

## **Zorlu Ortam Koşullarında Demiryolu Sanat Yapılarının Yerinde Üretimi: Aşırı Soğuk Hava**

Serhat ÇELİKİTEN\*<sup>1</sup>, Mehmet CANBAZ<sup>2</sup>

*1Eskişehir Teknik Üniversitesi, Ulaştırma Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve  
Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, 26470, Eskişehir, Türkiye*

*2Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği  
Bölümü, 26480, Eskişehir, Türkiye*

*\*yazışılan yazar e-posta: serhat51celikten@gmail.com*

*(Alınış / Received: 27.07.2018, Kabul / Accepted: 15.08.2018)*

**Özet:** Sanat yapıları raylı sistemlerin vazgeçilmez unsurlarıdır. Travers, ray vb. eleman üretimleri prefabrikasyon ile üretilip uygulanabilirken, sanat yapılarında çoğu zaman yerinde üretim yapılması zorunludur. Bu ortamlarda standartlara uygun üretimler yapılması gereklidir, ancak çoğu kez zorlu ortam koşullarında alınabilen önlemler bu tür yapılarda uygulanmayabilmektedir. Bu durumlardan biride aşırı soğuk havada beton dökümüdür. Aşırı soğuk hava yerinde beton dökümü önlem almadan yapılmamalıdır. Ancak bu önlemler zorlu arazi koşullarında yetersiz kalabilmektedir. Bu çalışmada böyle ortamlarda beton üretimlerinde bağlayıcı olarak normal Portland çimentosu yerine hızlı dayanım kazanan kalsiyum alüminatlı çimentolar tercih edilmiş ve -15 °C’de beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen betonların mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Bu deneysel çalışma sonucunda kalsiyum alüminatlı çimentoların çok soğuk ortamlarda ve kısa sürede yeterli dayanım gerektiren sanat yapılarında uygulanabileceği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Demiryolu sanat yapıları, Zorlu ortam koşulları, Aşırı soğuk hava, Beton, Kalsiyum alüminatlı çimento.

### **On-Site Production of Railway Engineering Structures in Severe Ambient Conditions: Extreme Cold Weather**

**Abstract:** Engineering structures are the indispensable elements of railways. While the element production such as traverse, rail, etc. can be produced and applied by prefabrication, it is often mandatory to make on-site production in art structures. It is necessary to make production of the structures in accordance with the standards, but the precautions must be taken for the production of these type of structures cannot be applied in the severe ambient conditions. One of these conditions is pouring of the concrete in extreme cold weather. On-site production of concrete in extreme cold weather must be performed by taking the precautions. However, these precautions may be insufficient. In this study, calcium aluminate cements, have very high early age strength, were employed by conventional Portland cement as binder for the production of concrete. Concrete specimens were manufactured at -15 °C and the mechanical and physical properties of the specimens were investigated. As a result of this experimental study, it is revealed that the calcium aluminate cements can be applied confidently at extremely cold environment and at the engineering structures required high early strength.

**Key words:** Railway engineering structures, Severe ambient conditions, Extremely cold weather, Concrete, Calcium aluminate cements.

## 1. Giriş

Demiryolu hattı proje kotu olan kırmızı kot ile demiryolu yapılacak arazi kotu olan siyah kot arasında bulunan kot farkının ortadan kalkmasını sağlayarak raylı sistem üstyapısının sağlıklı çalışabilmesini ve üstyapıyı olumsuz etkileyebilecek çeşitli etmenlerden koruyan yapıların tümüne demiryolu altyapısı denir. Demiryolu altyapısı normal koşullarda tabii zeminde oluşturulurken arazi koşullarının farklılaşması nedeni ile tabii zemin üzerine sanat yapıları inşa etme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle altyapı üzerine demiryolu hattının döşenebilmesi için gerekli olan her türlü yapı ve imalatlardan meydana gelir denilebilir. Demiryolu hattında meydana gelebilecek mm mertebesindeki hatalar dahi hattın sağlıklı bir şekilde çalışmasını etkileyebilecektir. Demiryolu altyapısında da hattın geometrisini etkileyebilecek hatalardan kaçınılması ve siyah kotun daima kırmızı kot çizgisinde olması gerekmektedir. Bunun yanında, meydana getirilecek altyapı, yüksek tonajlı olan demiryolu araçlarından üstyapıya aktarılan yükü üzerine alarak üstyapının şekil değiştirmeye uğramadan çalışmasına imkân verecek taşıma kapasitesine sahip olmalı ve üstyapıyı çeşitli çevresel etmenlerden korumalıdır [1,2].

Yol sanat yapıları demiryolu altyapısının en önemli unsurlarından biridir. Türkiye’de olduğu gibi dünyada da yapıların büyük bir çoğunluğu betonarme olarak inşa edilmektedir [3]. Sanat yapılarında da bu durum değişmemektedir. Çeşitli çevresel etkilere dayanıklılığı, ekonomik olması ve kaynakların bol olması bu tercihin en önemli nedenleridir.

Betonarme sanat yapılarında kullanılan yapı çelikleri fabrikalarda standart olarak üretilmektedir. Bunun yanında prefabrik olarak üretilen betonarme yapı elemanları üretiminde de işçilik ve çevre koşulları gibi etmenlerin neden olabileceği farklılıklar oldukça azdır. Ancak, yerinde döküm yapılması zorunlu hale gelen yapımların işlerinde beton üretiminin kalitesi özellikle çevre koşullarına ve işçilik niteliğine bağlı hale gelmektedir. Demiryolu gibi trafiğin akışı için hızlı onarım gerektiren ve arazi koşullarının yerinde döküm gerektirdiği yerlerde betonda yeterli dayanım ve dayanıklılığı elde edebilmek için ortam koşulları göz önünde bulundurularak gerekli önlemlerin alınması elzemdir. Çünkü yerinde döküm gerektiren yerlerde beton kalitesi betonarme taşıyıcı sistemlerin dayanım ve dayanıklılığını etkilemektedir. Arazi koşulları gibi nedenlerle yerinde döküm yapılmak zorunda kalınması yeterli beton dayanımı ve dayanıklılığın elde edilmesi için aşırı soğuk hava gibi çeşitli çevresel etmenler karşısında da uygun tedbirleri almayı gerektirir. Bu tedbirlerden biri de uygun malzeme seçimidir.

Kalsiyum alüminatlı çimentolar (CAC) geleneksel Portland çimentosuna göre daha pahalı olmasına rağmen düşük sıcaklık koşulları gibi özel koşullarda kullanımı nedeniyle birçok yapımlarında tercih edilmektedir. +5 °C den daha düşük sıcaklıkta düşük hidratasyon hızı nedeniyle gerekli dayanımı elde edebilmek güçleşmektedir. CAC ise bu problem için bir çözüm olabilir [4]. Düşük sıcaklık koşullarının yanı sıra yüksek sıcaklığa ve kimyasal saldırılara maruz ortam koşulları da CAC ın en çok tercih edildiği yerlerdir [5].

Kür sıcaklığı hidratasyon işleminin kimyasal kinetiğini etkileyen en önemli etmenlerden biridir. Hidratasyon işlemi çok düşük sıcaklıklarda oldukça yavaşlamaktadır, bunun nedeni olarak çözünmüş iyonların difüzyonunun düşük sıcaklıklarda daha zor gerçekleşmesi olarak gösterilebilir. Ayrıca, yavaş gerçekleşen hidratasyon işlemi hidratasyon ürünlerinin daha dengeli dağılmasını ve çimento pastasındaki makro

boyuttaki boşlukların azalmasını sağlamaktadır [6]. Geleneksel Portland çimentosuna CAC ilavesi hidrasyonu hızlandırır da özellikle 0 °C nin üzerindeki ortam koşullarında basınç dayanımı ileri yaşlarda düşürmektedir [7].

Demiryolu hattında değişken ve zorlu arazi koşullarında yerinde beton üretimi yapılacak uygulamalarda oldukça düşük hava sıcaklıkları ile mücadele etmek gerekebilir. Böyle ortamlarda geleneksel betonların dayanım kazanma hızı oldukça düşüktür. Ancak, demiryolları gibi süreklilik arz eden hizmet sektörlerinde özellikle onarım işlerinin hızlı olması istenir. Bu deneysel çalışmada, aşırı soğuk ortamlarda demiryolu sanat yapılarının yapım ve onarım işlerinde kalsiyum alüminatlı çimentoların kullanımı ile kısa zamanda yeterli dayanım elde edilebilirliği araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Su: Bu deneysel çalışmada, tüm karışımlar için karışım suyu ve kontrol betonları için de kür suyu olarak Eskişehir şebeke suyu kullanılmıştır. Bu içilebilir suyun kimyasal analizi Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Suyun kimyasal analizi (mg/dm<sup>3</sup>)

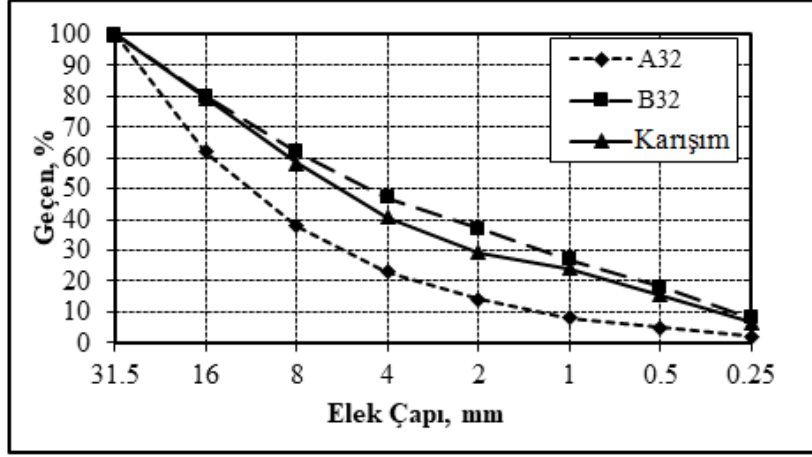
pH	Al	Sertlik	Bulanıklık	SO <sub>4</sub>	Zn	Cu	Fe	NO <sub>3</sub> -N
7.65	0.05	22.57	0.23	64.1	0.375	0.092	0.003	4.7

Çimento: Çalışmada çimento olarak CAC kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2 de sunulmuştur.

Tablo 2. Çimentonun kimyasal özellikleri

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	Cl <sup>-</sup>	S
3.6 %	39.8 %	17.1 %	36.2 %	0.7 %	0.04 %	0.16 %	0.01 %	0.01 %

Agrega: Beton karışımlarında kırma kum (0-4 mm) ve iki farklı boyutta kırmataş(4-8 mm and 8-31.5 mm ) kullanılmıştır. Agreganın tane boyutu dağılımı (granülometrisi) Şekil 1 deki gibidir.



Şekil 1. Agrega tane dağılımı

## 2.2. Metot

Bu çalışmada Tablo 3 de verilen karışım oranlarına göre beton üretilmiştir. Üretilen betonlardan 15 cm küp numuneler alınmıştır. Alınan numunelerin yarısı üretimden hemen sonra kalıpla daha önce -15 °C ye ayarlanmış kabinde kür edilirken, kontrol numuneleri olan diğer yarısı ise standart kür ortamında bekletilmiştir. 6 saat, 1 gün, 2 gün, 5 gün ve 7 gün sonunda aşırı soğukta bekletilen (-15 °C) ve kontrol numuneleri üzerinde birim ağılık, ultrases geçiş süresi ve basınç deneyleri yapılarak aşırı soğuk havanın erken dayanımı yüksek çimento ile üretilen betonun özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

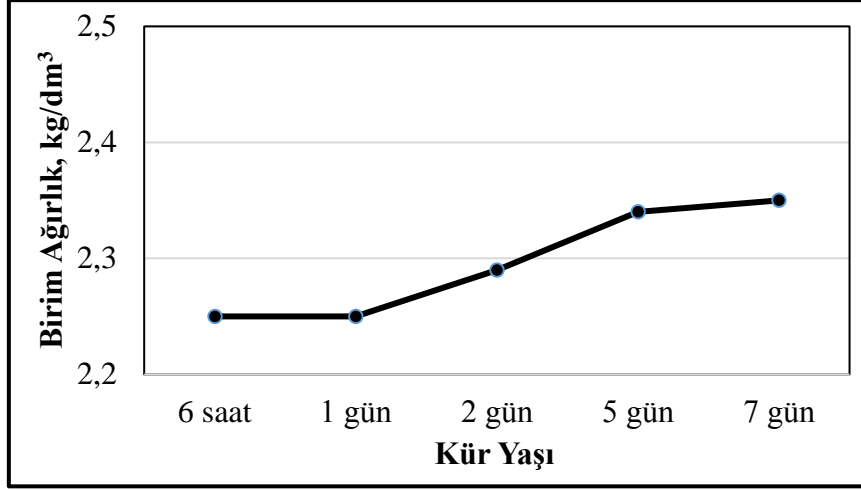
Demiryolu gibi yerinde üretim gerektirebilecek arazi koşullarında çok soğuk havada beton üretimi için çevre koşullarına karşı önlem almak güçleşmektedir. Bu nedenle sadece bağlayıcı türü değiştirilerek aşırı soğuk havada dökülen beton özelliklerinin standart çevre koşullarında dökülen beton özelliklerini ne ölçüde karşıladığı belirlenmiştir.

Tablo 3. 1 m<sup>3</sup> beton için ağırlıkça karışım oranları

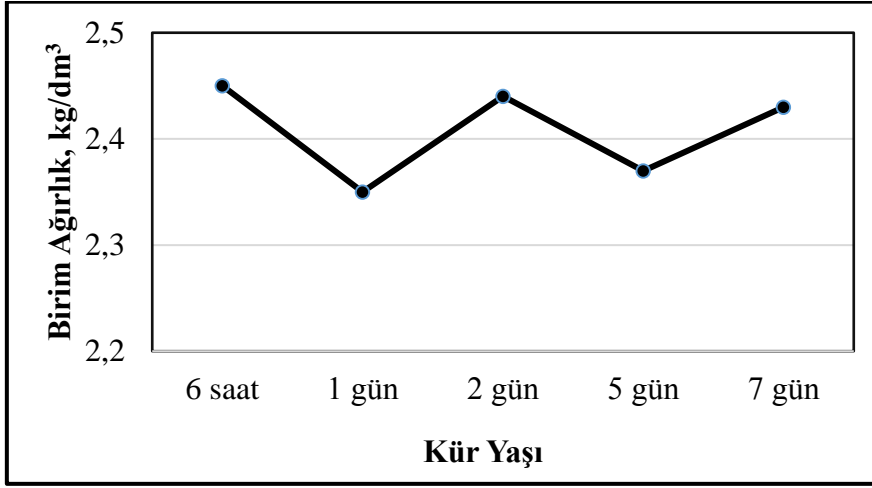
Çimento	Su	Agrega, mm		
		0-4	4-8	8-31.5
400	225	790	360	610

## 3. Bulgular ve Tartışma

Kontrol betonlarının birim ağırlık değişimleri Şekil 2 de verilmiştir. Şekil 2 ye göre zamanla birim ağırlıklar %4 oranında artmıştır. Bunun nedeni standart kür ortamında numune doygunluğunun zamanla sağlanmasıdır. Demiryolu sanat yapılarında özellikle bu yapıların zeminle temas eden elemanlarında yer altı su seviyesi ve yağmur, kar gibi su kaynakları nedeniyle suya doygunluk görülmektedir. Şekil 3 de ise aşırı soğuk ortamda bekleyen numunelerin zamanla birim ağırlıklarındaki değişimler görülmektedir. Şekil 3 incelendiğinde ise birim ağırlıklar 2.4 kg/dm<sup>3</sup> ± %2 civarında değişkenlik göstermiş, zamana bağlı bu değişkenlik yüzdesi azalmıştır. Buradaki değişkenlik CAC ın hidrasyon reaksiyonları sonucunda ortaya çıkan ısıнын, aşırı soğuk etkisinde donmuş olan bir kısım karışım suyunu kısmen eritmesi ile ortaya çıkan suyun hidrate olmamış CAC tanecikleri ile tekrar reaksiyona girmesi olarak gösterilebilir.



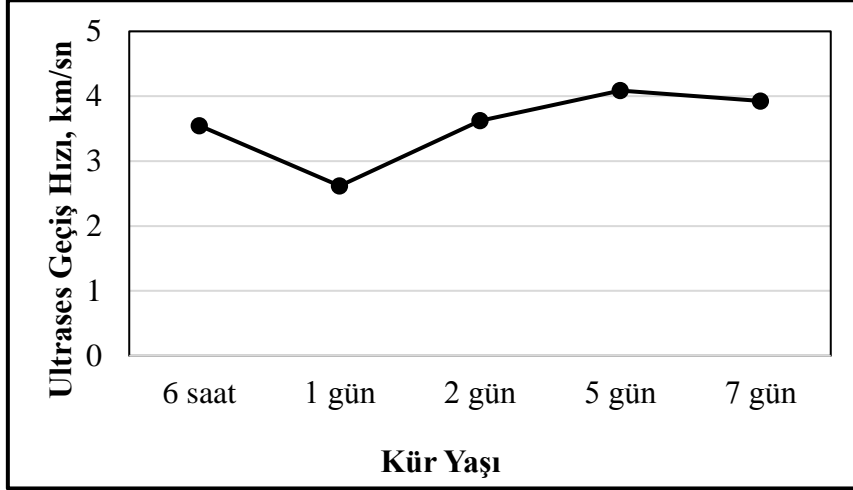
Şekil 2. Kontrol betonlarının birim ağırlıkları



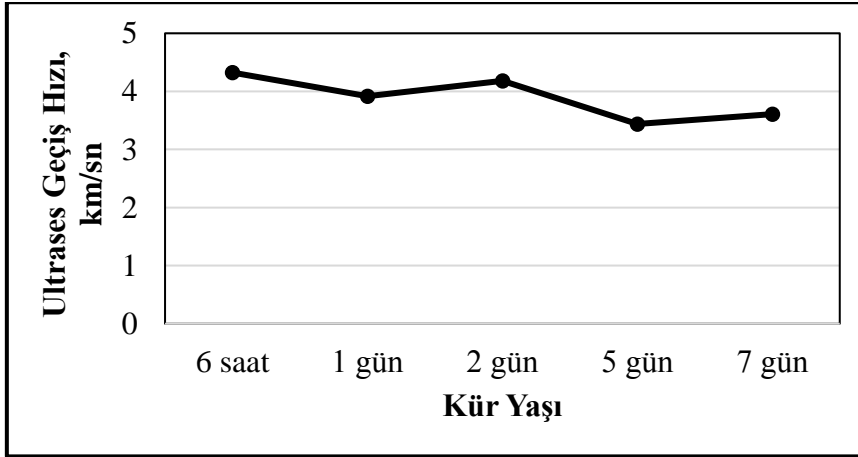
Şekil 3. -15 °C de kür edilen betonların birim ağırlıkları

Demiryolu sanat yapıları zararlı çevresel etkilere maruz kalabilmektedir. Burada önemli olan kısım bu zararlı dış etkileri beton içerisine nüfuzudur. Beton ne kadar geçirimsiz olursa bu etkilere daha çok dayanıklıdır. Ayrıca, betonun boşluk hacmi ve bu boşlukların birbirleriyle bağıntıları betonun geçirimsizliği ile ilgili bilgi verebilir. Bu amaçla, betonun boşluk hacmi ve yoğunluğu ile ilgili fikir verebilecek olan ultrases geçiş hızı deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde malzemeden geçecek ultrases dalgasının malzemedeki boşluklardan direkt olarak geçememesi ve etrafından dolanması dalgaların malzemeden geçiş süresini uzatmaktadır. Betonda gerçekleşen hidratasyon reaksiyonları ile birlikte, betondaki boşluk miktarı azalmakta ve hidratasyonun gerçekleşme derecesi de boşluk miktarını etkilemektedir. Aşırı soğuk havada, geleneksel betonlarda hidratasyon reaksiyonlarının gerçekleşme hızının oldukça düşmesi ve özellikle donan karışım suyu nedeniyle durma noktasına gelmesi betonun dayanımını ve boşluk yapısını etkilemektedir. Bu amaçla, yapılan deneysel çalışma kapsamında CAC ile üretilen betonlarda hidratasyon işleminin aşırı soğuk havada gerçekleşme derecesi bu deneyle araştırılmıştır. CAC ile üretilen kontrol betonlarının ultrases geçiş hızlarındaki değişimler Şekil 4 de verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde beklenildiği üzere zamanla ultrases geçiş hızları genellikle artmıştır. Hidratasyon reaksiyonları erken yaşlarda daha etkili

olduğundan oluşan ürünlerin boşluk doldurma etkisi ultrases geçiş hızı değerlerini zamanla artırmıştır. Şekil 5 de ise aşırı soğuk ortamda bekletilen beton numunelerin ultrases geçiş hızı değişimleri görülmektedir. Şekil 5 incelendiğinde aşırı soğuk ortam genel olarak ultrases geçiş hızı artışına neden olmuştur. Bu artışın nedeni olarak da normal kür koşullarında CAC'ın çok hızlı hidrate olması nedeniyle meydana gelen heterojen jel dağılımının, aşırı soğuk havada daha yavaş gerçekleşmesi ve jel dağılımının daha uniform dağılım göstermesi olarak gösterilebilir.



Şekil 4. Kontrol betonlarının ultrases geçiş hızları

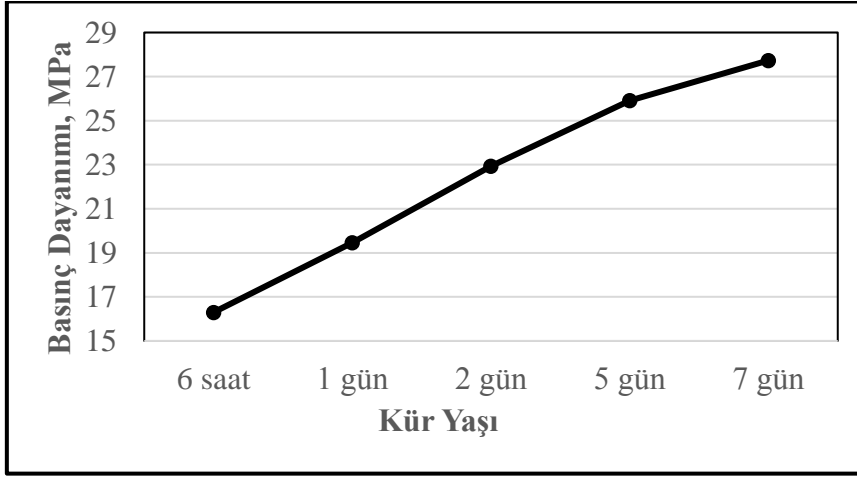


Şekil 5. -15 °C de kür edilen betonlarının ultrases geçiş hızları

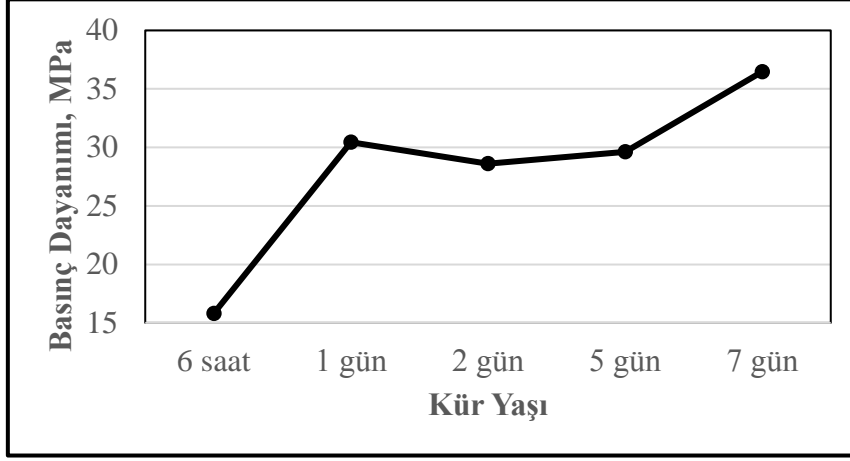
Kontrol betonlarının 6 saat, 1 gün, 2 gün, 5 gün ve 7 günlük basınç dayanımı değerleri Şekil 6 da verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde, kontrol betonlarının 6 saat gibi çok kısa sürede 16 MPa basınç dayanımına ulaştığı görülmüştür. Bu betonların basınç dayanımı çok hızlı bir şekilde artarak 7 günün sonunda 28 MPa değerine ulaşmıştır. Geleneksel

betonların sertleşme süreci kısa olmakla beraber dayanım kazanma süreci çok daha uzun sürmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, CAC ile üretilen betonlarda 6 saat gibi kısa sürede sertleşmesinin yanında elde edilen dayanım kalıpların 6 saat gibi kısa sürede erken sökülmesini, demiryolu gibi acil yol açma gerekliliği bulunan yerlerde servis gereksinimlerinin karşılanabilmesini ve beton bakımı için gerekli personelin ve malzemesinin tatbik sahasına sevkinin gerekli olmamasını sağlayabilecektir.

Aşırı soğuk havada bekletilen beton numunelerinin 6 saat, 1 gün, 2 gün, 5 gün ve 7 günlük basınç dayanımı değerleri Şekil 7 de gösterilmiştir. Dökümden 6 saat sonra aşırı soğukta bekletilen numunelerinden elde edilen basınç dayanımı değerleri kontrol betonlarına göre nispeten daha düşüktür. Bununla birlikte, 6 saatten sonra aşırı soğukta bekletilen numunelerin basınç dayanımları kontrol betonlarına göre daha yüksek elde edilmiştir. 7 günün sonunda ise aşırı soğukta bekletilen numunelerin basınç dayanımları kontrol betonlarına göre yaklaşık %31 oranında daha yüksek olmuştur. Aşırı soğuk havada geleneksel betonun dayanım kazanması için agregaların ısıtılması, beton karışım suyunun sıcak olarak kullanılması, ortamın tecrit altına alınarak ısıtılması ve yalıtımın sağlanması, dökümden sonra da betonun bakımı kapsamında ısıtma ve yalıtımın devam ettirilmesi gibi birçok pahalı ve işçilik yönünden zahmetli işlemler gerektirmektedir. Bu çalışmada -15 °C gibi birçok bölgede sıklıkla karşılaşılabilecek çok düşük sıcaklıklarda CAC kullanılmasıyla çok kısa sürede elde edilen basınç dayanımı değerleri ile özellikle demiryolu yapımı gibi süreklilik gerektiren ve yapımı zaman alan işlerde hem servis devamlılığını hem de inşa sürecinin kısılmasını sağlayabilecek üretimler için bir çözüm olabilecektir.



Şekil 6. Kontrol betonlarının basınç dayanımı gelişimleri



Şekil 7. -15 °C de kür edilen betonlarının basınç dayanımı gelişimleri

#### 4. Sonuç ve Yorum

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- CAC ile üretilen normal kür koşullarında beklenen betonların birim ağırlıkları ile soğuk havada beklenen betonların birim ağırlıkları kıyaslandığında önemli bir değişim gözlenmemiştir. CAC kullanımı ile özellikle soğuk havada betonlarda oluşabilecek ağırlık kayıpları görülmemiştir.

- Üretilen betonların ultrases geçiş hızları aşırı soğuk gibi olumsuz kür koşullarında bile dolu bir yapı elde edilebileceğini göstermiştir. Sonuçlar 4 km/sn civarında olduğundan kaliteli bir beton olduğunu söylenebilir.

- Bağlayıcı olarak CAC kullanıldığında 6 saat gibi kısa zamanda elde edilen basınç dayanımı sonuçları bu betonların acil yapım ve onarım işlerinde, kalıp alma sürecini kısaltmada, demiryolu sanat yapılarında meydana gelebilecek kazalardan kaynaklı zararların kısa zamanda giderilmesi gibi uygulamalarda rahatça kullanılacağı görülmüştür.

- Aşırı soğuk havada CAC ile üretilen betonların basınç dayanımları normal kürede beklenen kontrol numunelerine göre ilk saatlerde benzer değişim gösterirken zamanla dayanım % 30'a ulaşan oranlarda artmıştır.

Demiryolu sanat yapılarının inşa sürecinde sadece bağlayıcı olarak CAC kullanılması ile karşılaşılabilecek olumsuz arazi koşullarında ve soğuk hava gibi zorlu iklim şartlarında kaliteli beton üretimi yapılabileceği görülmüştür. Dayanım kazanma hızının oldukça yüksek olması projede hem ekonomik olarak hem de zamandan tasarruf yapmayı sağlayacaktır. Ayrıca mevcut demiryolu sanat yapılarında oluşabilecek hasarların hızlı onarımı ile oluşabilecek tekayyüdatların önüne geçecektir.



## Kaynakça

- [1] Ekim, O., “Yüksek Hızlı Demiryolları İçin Geometrik Özellikler Ve Altyapı”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2007.
- [2] Toksoy, S., “Demiryolu Altyapı Güçlendirmesinde Geosentetiklerin Kullanımı”, Bahçeşehir Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2017.
- [3] Arslan, M., “Beton”, Yayın no: 03, Birinci basım, s 15-20, Atlas yayın dağıtım, İstanbul, 2001
- [4] J. Ambroise, J. Pera, Use of calcium sulfoaluminate cement to improve strength of mortars at low temperature, Concr. Repair, Rehabilitation Retrofit. II 325-6, 457, 2009
- [5] Scrivener KL, Capmas A. Calcium Aluminate Cements. In: Lea's Chemistry of Cement and Concrete, Fourth Edition, Butterworth Heinemann, Oxford, UK; 1988, p. 709-78.
- [6] Kjellsen, Knut O.; Detwiler, Rachel J. Reaction kinetics of Portland cement mortars hydrated at different temperatures. Cement and Concrete Research, 1992, 22.1: 112-120.
- [7] Garces, P.; Garcia Alcocel, E.; Garcia Andreu, C. Hydration characteristics of high alumina cement. ZKG international, 1998, 51.11: 646-649.

## Özgeçmiş



### Serhat ÇELİK TEN

2011 yılında Gaziantep Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2011-2012 yılları arasında Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi'nde, 2012-2014 yılları arasında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'nda ve 2014-2017 yılları arasında T.C.D.D. 2.Bölge Müdürlüğü bünyesinde Mühendis olarak çalıştı. 2017 yılında başladığı Anadolu Üniversitesi Ulaştırma Meslek Yüksekokulu'ndaki Öğretim Görevliliğine ve 2014 yılında başladığı Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'ndaki Doktora eğitimine halen devam etmektedir



### Mehmet CANBAZ

1998 yılında YTÜ İnşaat Fakültesinden mezun oldu. Yüksek Lisansını Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yaptı. ESOĞÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yaptığı doktorasını 2007'de tamamladı. Halen Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Hafif ve ağır betonlar, atık oto lastiklerinin, silis dumanının, uçucu küllerin, eski beton kırıklarının ve atık camların betonda kullanılması ile ilgili çeşitli araştırmaları bulunmaktadır.