Martin T., Alonso MC., Guerreiro L. Evolution of thermo-mechanical properties of concrete with calcium aluminate cement and special aggregates for energy storage. *Cement and Concrete Research* 2021; 141: 106323.
- Scrivener KL., Cabiron JL., Letourneux R. High-performance concretes from calcium aluminate cements. *Cement and Concrete Research* 1999; 29(8): 1215-1223.
- Şanal İ. Beton basınç dayanım testlerinde küçük ebatlı küp beton numunelerin yaygın kullanımı için şekil-boyut etkisinin detaylı incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 2018; 20(58): 103-120.
- TS EN 12350-2 Testing fresh concrete- Part 2: Slump test. Turkish Standards Institute Ankara, 2010.
- TS EN 12390-3 Concrete-Hardened concrete tests- Part 3: Determination of compressive strength in test samples. Turkish Standards Institute Ankara, 2019.
- TS 802 Design of concrete mixes. Turkish Standards Institute Ankara, 2016.
- Vafaei M., Allahverdi A. Influence of calcium aluminate cement on geopolymerization of natural pozzolan. *Construction and Building Materials* 2016; 114: 290-296.
- Yıldırım H., Sengul O. Modulus of elasticity of substandard and normal concretes. *Construction and Building Materials* 2011; 25(4): 1645-1652.
- Zhang T., Zhang M., Chen Q., Zhu H., Yan Z. Enhancing the thermo-mechanical properties of calcium aluminate concrete at elevated temperatures using synergistic flame-retardant polymer fibres. *Cement and Concrete Composites* 2023;140: 105088.