



Farklı Priz Hızlandırıcı Katkıların Püskürtme Beton Performansına Etkisinin Karşılaştırmalı Analizi

Comparative Analysis of the Effect of Different Setting Accelerator Admixtures on Shotcrete Performance

Hasan Polat^{*1} , Cengiz Özel² 

¹ Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Bingöl, TÜRKİYE

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 16/05/2023

Kabul / Accepted: 19/09/2023

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2023

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2023

Öz

Priz hızlandırıcılar hem kuru hem de ıslak karışım püskürtme beton uygulamalarında giderek daha fazla kullanılmaktadırlar. Priz hızlandırıcılar, erken yaş dayanımını artırmak, tozu ve geri sekmeyi azaltmak için kuru karışım uygulamalarında yaygın olarak kullanılırken, ıslak karışımda hızlı sertleşme ve erken mukavemet elde etmek için kullanılırlar. Yapılan bu çalışmada ıslak karışım püskürtme betonlarda kullanılan sıvı priz hızlandırıcı katkıların optimum değerleri araştırılmıştır. Priz hızlandırıcı katkı miktarı kullanılan çimento miktarının %0 (kontrol), %2, %4, %6 ve %8 oranlarında kullanılarak püskürtme beton numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde, priz süresi tayini, basınç dayanımı (1gün, 7gün, 28 gün) deneyleri yapılmış ve iç yapı analizleri ile incelenmiştir. Çalışmada çimento olarak CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmış olup, katkı olarak alkali içeren ve içermeyen iki farklı priz hızlandırıcı katkı kullanılmış, su/çimento oranı 0,35 olarak sabit tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda, alkali içeren katkılarda %4'den yüksek katkı kullanımının uygun olduğu belirlenmiştir. Alkali içermeyen katkı türünde ise %8'den yüksek belli oranlarında katkı kullanımının uygun olacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca 1 ve 7 günlük basınç dayanımlarında priz hızlandırıcı katkı etkisinin bariz bir şekilde görüldüğü 28 günde ise kontrol betonun basınç dayanımına göre yaklaşık %22 oranında bir azalma meydana geldiği görülmüş olup yapılan içyapı analizleriyle bu durum desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Püskürtme beton, priz hızlandırıcı katkı, basınç dayanımı, priz süresi tayini”

Abstract

Setting accelerators are increasingly used in both dry and wet mix shotcrete applications. While setting accelerators are widely used in dry mix applications to increase early age strength, reduce dust and rebound, they are used in wet mix applications to achieve rapid hardening and early strength. In this study, the optimum values of liquid setting accelerator admixtures used in wet mix shotcrete were investigated. Shotcrete specimens were produced by using 0% (control), 2%, 4%, 6% and 8% of the cement amount. Setting time determination, compressive strength (1 day, 7 days, 28 days) tests were performed on the produced specimens and analyzed by internal structure analysis. In the study, CEM I 42.5 R type cement was used as cement, two different setting accelerator additives with and without alkali were used as admixtures, and the water/cement ratio was kept constant at 0.35. As a result of the experiments, it was determined that the use of additives higher than 4% was appropriate for additives containing alkali. In the alkali-free admixture type, it is estimated that the use of admixtures at certain ratios higher than 8% will be appropriate. In addition, it was observed that the effect of the setting accelerator admixture was clearly seen in the compressive strengths of 1 and 7 days, and a decrease of approximately 22% was observed in 28 days compared to the compressive strength of the control concrete, and this was supported by the internal structure analysis.

Key Words

“Shotcrete, accelerator additive, compressive strength, setting time determination”

1. Giriş

Geleneksel olarak bilinen çimento esaslı kompozit beton, birçok altyapı ve üstyapı uygulamasında yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Geleneksel betonun üretimi kolaydır, istenilen şekli verebilir, yüksek basınç dayanımı gösterir ve ekonomiktir. Bununla birlikte, çekme dayanımı ve yorulma dayanımı gibi süneklik gerektiren özellikleri oldukça düşüktür.

Geleneksel beton, bazı durumlarda istenilen özellikleri sağlayamadığı için özel betonların kullanılmasını zorunlu kılar. Bu özel betonlardan biri de Amerikan Beton Enstitüsü tarafından (ACI: American Concrete Institute), “bir hortumla taşınarak bir yüzey üzerine basınçlı hava yardımıyla yüksek hızla püskürtülen beton ya da harç karışımı” olarak tanımlanmış olduğu püskürtme betondur (ACI Committee 506. 1966). Ayrıca Püskürtme beton, bir yüzey üzerine yüksek hızla pnömatik olarak püskürtülen harç veya beton” olarak tanımlanan özel bir beton türüdür. Bu nedenle, püskürtme beton benzersiz bir malzeme olarak değil, betonu yerleştirmek için özel bir süreç olarak kabul edilir (Galan, vd., 2019; Warner, 1995., Cengiz & Turanlı, 2019; Yun, vd., 2020; Wang, vd., 2020; Maltese, vd., 2007; Won, vd., 2013, Polat, vd., 2023, İnce, vd., 2018, İnce, vd., 2015).

Püskürtme beton 1970 yılında Frankfurt ve Münih belediye tünellerinde kaplama yapılarının bir parçası olarak kullanıldığından, tünel desteği, hızlı onarım, şev desteği, gaz ve petrol kuyuları ve diğer yer altı yapıları gibi farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Dorn, vd., 2022; Aitcin, 2016). Daha hızlı inşaat süreçleri için çimento hidratasyonunu hızlandırma arzusu neredeyse çimentonun kendisi kadar eskidir (Çakıroğlu, vd., 2010). Hidratasyon olayını hızlandırmak için, su/çimento oranını (s/c) azaltmak, çimento inceliğini artırmak veya kütleme sıcaklığını artırmak gerekmektedir. Ayrıca çimentonun hidratasyon hızını artıran katkıları da uygulanabilir (De Belie, vd., 2005). Püskürtme betonda, dayanımın yanı sıra dayanıklılık özelliklerinin de geliştirilmesi ve püskürtme betondan beklenen bazı özelliklerin sağlanabilmesi için katkı maddelerinin kullanımı bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu, geleneksel betonda olduğu gibi püskürtme betonun üretiminde katkı maddelerinin kullanılmasını gerektirir. Katkı maddeleri, püskürtme betonun dayanıklılığını artırabilir ve istenen özelliklerin elde edilmesine yardımcı olabilir. (Yang, vd., 2020., İnce, vd., 2018).

Katkıların türleri ve özellikleri, püskürtme betonun inşaat kalitesini ve çevre güvenliğini, ayrıca sertleşmiş püskürtme betonun mekanik özelliğini ve dayanıklılığını etkileyen önemli faktörlerdir. Püskürtme beton yapım teknolojisindeki farklılıklara göre, malzemenin varoluş biçimi söz konusu olduğunda, hızlandırıcı katkı maddesi püskürtme beton için sıvı ve toz hızlandırıcı katkı maddeleri olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Bunlar arasında toz hızlandırıcı katkı maddesi kuru püskürtme beton teknolojisi için uygundur (Melbye, 2006). Sıvı hızlandırıcı katkı, ıslak püskürtme beton teknolojisi için uygundur ve üretimde düşük enerji tüketimi, toz kirliliği olmaması ve püskürtme işleminde düşük geri sekme oranı gibi birçok avantajına atfedilen püskürtme betonda yaygın olarak kullanılmaktadır (Levent, & Kalmış, 2014). Priz hızlandırıcı katkıların priz başlangıcını kısalttığından aynı zamanda geri sekmeyi de azaltır ve bir defada kalın bir tabaka oluşturabilmeyi sağlar (Neville 2011; Hughes, vd.,1995). Püskürtme betonda kullanılan priz hızlandırıcı katkı türleri; alkali içeren priz hızlandırıcılar ve alkali içermeyen priz hızlandırıcılar olarak sınıflandırılabilir (EFNARC, 1996).

Yapılan bu çalışmada püskürtme betonlarda yaygın olarak kullanılan sıvı alkali içeren ve içermeyen priz hızlandırıcı katkıların çimentoyla katkı uyumunu belirlemek çalışmanın temel amacı olarak belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda alkali içeren ve içermeyen iki farklı katkı bağlayıcı miktarının %0 (kontrol), %2, %4, %6 ve %8 oranında kullanılarak, çimento katkı uyumu ve basınç dayanımı üzerindeki etkisini belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışma kapsamında bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R tipi çimento ve çimento katkı uyumunu belirlemek için iki farklı priz hızlandırıcı katkı kullanılmıştır.

2.1.1. Çimento

Yapılan çalışmada Elâzığ SEZA çimentodan temin edilen yoğunluğu 3.13 g/cm^3 ve incelik değeri $4130 \text{ cm}^2/\text{g}$ olan CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentoya kimyasal özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler (CEM I 42,5 R)

Kimyasal bileşim (%)		Çimentonun Fiziksel Özellikleri	
SiO ₂ (%)	19,16	Özgül Ağırlık(g/cm ³)	3,13
Al ₂ O ₃ (%)	4,87	Özgül Yüzey (cm ² /g)	4130
Fe ₂ O ₃ (%)	3,76	İncelik (µ)	2,8
CaO (%)	63,03	Priz Başı (dk)	125
MgO (%)	1,65	Priz Sonu (dk)	210
Kimyasal bileşim (%)		Çimentonun Fiziksel Özellikleri	

SO ₃ (%)	3,26	Hacim Sabitliği	1
K ₂ O (%)	0,58	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	
Na ₂ O (%)	0,17	2 gün	28,1
CI (%)	0,0102	7 gün	40,4
Kızdırma Kaybı	3,43	28 gün	54,2
Çözünmeyen Kalıntı	0,61		

2.1.2. Kimyasal katkılar

Çalışmada alkali içeren ve içermeyen olmak üzere iki farklı priz hızlandırıcı katkı kullanılmıştır. Priz hızlandırıcı katkıları AKKİM Kimya A.Ş. 'den temin edilmiş olup özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kimyasal Katkıların Özellikleri

Kod	Katkı oranı (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	pH	Klorür İçeriği	Alkali (Na ₂ O eşdeğeri, %)	Miktarı
A (Alkali içeren)	35	1,47	13,0	<0,1	<25	
AF (Alkali free)	52	1,42	2,5	<0,1	<0,1	

3. Metot

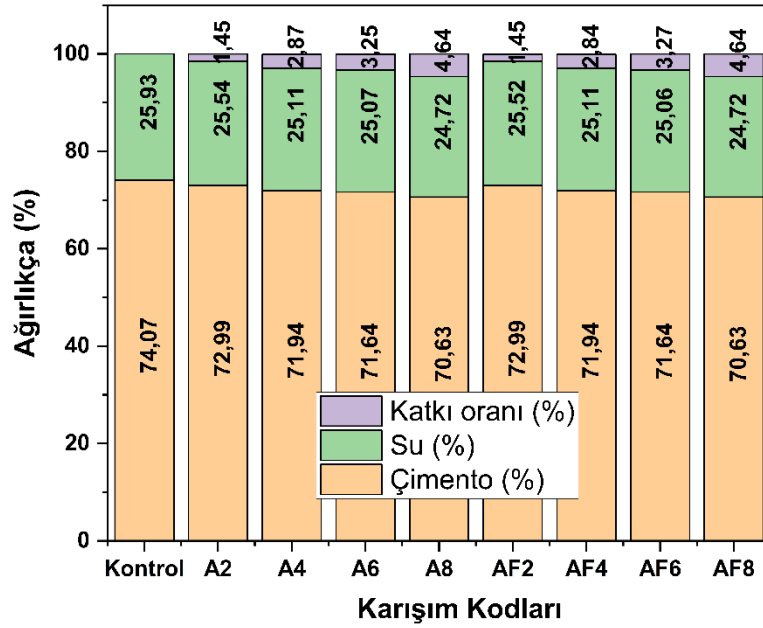
3.1. Üretim Yöntemi

Yapılan çalışmada çimento ve priz hızlandırıcı katkı uyumunu belirlemek için püskürtme beton numuneler laboratuvar ortamında üretilmiştir. Üretilen püskürtme beton numuneleri döküm işlemi gerçekleştirilerek üretilmiştir. Numune üretimi esnasında su/çimento oranı 0,35 olarak sabit tutulmuş olup, kullanılan çimento miktarının %0, %2, %4, %6 ve %8 oranında priz hızlandırıcı katkı kullanılmıştır. Priz hızlandırıcı katkı oranları (EFNARC, 1996) standardında belirtilen değerler göz önüne alınarak belirlenmiştir. Üretilen püskürtme beton numuneleri Şekil 1'de, üretilen numunelerin karışım oranları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Üretilen Numuneler

Yapılan çalışmada Şekil 1'de gösterildiği gibi 5x5x5 cm boyutunda harç numuneler üretilmiştir. Üretim numunelerinin birinci aşamada çimento katkı uyumunu belirlemek için Vicat iğnesi deney aleti kullanılarak priz başlangıç ve bitiş süreleri belirlenmiştir. İkinci aşamada katkı oranına bağlı olarak, 1gün, 7gün ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir. Çalışmada üretilen gruplar ve içerikleri Şekil 1'de verilmiştir. Çalışmada gruplandırma yapılırken alkali içeren katkı (A) olarak, alkali içermeyen katkı (AF) olarak kodlanmıştır. Örneğin AF4 %4 oranında alkali içermeyen katkı kullanılarak elde edilen numune grubunu belirlemektedir.



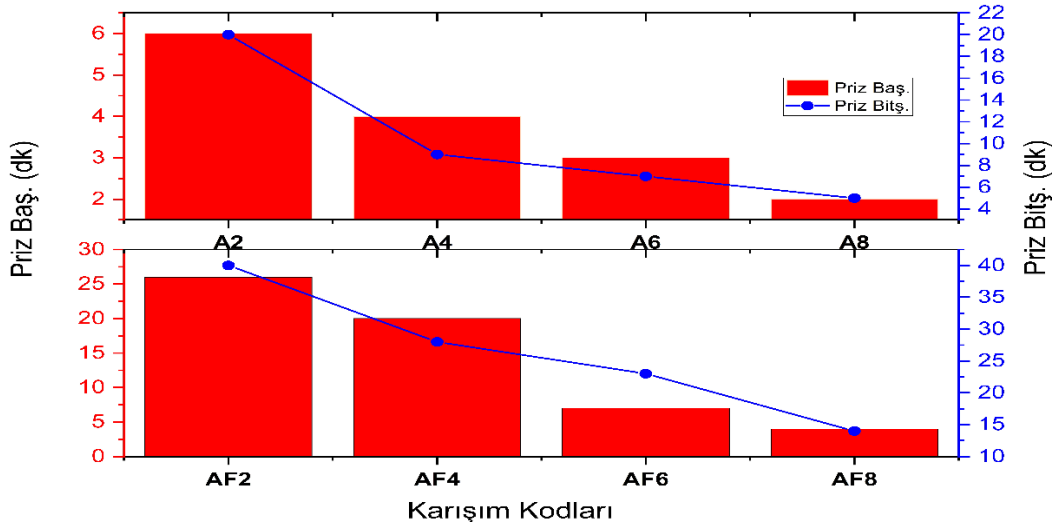
Şekil 2. Püskürtme Beton Karışım Oranları (%)

4. Araştırma Bulguları

Yapılan çalışma sonucunda üretilen numunelerin, birim hacim ağırlık, priz başlangıç ve bitiş süresi tayini ve basınç dayanımı özellikleri incelenmiş ve içyapı analizleriyle desteklenmiştir. Elde edilen veriler ve analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.1. Priz Başlangıç ve Bitiş Zamanının Belirlenmesi

Priz başlangıç ve bitiş süreleri tayini deneyi (ASTM C 597)'e göre yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda elde edilen veriler Şekil 3'de verilmiştir.

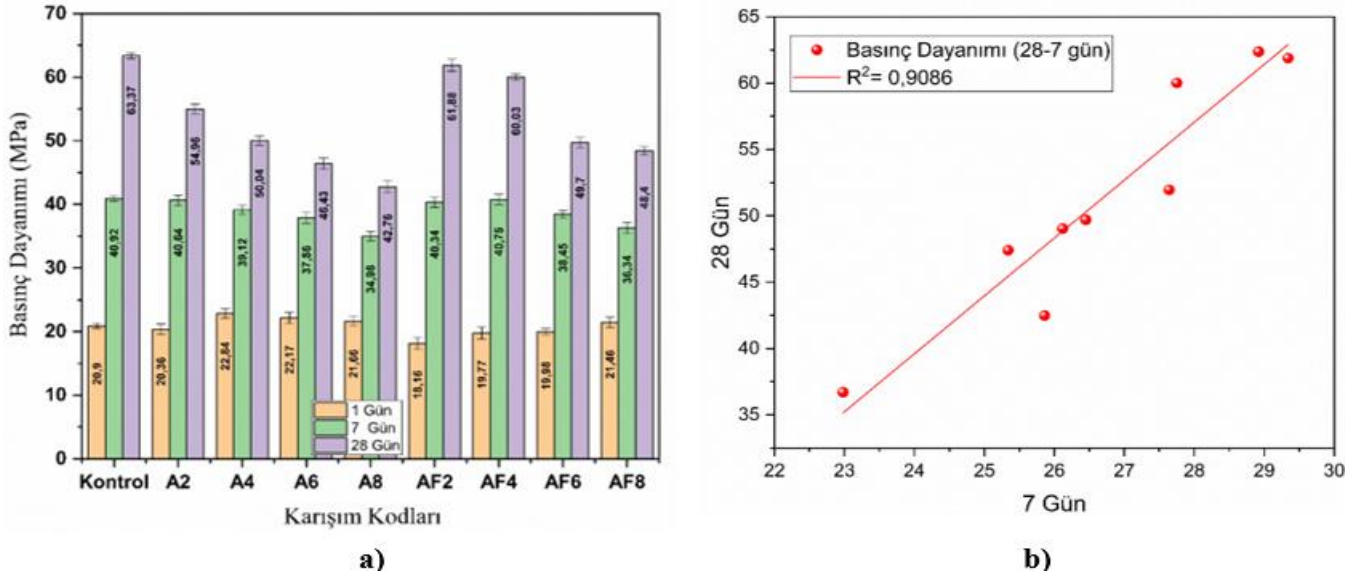


Şekil 3. Püskürtme Betonların Priz baş. ve Priz sonu değerleri (dk)

Belirtilen püskürtme betonlar için priz başlangıç ve bitiş süreleri (Rilem Report 10, 1995)'te belirtilen (priz başlangıcı 3dk, priz sonu 12 dk aşılmasın) göz önüne alınarak Şekil 2'de verilen değerler incelendiğinde, alkali içeren katkıda A4, A6 ve A8, alkali içermeyen katkıda ise AF8 grupları uygun sonuç vermiştir. Alkali içeren katkılarda %4'den yüksek, alkali içermeyen katkı türünde ise %8'den yüksek katkı kullanmak olasıdır. Alkali içeren katkı oranları göz önüne alındığında yüksek oranda katkı kullanımının ekonomik yönden uygun olmadığı görülmekte olup, basınç dayanımı değerleri göz önüne alındığında %4'den daha fazla katkı kullanılan diğer gruplarda basınç dayanımı değerlerin azaldığı görülmektedir. Bu bakımdan alkali içeren katkılarda %4 oranında priz hızlandırıcı katkı kullanmak optimum bir değer olarak belirlenmiştir.

4.2. Basınç Dayanımı

Üretilen numunelerin basınç dayanımı dayanımı (TS EN 12390-3, 2010)'a göre yapılmış olup, basınç dayanımı değerleri Şekil 4'de verilmiştir. Basınç dayanımı değerleri incelendiğinde kür süresinin artmasıyla tüm numune gruplarında artış meydana gelmiştir. Meydana gelen artış miktarı katkılı numunelerde ilk günlerde (1 ve 7 gün) fazlayken kontrol numunesinde ileriki yaşlarda daha fazla olmuştur.

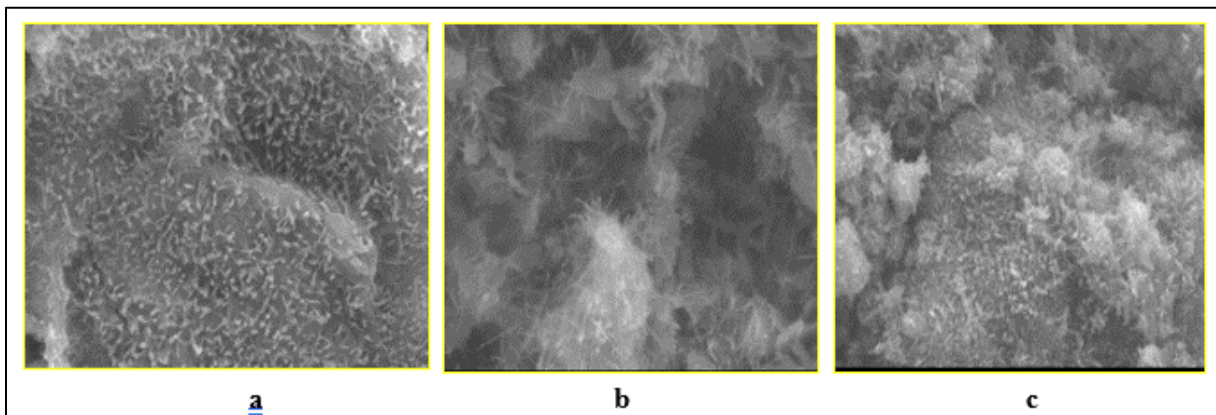


Şekil 4. (a) Basınç Dayanımı Değerleri (b) Basınç Dayanımı Değerleri İlişkisi (28-7 gün)

Priz hızlandırıcı katkılı numunelerin 1 günlük dayanımları incelendiğinde en yüksek dayanım değerinin A4 kodlu numuneden elde edildiği ve kontrol numunesine göre yaklaşık %9,28, AF8 kodlu numunenin ise %2,6 oranında bir artış meydana geldiği belirlenmiştir. 7 günlük dayanım değerleri incelendiğinde priz hızlandırıcı katkılı numunelerin kontrol numunelerine göre yaklaşık %1 ve %10 oranında azalma gösterdiği ve 28 günlük dayanım değerlerinde bu azalma miktarının olarak yaklaşık %22 oranına ulaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca basınç dayanımı 7 ve 28 günlük ilişki şekil 4'de verilmiş olup aralarında yüksek bir belirleyicilik katsayısı (R²=0,9086) elde edilmiştir.

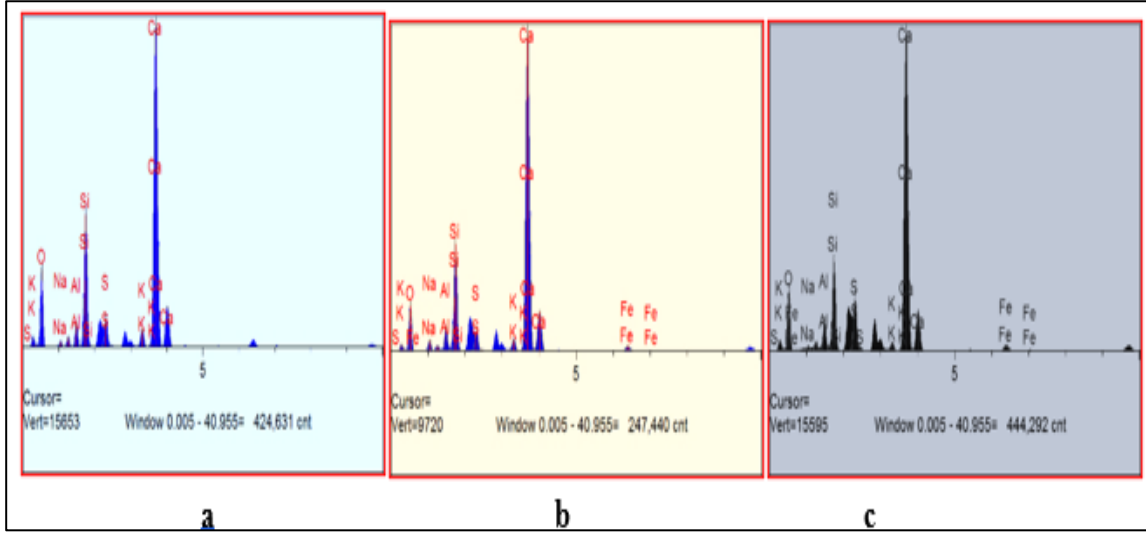
4.3. SEM ve EDX Analizleri

Çalışmada üretilen numunelerden optimum katkı oranına sahip (A4 ve AF8) ve kontrol numunelerine ait 1 günlük SEM görüntüleri Şekil 5'de gösterilmiştir. 1 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde hidrasyon ürünleri, hidrasyon sürecindeki farklılıklar nedeniyle farklılık göstermiştir. SEM sonuçlarından, hızlandırıcı eklenmediğinde çimento parçacıklarının erken hidrasyon hızının yavaş olduğu, Şekil 5b'de hidrasyon oranı Şekil 5a ve 5c'ye göre daha yüksektir. İğnemi AFt, 1 günlük hidrasyon yaşında çimento klinkerinin yüzeyine püsküllü bir birikim ve bağlanma şeklinde şekil 5b'de görülmektedir.



Şekil 5. (a) Kontrol (b) A4 (c) AF8'e ait SEM Görüntüleri

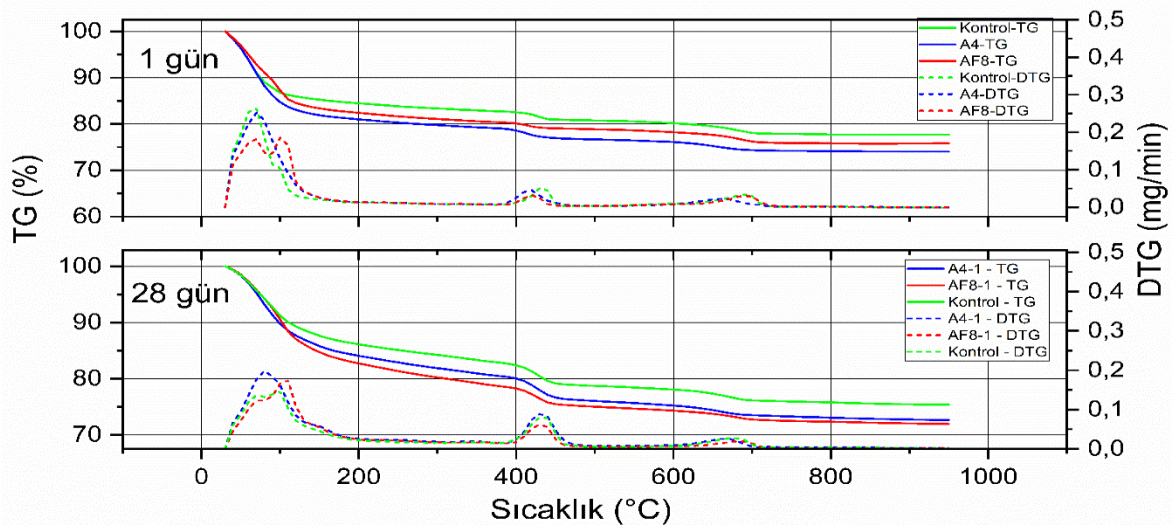
Kontrol, A4 ve AF8 numunelerine ait EDX analiz sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Bütün numunelerin EDX analizleri benzer bir dağılım göstermiş olup, bulunan elementler C, O, Al, Si ve Ca için sırasıyla yaklaşık %5,42- %6,34, %38,17-%42,82, %2,04-%3, %7,60-%10,31 ve %33,39- %40,12 olarak belirlenmiştir. Na, Mg, Ki Fe ve diğer elementler ağırlıkça %2.00 altında belirlenmiştir.



Şekil 6. (a) Kontrol (b) A4 (c) AF8 ait EDX Analizleri

4.4. TGA Analizi

TGA veya TG “termogravimetrik analiz” anlamına gelir ve malzemelerin sıcaklık değişimlerine yanıt olarak ağırlık kaybını ölçmek için kullanılan bir analiz yöntemidir. DTG (diferansiyel termal gravimetre), ise ağırlık kaybı hızı, sıcaklığın veya sürenin fonksiyonudur. Çimento bir birleşik karışımdır ve TGA analizi, çimentonun bileşenlerinin ayrışması ve ayrışma sıcaklıklarının belirlenmesi açısından önemlidir. Çimentonun TGA analizi, genellikle 2000C ile 1000°C arasında bir sıcaklık aralığında gerçekleştirilir. Priz hızlandırıcı katkı maddesi içeren çimento hamurunun TGA analizi, normal çimentonun TGA analizinden farklılık gösterebilir. Ayrıca priz hızlandırıcı katkı maddesi içeren çimento hamurunun TGA analizi, çimento hamurunun sertleşme sürecindeki değişiklikler hakkında bilgi sağlayabilir. Üretilen püskürtme betonların TGA analiz değerleri Şekil 7 ve Tablo 3’te verilmiştir.



Şekil 7. Termografik Analiz Değerleri

Tablo 3. TGA Analiz Değerleri

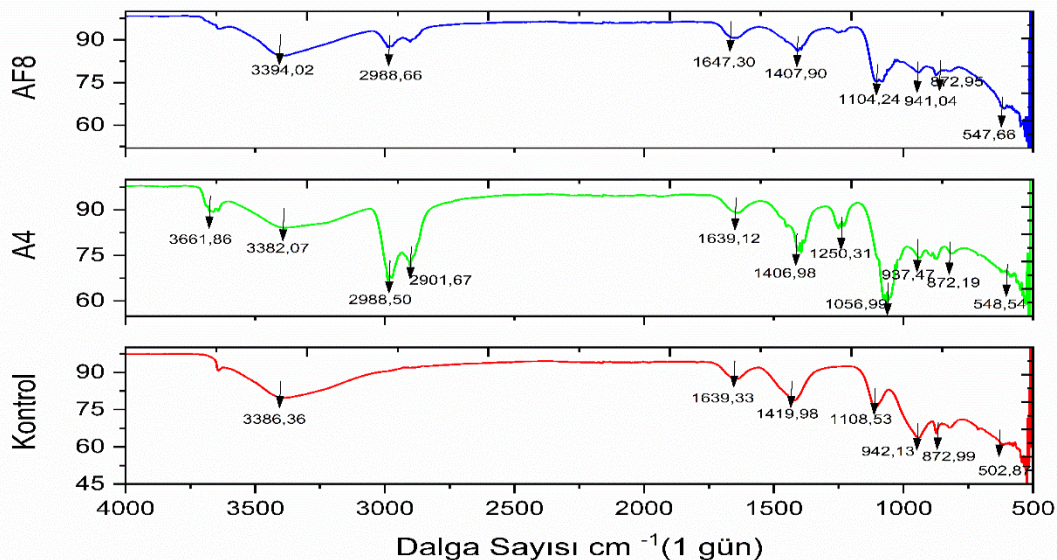
1 günlük	T ₅	T ₁₀	T ₅₀	T _{MAX}	Artık kütle	Kütle kaybı
Kod	°C	°C	°C	°C	(%)	(%)
A-4	55,52	73,21	-	70,0	74,02	25,98
AF-8	59,75	87,02	-	100,0	75,76	24,24
Kontrol	55,60	74,42	-	70,0	77,68	22,32
28 günlük	T ₅	T ₁₀	T ₅₀	T _{MAX}	Artık kütle	Kütle kaybı
A-4	71	98,08	-	80	72,63	27,37
AF-8	74,92	102,4	-	110	71,95	28,05
Kontrol	74,63	111	-	100	75,37	24,63

Tablo 3’de T₅, T₁₀, T₅₀, T_{max} (yüzde kütle kayıplarının meydana geldiği sıcaklık değerleri), artık kütle ve kütle kaybı değerleri verilmiştir. TGA analiz değerlerinde 1 günlük sonuçlar incelendiğinde, alkali içeren priz hızlandırıcı katkının betonun erken yaşta prizlenmesini hızlandırdığını ve bunun sonucunda daha hızlı bir sertleşme süreci olduğunu göstermektedir. Ancak bu süreçte, alkali içeren katkının betonun kimyasal yapısını etkilediği ve toplam kütle kaybına neden olduğu da açıktır. 28 günlük TGA sonuçlarına göre, tüm numunelerin toplam kütle kaybı artmıştır. Bu sonuçlar, betonun 28 gün boyunca sürekli olarak sertleşmesi ve kurumasiyla ilişkilidir. Alkali içeren katkı ve alkali içermeyen katkı kullanılan numunelerde kontrol numunesine göre daha yüksek kütle kaybı olması, bu katkıların betonun kimyasal yapısını etkilediğini ve betonun özelliklerini değiştirdiğini göstermektedir. 1 günlük TGA sonuçlarında alkali içeren ve içermeyen katkılara sırasıyla kontrol numunesine göre %16,40 ve %8,60 oranında, 28 günlük numunelerde ise %11,2 ve %13,89 oranlarında daha fazla kütle kaybı meydana gelmiştir. Ayrıca, 28 günlük sonuçlarda alkali içeren katkı kullanan numunelerde kütle kaybı oranı alkali içermeyen katkı kullanan numunelerden daha düşük olduğundan, uzun vadede alkali içeren katkının betonun dayanıklılığına olumsuz bir etkisi olmayabilir.

4.5. FTIR Analizi

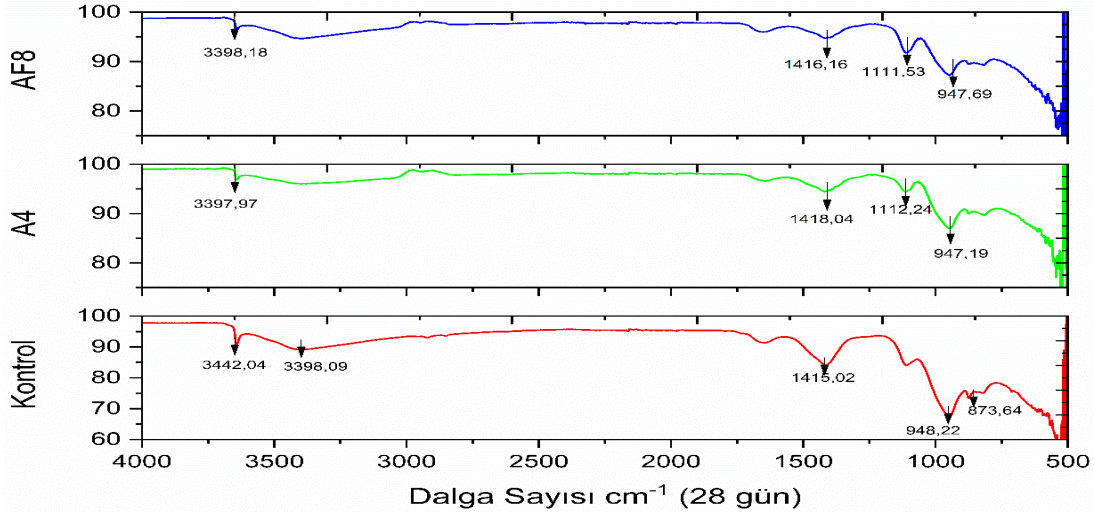
FT-IR spektroskopisinde 500-1600 cm⁻¹ aralığında katı kafeslerini oluşturan atomların titreşimleri, 1600-3000 cm⁻¹ aralığında ise moleküler titreşimler izlenmektedir (Şahin, & Koçak, 2022). Üretilen Kontrol, A4 ve AF8 numunelerine ait FTIR spektrumları Şekil 8 ve Şekil 9. ‘da verilmiştir. Kontrol numunesinin (Portland çimentosu) FT-IR analizine göre 3442, 3386, 1415, 1639, 1419, 1108, 948, 942, 872 ve 502 cm⁻¹ dalga sayılarında titreşim piklerine sahip olduğu görülmektedir.

Buna göre 3442 ve 3386 cm⁻¹ dalga sayıları aralığındaki belirgin bir pik vermediği ancak 3371 cm⁻¹ civarındaki geniş bantlar, O – H bağının esneyen titreşim modlarına atfedilmiştir (Silva, vd., 2002). Si-O bağları 875 cm⁻¹ dalga sayısında titreşim piki şeklinde, Al-O bağları 538 cm⁻¹ görülmektedir (Gomes, & Ferreira, 2005; Varas, vd., 2005).



Şekil 8. 1 Günlük Numunelerin FTIR Analiz sonuçları

FTIR spektrumları incelendiğinde $3661,86 \text{ cm}^{-1}$ spektrumunda Bassanit oluşumu görülmektedir (Mollah, vd., 2004). Portland çimentosunda orijinal olarak bulunan sülfatlar, alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), hemihidrat (bassanit, $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) ve anhidrittir (CaSO_4) (Dener, 2023). 1645 cm^{-1} görülen küçük titreşim bandı, H-OH bağlarının bükülme titreşim modlarına karşılık gelir (Mollah, vd., 2000). $1400\text{--}1500 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki titreşimler CO_3 denk gelmektedir (Yu, vd., 1999; Bernal, vd., 2015). Si-O bağının en güçlü titreşimine atfedilen bant, FTIR spektrumunda gözlemlendi. 960 ile 980 cm^{-1} arasındaki dalga sayılarında ortaya çıkar. Ancak alüminosilikat kaynağına bağlı olarak daha yüksek dalga sayılarında (1050 cm^{-1}) oluşabilir. 1200 ile 950 cm^{-1} arasındaki bandın Si-O-Si veya Si-O-Al bağının asimetric esneme titreşim modu ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Zhang, vd., 2002; Zhang, vd., 2020; Wang, vd., 2020)



Şekil 9. 28 Günlük Numunelerin FTIR Analiz Sonuçları

5. Sonuç

Priz hızlandırıcı katkıların püskürtme betonların priz süresi ve basınç dayanımı üzerindeki etkisinin incelendiği bu çalışma, ileride yapılacak olan püskürtme beton çalışmalarına ışık tutacaktır. Yukarıda yapılan incelemeler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Alkali içeren katkılarda %4'den yüksek, alkali içermeyen katkı türünde ise %8'den yüksek katkı kullanmak olasıdır. Alkali içeren katkı oranları göz önüne alındığında yüksek oranda katkı kullanımının ekonomik yönden uygun olmadığı görülmektedir. Bu bakımdan alkali içeren katkılarda %4 oranında priz hızlandırıcı katkı kullanmak optimum bir değer olarak belirlenmiştir. Ayrıca basınç dayanımı değerleri göz önüne alındığında %4'den daha fazla katkı kullanılan diğer gruplarda basınç dayanımı değerlerin azaldığı görülmektedir.
- Basınç dayanımı değerleri incelendiğinde en yüksek dayanımın A4 kodlu numuneden elde edildiği ve kontrol numunesine göre yaklaşık %9,28, AF8 kodlu numunenin ise %2,6 oranında bir artış meydana geldiği belirlenmiştir. 7 günlük dayanım değerleri incelendiğinde priz hızlandırıcı katkılı numunelerin kontrol numunelerine göre yaklaşık %1 ve %10 oranında azalma gösterdiği ve 28 günlük dayanım değerlerinde bu azalma miktarının yaklaşık %22 oranına ulaştığı gözlemlenmiştir.
- 1 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde hidratasyon ürünleri, hidratasyon sürecindeki farklılıklar nedeniyle farklılık göstermiştir. A4 kodlu numunenin hidratasyon oranı kontrol ve AF8 kodlu numuneye göre daha yüksektir. İğnemsiz AFt, 1 günlük hidratasyon yaşında çimento klinkerinin yüzeyine püsküllü bir birikim ve bağlanma şeklinde A4 kodlu numunede görülmektedir.
- 1 günlük TGA sonuçlarında alkali içeren ve içermeyen katkılara sırasıyla kontrol numunesine göre %16,40 ve %8,60 oranında, 28 günlük numunelerde ise %11,2 ve %13,89 oranlarında daha fazla kütle kaybı meydana gelmiştir. Beton karışımlarında kullanılan katkıların, betonun özelliklerini etkilediği ve uzun vadeli davranışını değiştirebileceği gösterilmiştir. Bu nedenle, beton karışımlarında katkı kullanılırken dikkatli olunmalı ve uzun vadeli beton davranışının anlaşılması için uzun süreli testler yapılmalıdır. Ayrıca farklı katkı türü ve farklı oranlarda katkı kullanılarak çalışmaların yapılması ile püskürtme betonların özelliklerinin saptanması sonraki yapılacak çalışmalara tavsiye edilebilir.

Referanslar

- ACI Committe 506. (1966). Recommended Practice for Shotcrete, American Concrete Institute, Farmington Hills.
- Aitcin, P. C. (2016). Accelerators. In Science and technology of concrete admixtures (pp. 405-413). Woodhead Publishing.
- ASTM C 597. (1979). Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Pennsylvania, USA.
- Bernal, S. A., Rodríguez, E. D., Mejía de Gutiérrez, R., & Provis, J. L. (2015). Performance at high temperature of alkali-activated slag pastes produced with silica fume and rice husk ash based activators. *Materiales de construcción*, 65(318).
- Cengiz, O., Turanlı. L. (2004). Comparative evaluation of steel mesh, steel fibre and high-performance polypropylene fibre reinforced shotcrete in panel test. *Cement and concrete research*, 34(8), 1357-1364.
- Çakıroğlu, M. A., & Terzi S. (2010). Püskürtme betonda yüzey hazırlığının önemi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 2(2), 85-92.
- De Belie, N., Grosse, CU, Kurz, J., & Reinhardt, HW (2005). Püskürtme beton için farklı hızlandırıcı katkıların ve çimento türlerinin priz ve sertleşme davranışı üzerindeki etkisinin ultrasonla izlenmesi. *Çimento ve Beton Araştırması*, 35 (11), 2087-2094.
- Dener, M. (2023). Effect of Ferrochrome Slag Substitution on High Temperature Resistance and Setting Time of Alkali-Activated Slag Mortars. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-11.
- Dorn, T., Blask, O., & Stephan, D. (2022). Acceleration of cement hydration—A review of the working mechanisms, effects on setting time, and compressive strength development of accelerating admixtures. *Construction and Building Materials*, 323, 126554.
- EFNARC, (1999). European Specification for Sprayed Concrete Guidelines, ISBN. 0952248360, p28.
- Galan, I., Baldermann, A., Kusterle, W., Dietzel, M., & Mittermayr, F. (2019). Durability of shotcrete for underground support—Review and update. *Construction and Building Materials*, 202, 465-493.
- Gomes, C., & Ferreira, O. P. (2005). Analyses of microstructural properties of VA/VeoVA copolymer modified cement pastes. *Polímeros*, 15, 193-198.
- Hughes, TL, Methven, CM, Jones, TG, Pelham, SE, Fletcher, P., & Hall, C. (1995). Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi ile çimento bileşiminin belirlenmesi. *Gelişmiş Çimento Esaslı Malzemeler*, 2 (3), 91-104.
- İnce, H. H., Çakıroğlu, M.A., İnce, G., & Öcal, C. (2018). Püskürtme beton üretiminde kullanılan katkı maddeleri, III. Uluslararası mesleki ve teknik bilimler kongresi, 3421- 3428, Gaziantep.
- İnce, H. H., Öcal, C., İnce, G & Çakıroğlu, M.A. (2018). Püskürtme beton uygulama örnekleri, III. Uluslararası mesleki ve teknik bilimler kongresi, 3421- 3428, Gaziantep,
- İnce, H., Öcal, C., Alkan Çakıroğlu, M. & Çelik, S. (2015). Püskürtme Beton Uygulamaları ve Kullanım Alanları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 100-110.
- Levent, Y., Kalmış, M., (2014). Püskürtme Beton Uygulamalarında Yaşanan Sorunlar ve Çözümleri, İksa Kurs Notları, İstanbul.
- Maltese, C., Pistolesi, C., Bravo, A., Cella, F., Cerulli, T., & Salvioni, D. (2007). A case history: Effect of moisture on the setting behaviour of a Portland cement reacting with an alkali-free accelerator. *Cement and Concrete Research*, 37(6), 856-865.
- Melbye, T., 2006, *Sprayed Concrete for Rock Support*. UGC International. Division of Degussa Construction Chemicals (Switzerland) Ltd. 11th Edition, Switzerland.
- Mollah, M. Y. A., Yu, W., Schennach, R., & Cocke, D. L. (2000). A Fourier transform infrared spectroscopic investigation of the early hydration of Portland cement and the influence of sodium lignosulfonate. *Cement and concrete research*, 30(2), 267-273.
- Mollah, M. Y., Kesmez, M., & Cocke, D. L. (2004). An X-ray diffraction (XRD) and Fourier transform infrared spectroscopic (FT-IR) investigation of the long-term effect on the solidification/stabilization (S/S) of arsenic (V) in Portland cement type-V. *Science of the total environment*, 325(1-3), 255-262.
- Neville A M, 2011. *Properties of concrete*, Pearson Education Limited, England.

- Polat, H. & Özel, C. (2023). The Effects of Water/Cement Ratio and Cement Dosage Variables on the Performance of Shotcrete: Compressive Strength and Drying Shrinkage Perspektife. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 12 (2), 82-87.
- Rilem Report 10 (1995) "Application of Admixtures in Concrete" State of the art Report, T.C. 84 ACC.
- Silva, D. A. D., Roman, H. R., & Gleize, P. J. P. (2002). Evidences of chemical interaction between EVA and hydrating Portland cement. *Cement and concrete research*, 32(9), 1383-1390.
- Şahin, Y. İ., & Koçak, Y. (2022). Yüksek Fırın Cürufu İkamelı Çımentoların Yapısal ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(2), 802-814.
- TS EN 12390-3. (2010). Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri Bölüm 3: Deneş Numunelerinin Basınç Dayanımını Tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara
- Varas, M. J., De Buergo, M. A., & Fort, R. (2005). Natural cement as the precursor of Portland cement: Methodology for its identification. *Cement and Concrete Research*, 35(11), 2055-2065.
- Wang, J., Xie, Y., Zhong, X., & Li, L. (2020). Test and simulation of cement hydration degree for shotcrete with alkaline and alkali-free accelerators. *Cement and Concrete Composites*, 112, 103684.
- Wang, J., Xie, Y., Zhong, X., & Li, L. (2020). Test and simulation of cement hydration degree for shotcrete with alkaline and alkali-free accelerators. *Cement and Concrete Composites*, 112, 103684.
- Warner, J. (1995). Understanding Shotcrete--The Fundamentals. *Concrete International*, 17(5), 59-64.
- Won, J. P., Hwang, U. J., Kim, C. K., & Lee, S. J. (2013). Mechanical performance of shotcrete made with a high-strength cement-based mineral accelerator. *Construction and Building Materials*, 49, 175-183.
- Yang, R., He, T., Guan, M., Guo, X., Xu, Y., Xu, R. ve Da, Y. (2020). Püskürtme beton için alüminyum sülfat esaslı alkali içermeyen hızlandırıcı katkının hazırlanması ve hızlandırıcı mekanizması. *İnşaat ve Yapı Malzemeleri*, 234, 117334.
- Yu, P., Kirkpatrick, R. J., Poe, B., McMillan, P. F., & Cong, X. (1999). Structure of calcium silicate hydrate (C-S-H): Near-, Mid-, and Far-infrared spectroscopy. *Journal of the American Ceramic Society*, 82(3), 742-748.
- Yun, K. K., Choi, S., Ha, T., Hossain, M. S., & Han, S. (2020). Comparison of long-term strength development of steel fiber shotcrete with cast concrete based on accelerator type. *Materials*, 13(24), 5599.
- Zhang, G. Y., Lin, R. S., Wang, Y. S., & Wang, X. Y. (2022). Influence of K⁺ and CO₃²⁻ in activator on high-temperature performance of alkali-activated slag-ceramic powder binary blends. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01306.
- Zhang, G., Yang, H., Ju, C., & Yang, Y. (2020). Novel selection of environment-friendly cementitious materials for winter construction: Alkali-activated slag/Portland cement. *Journal of cleaner production*, 258, 120592.