

# ZEMİN BETONLARINDA KALSİYUM ALÜMİNAT ÇİMENTOSU KULLANIMI\*

Melike Sucu<sup>1</sup>, Tuğhan Delibaş<sup>2</sup>

## Özet

Kalsiyum alüminat çimentoları (KAÇ); hem kimyasal hem de fiziksel özellikleri ile portland çimentolarından farklılaşan ürünlerdir. KAÇ ile pratik, hızlı ve uzun ömürlü zemin betonları da elde etmek mümkündür. KAÇ performansının temel kaynağı sahip olduğu hidratların doğası gereği aşındırıcı koşullara dayanıklı olmasından ileri gelmektedir. Özellikle alümina hidratı (gibbsite), performans artırıcı özellikleri kazandırır ve genellikle  $AH_3$  formunda bulunur. Diğer hidratların içerisindeki kalsiyum bileşeni asidik ortamda çözüldükten sonra  $AH_3$  fazını oluşturularak beton içerisindeki boşluklu yapının bu faz ile dolmasını sağlar ve ataklara karşı betonu korur. Kimyasal ve mekanik korozyon direnci sebebiyle KAÇ endüstriyel zeminlerde de tercih edilmektedir. Çimsa; KAÇ üretim tesisinde 100 m<sup>2</sup>lik bir alanda KAÇ esaslı yol beton uygulaması gerçekleştirilmiştir. Amaç; 6 saatte 30 Mpa değerine ulaşan yol betonu ile hızlı beton dökümü gereksinimi olan yol ve zemin projelerinde erken dayanım talebine cevap verebilecek bir beton geliştirmektir. Bu çalışmada farklı ortam koşullarında kullanılmak üzere 4 farklı beton yol reçetesi geliştirilmiştir.

## Calcium Aluminate Cement Based Ground Concretes

Calcium aluminate cements (CAC); their products are different from portland cement by their chemical and physical properties. With CAC, it is also possible to obtain practical, fast and long-lasting concrete floors. The main source of CAC performance is that the nature of the hydrates is resistant to abrasive conditions. In particular, alumina hydrate (gibbsite) imparts performance enhancing properties and is usually present in the form of  $AH_3$ . The calcium component in the other hydrates forms the  $AH_3$  phase after dissolving in the acidic environment, allowing the hollow structure in the concrete to fill with this phase and protect the concrete against attack. Due to chemical and mechanical corrosion resistance, CAC is also preferred on industrial floors. Çimsa; In the CAC production facility, a 100 m<sup>2</sup> field CAM based road concrete application was carried out. The aim is that it is a concrete that can meet the demand for early strength in road and ground projects which require rapid concrete casting with road concrete reaching 30 MPa in 6 hours. In this study, 4 different recipes are developed to construct concrete road to different ambient conditions.

## 1. GİRİŞ

Çimentoda yüksek performans; genellikle yüksek mukavemetle ilişkilendirilen bir kavramdır fakat betonda dayanıklılık yapı güvenliğinin sürdürülebilirliği açısından gün geçtikçe daha fazla önemsenmeye başlanmıştır. Ayrıca çimento; kullanım alanı açısından da bilinenden daha geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Metal ve plastik yerine kullanılarak veya çimentolu sistemler oluşturularak daha yüksek performans seviyelerine ulaşılabilir.

Kalsiyum alüminat çimentoları ham maddeden üretime portland çimentolarından farklılık göstermektedir. Söz konusu farklılıkların sonucu olarak kalsiyum alüminat çimentoları; dayanım kazanma, nihai dayanım ve dayanıklılık parametrelerinde portland çimentolardan çok daha üstün sonuçlar veren özel çimentolardır. Kalsiyum alüminat çimentosunun portland çimentosundan temel farkları; portland çimentosunun 28 günde kazandığı dayanıma 6 saatte ulaşma, sülfat direnci, aşınmaya karşı dayanıklılık ve asit dayanımıdır. Söz konusu özelliklerle bilinen çimentoların çok ötesinde bir kullanım alanına sahiptir.

1) m.sucu@cimsa.com.tr, 2) t.delibas@cimsa.com.tr, Çimsa Çimento Sanayii AŞ, Mersin

(\*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

Kalsiyum alüminat çimentosu esaslı betonlar, kullanım amaçlarına ve çimento sebebi ile kazandıkları özelliklere göre farklı saha uygulamalarında tercih edilmektedir. Bu yazımızda hem literatürdeki farklı uygulamaları hem de 2015 yılında tamirat betonu olarak dökülen zemin betonu hakkında bilgi vermeyi amaçlamaktayız.

**1.1. Kimya ve Mikro Yapı**

Kalsiyum alüminat çimentosu (KAÇ) ve Portland çimentosu (PÇ) arasındaki temel fark; priz alma ve sertleşme sırasındaki aktif fazların farklı olmasıdır. Portland çimentoları kalsiyum ve silisyum oksitleri ile C<sub>2</sub>S ve C<sub>3</sub>S fazlarını oluşturarak,

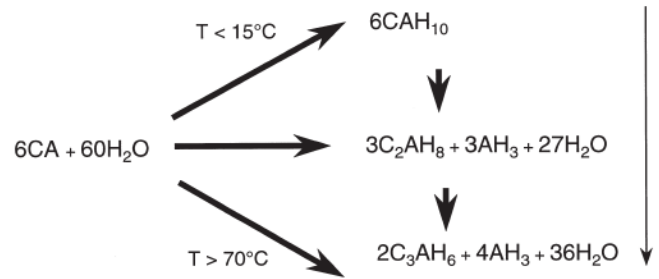
su ile tepkimeye girdiğinde C-S-H ve C-H hidratlarının elde edilmesini sağlar. Diğer taraftan KAÇ, temel olarak kalsiyum oksit ve alüminyum oksitleri ile monokalsiyum alüminat (CA) oluşturarak su ile birleştiğinde kalsiyum alüminat hidratları oluşturur.

KAÇ, PÇ'nin aksine geniş bir aileye sahiptir. İçerisindeki alüminyum miktarının farklılaşmasıyla çeşitlenen çimento standart olarak %35-58 (EN 14647) arasında alümina içeriğine sahip olup, ham madde olarak kireç taşı ve boksit kullanılarak elde edilir. Tablo 1'de alümina içeriğine göre sınıflandırılan alüminat çimentolarının kimyasal kompozisyonlarını yaklaşık olarak gözlemleyebiliriz.

**Tablo 1.** KAÇ - Sınıflarına göre kompozisyonları

Sınıf	Renk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	TiO <sub>2</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Üretilen Ülkeler
Standart Düşük Alümina	Gri / soluk siyah	36-42	36-42	3-8	12-20	<2	~1	~0,1	~0,15	Fransa, İspanya, USA, Hindistan, Doğu Avrupa, Hırvatistan, Türkiye
Düşük Alümina, Düşük Demir	Gri, açık gri	48-60	36-42	3-8	1-3	<2	~0,1	~0,1	~0,05	Fransa, USA, Hindistan, Kore, Brezilya
Normal Alümina	Beyaz	65-75	25-35	<0,5	<0,5	<0,05	~0,1	<0,3	~0,05	Fransa, İngiltere, USA, Japonya, Brezilya
Yüksek Alümina	Beyaz	>80	<20	<0,2	<0,2	<0,05	<0,1	<0,1	~0,05	USA, Fransa, Japonya, Brezilya, Kore

KAÇ'ın su ile buluşmasında oluşan hidratların oranı yüksek derecede ortam sıcaklığı ile ilişkilidir. Düşük sıcaklıklarda (T<15 °C) CH<sub>10</sub> ilk oluşan hidrat olmakla beraber, 15 ile 70 °C arasında C<sub>2</sub>AH<sub>8</sub> oluşumunu ve daha yüksek sıcaklıklarda ise C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub> ve AH<sub>3</sub> oluşumu beklenir<sup>[1]</sup>. C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub> kalsiyum alüminat hidratları arasında en yüksek yoğunluğa sahip olduğundan belli bir hidratasyon derecesinde en boşluklu yapı da bu hidratta oluşur. İlerleyen zamanlarda dönüşüm reaksiyonları sırasında açığa çıkan su, bu boşluklu yapılar içerisine gelir ve hidrate olmayan maddelerin reaksiyon vermesini sağlar. Bu sebeple hidratasyon ve mukavemet eğrileri zaman içerisinde de küçük eğimlerle de olsa yükselmeye devam eder. Şekil 1'de gözlemlendiği üzere monokalsiyum alüminat ve suyun birleşmesi ile ortaya çıkan son ürünler reaksiyonun gerçekleşme sıcaklığı ile doğrudan ilişkilidir. Uzun dönemde sıcaklık değişimi etkisi ile kararsız formdaki alüminat hidratlarının, kararlı faza geçerken dayanım kaybına yol açabilme riski mevcuttur, bu durumun temel nedeni yüksek su/çimento oranlarının kararsız hidrat oluşumunu tetiklemesidir.



**Şekil 1.** Mono kalsiyumalüminat sıcaklığa bağlı hidratasyon reaksiyonları

Başlangıçtaki su/çimento oranı kontrolü erken dönem için gerekli mukavemeti sağlamak açısından çok önemlidir. Bununla birlikte beton tasarımı her zaman uzun dönem mukavemet beklentisine göre yapılmalıdır. 60 yıllık laboratuvar çalışmaları göstermektedir ki uzun dönem durabilitenin en başarılı şekilde yakalandığı su/çimento oranı (w/c oranı) 0,4 ve altı değerlerdir. Bu değerlerin altı ile yapılan beton tasarımlarında mukavemet

kaybının önüne geçilebilir. Akışkanlaştırıcı kullanılmadığı durumlarda ise en az kullanılması gereken KAÇ miktarı 400 kg/m<sup>3</sup> civarında olmalıdır<sup>[1,2]</sup>.

Hidratasyon reaksiyonlarının çok hızlı gerçekleşmesinden dolayı, bu reaksiyonlar sırasında açığa çıkan enerji de çok yüksektir. Bu sebeple et kalınlığı 20-30 cm'den yüksek olan beton dökümlerinde ulaşılan sıcaklık 70 °C'den fazladır. Hatta kütleme esnasında çok daha yüksek sıcaklıklar gözlemlenebilmektedir.

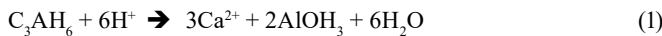
Su/çimento oranının betona olan etkisi geri saçılmış elektron mikroskobu ile çok net bir şekilde gözlemlenebilir. Yüksek sıcaklıklarda ve yüksek su/çimento oranlarında (w/c = 0,7) gözenekli bir yapı gözlemlenirken, düşük oranlarda daha yoğun ve boşluksuz bir beton yapısı gözlemlenmiştir.

## 1.2. Kimyasal Korozyon Dayanımı

### 1.2.1. Asit Atakları

Çimentolar, bazik yapıya sahip oduğu için en aşındırıcı ve zarar verici ortamlar asidik ortamlardır. KAÇ ve PÇ dâhil tüm çimentolar asidik ortamda saldırıya uğrar ve bu ortamlarda dayanım sağlamaları asidi nötralize edebilme performanslarına bağlıdır. Çimentonun geçirimsiz ve boşluksuz olması da bu noktada çok önemlidir. PÇ içerdikleri kalsiyum hidroksit fazının asit ile hemen tepkimeye girip, asit içinden çözünmeye başlaması sebebiyle, asit etkisine karşı dayanıksızdır. Asit ile temas eden C-S-H jeli de içerisindeki kireç yapısını kaybederek bozulur ve silika bazlı bir jel oluşturur. Sonuç olarak PÇ asit karşısında incelmeye ve aşınmaya başlar. En nihayetinde üzerindeki tabakayı tamamen kaybeder ve yüzeyde agregalar görünür hâle gelmeye başlar.

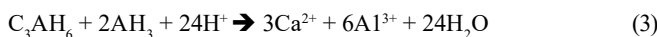
KAÇ performansının temel kaynağı sahip olduğu hidratların doğası gereği aşındırıcı koşullara dayanıklı olmasından ileri gelmektedir. Özellikle alümina hidrati, jipsit, performans artırıcı özellikleri kazandırır ve genellikle AH<sub>3</sub> formunda bulunur. Alümina hidrati pH değerinin 3-4'e kadar düştüğü ortamlarda kararlı bir duruş gösterir. Diğer hidratların içerisindeki kalsiyum bileşeni asidik ortamda çözüldükten sonra AH<sub>3</sub> fazını oluşturarak beton içerisindeki boşluklu yapının bu faz ile dolmasını sağlar ve gelecek etkilere karşı betonu korur<sup>[2]</sup>.



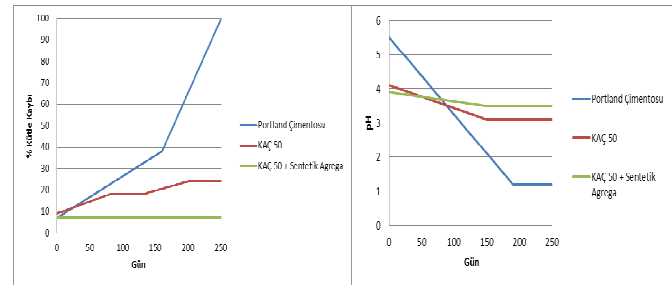
3,5 pH değerinin altında alümina hidratları çözünmeye başlar fakat bu reaksiyonlar sırasında daha çok asit nötralizasyonu gerçekleşir (2).



Toplam reaksiyon aşağıdaki gibi gerçekleşir (3)



Şekil 2'de portland çimentosu ve kalsiyum alüminat çimentosunun 16 yıllık asit korozyonuna uğramasına eş değer olarak gerçekleştirilen 250 günlük çalışmanın sonuncundaki kütle kaybını ve betondaki pH değişimini gözlemleyebiliriz<sup>[3]</sup>. Sentetik agregalar, kalsiyum alüminat çimentosu kimyasal kompozisyonuna benzer içeriğe sahip agregalardır. KAÇ ile benzer proses şartlarında üretilir. KAÇ klinkeri ya da KAÇ agregası olarak adlandırılabilir.



Şekil 2. Asidik ortamda kütle kaybı<sup>[3]</sup>

Düşük pH değerlerinde, asidik yüzey ve etkilenmeyen beton çekirdeği arasında kalan, ortalama pH değerine sahip, bir bölge bulunur. Bu bölgede yer alan alümina hidratları asit etkisine karşı bariyer oluşturarak betonun korozyona uğramasını engeller. Bu geçiş bölgesi düşük geçirgenliğe sahip ve yüksek yoğunluklu yapıdadır<sup>[4]</sup>.

Tablo 2'de görüldüğü üzere KAÇ ile yapılan kanalizasyon sistemlerinde kütle kaybı mineral çimento ve PÇ'ye göre daha düşüktür. Sentetik agregalar ile yapılan denemelerin en iyi sonuç vermesinin sebebi, sentetik agregaların da KAÇ'a benzer bir prosesle üretilmesi ve benzer kimyasal kompozisyona sahip olan agregalar olmasıdır.

Tablo 2. Farklı tasarımların kanalizasyon ortamındaki kütle kaybı ve nötralize beton derinliği karşılaştırması

	KAÇ + Sentetik Agregalar	KAÇ + Silis Kumu	Curufllu Çimento + Silis Kumu
Su/Çimento	0,38	0,32	0,32
Çimento	510	600	400
Boşluk	11,4	13,4	15,9
Yaşı	1 ay	1 ay	3 yıl
2 yıl sonra Kütle Kaybı %	0	0,1	1,8
2,5 yıl sonra Kütle Kaybı %	0	1,2	1,8

### 1.2. Biyogenik Korozyon

Biyogenik korozyon; genelde içme suyu borularında ve kanalizasyon borularında gözlemlenen bir aşınma şeklidir. Oksi-

jensiz solunum yapan bakteriler tarafından, ortamdaki sülfat iyonlarının sülfat (asidik) iyonlarına dönüştürülmesi ile aşınma süreci başlar.

Akışkan hızının çok düşük olması (0,6-0,8 m/s) sebebi ile boru iç yüzeylerinde gerçekleşen biyojenik korozyonlar oluşur.

Yüksek sıcaklık, havalandırma eksikliği, akışkan hızının düşük olması, sülfat zengin akışkan varlığı ile birlikte biyojenik korozyon da hızlanır ve PÇ'nin kolaylıkla aşınmasına sebebiyet verir.

KAÇ ile kullanılan sentetik agregalar sadece kütle kaybını engellemekle kalmaz betonda tampon görevi görerek düşük pH ve yüksek pH arasında yer alır.

### 1.3. Aşınma Dayanımı

Betonun aşınma dayanımı, sayısal anlamda ifade edilmesi zor bir kavramdır çünkü bozunma birçok farklı mekanizmanın kombinasyonu ile gerçekleşebilir ve buna neden olan etkiler çok değişkenlik gösterebilir.

Aşınma kaynaklı baraj deformasyonlarında tamir amaçlı KAÇ kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu sebeple farklı maddelerin aşınma dayanımının sayısal olarak ölçülmesini amaçlayan bir çok test metodu geliştirilmiştir. Bu metodlarda aşındırma, oyma ve şoklama işlemleri uygulanarak karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilebilmektedir.

Tablo 4, farklı aşınma testleri ile farklı tasarımların kütle ve hacim kayıplarını karşılaştırmalı olarak göstermektedir.

C.N.R. (Compagnie Nationale du Rhone - Fransa) aşınma testi 10m/s hızındaki suyun 75 dakika boyunca kum maruziyeti ile birlikte numune betona verdiği zararı ölçen bir yöntemdir. İşleme tabi tutulmadan öncesi ve sonrası arasındaki hacim farkı ölçülür.

Bu sonuçlara göre, sentetik agregalı KAÇ betonları, PÇ'ye göre (silis dumanı ile performansı arttırılmış olsa da) çok daha yüksek oranlarda aşınma dayanımı göstermektedir. Granit bloklara ise yakın performans göstermektedir<sup>[5]</sup>.

Peru, İsveç, Fransa, Filipinler ve İsviçre gibi zorlu koşullar altında çalışacak tesislerde KAÇ kullanımı yaygındır. Hindistan'da yakın zamanda hızlı su akan bir alanda (50 m/s) gözlemlenen performans karşılaştırmasına göre; KAÇ, silis dumanı katkılı PÇ'ye nazaran 10 kat daha az aşınma göstermiştir<sup>[5]</sup>.

## 2. ENDÜSTRİYEL ZEMİNLER

Kimyasal ve mekanik korozyona gösterdiği direnç sebebiyle KAÇ endüstriyel zeminlerde de tercih edilmektedir. Ağır endüstriyel araçların kullanıldığı yollar, bira fabrikaları, mandiralar ve ilgili laboratuvarları gibi aside maruz kalan zeminler olduğu için korozyona karşı dirençli KAÇ kullanımının tercih edildiği görülmüştür. Ayrıca ısı şoka maruz kalabilecek kriyojenik kurulumlarda da KAÇ kullanımı önerilmektedir.

### 2.1. Beton Yol

KAÇ üretim tesisinde 100 m<sup>2</sup>lik bir alanda KAÇ esaslı yol beton uygulaması gerçekleştirilmiştir. Söz konusu uygulamada amaç; 4 saatte 30 MPa değerine ulaşan yol betonu ile hızlı beton dökümü gereksinimi olan yol ve zemin projelerinde erken dayanım talebine cevap verebilecek bir beton geliştirmektir. Çalışmada, denemeler katkılı ve katkısız olarak tasarlanmış ve uygulanmıştır. Yapılan ilk beton denemesinde 400 doz KAÇ kullanılmış ve akışkanlaştırıcılar ile istenen işlenebilirlik süresi sağlanmıştır.

KAÇ'ın reaktif yapıları sebebi ile beton mikserinde hidrasyon hızlı bir şekilde başlamaktadır. Bu sebep ile eğer çok erken dayanım istenmiyorsa KAÇ uygulamalarında geciktirici özellik gösteren akışkanlaştırıcılar kullanılması önerilmektedir. Çalışmanın karışım değerleri ve sonuçları aşağıdaki şekilde gerçekleşmiştir.

**Tablo 4.** Farklı aşınma testlerinin karşılaştırmalı sonuçları

Test	Ölçü	KAÇ+Sentetik Agregası (w/c)	Granit	Silis Dumanlı Çimento	Geleneksel Çimento
CNR Aşınma Testi	Aşınmış örnek hacmi / Aşınmış cam hacmi	0,35 - 0,40	0,8	2	4-8
ASTM C- 1138	% kütle kaybı, 24 saat / 72 saat	<0,5 / <1	<2	0,5-1,2 / 3-4	1,5-2 / 5-7,5
CNR Şoklama Testi	cm <sup>3</sup> cinsinden hacim kaybı	90 - 120	70 - 100	120 - 200	300 - 350



Şekil 6.1. Beton Yol Yapımı

Tablo 5. Katkılı Yol Beton Reçetesi

KAÇ Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	400
Su Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	160
Su / Çimento Oranı	0,40
Priz Geciktirici Katkı 100X (kg/m <sup>3</sup> )	1,2
Kıvam Artırıcı (kg/m <sup>3</sup> )	5,2
0 - 4 Kırma Agregası (kg/m <sup>3</sup> )	938
5 - 12 Kırma Agregası (kg/m <sup>3</sup> )	357
12 - 22 Kırma Agregası (kg/m <sup>3</sup> )	585
İlk Çökme (cm)	12
Teorik Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	2.470
Taze Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	2.468
6.Saat Basınç Dayanımı (MPa)	0,0
24.Saat Basınç Dayanımı (MPa)	29,7
2.Gün Basınç Dayanımı (MPa)	31,2
7.Gün Basınç Dayanımı (MPa)	35,9

Yapılan ilk çalışmada işlenebilirlik değerlerinin yüksek olmasına rağmen ilk dayanımlarında katkıdan dolayı basınç dayanım kaybı olmuştur. Bu nedenle ve oluşabilecek çatlama riskine karşı lifli uygulamanın daha iyi sonuç vereceği düşünülmüştür.

Tablo 6. Katkılı Yol Beton Reçetesi

KAÇ Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	400
Su Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	160
Su / Çimento Oranı	0,40
Priz Geciktirici Katkı 100XR (kg/m <sup>3</sup> )	1,2
Polipropilen Lif (kg/m <sup>3</sup> )	0,6
Kıvam Artırıcı (kg/m <sup>3</sup> )	5,2
0 - 4 Kırma Agregası (kg/m <sup>3</sup> )	938
5 - 12 Kırma Agregası (kg/m <sup>3</sup> )	357
12 - 22 Kırma Agregası (kg/m <sup>3</sup> )	585
İlk Çökme (cm)	10
Teorik Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	2.474
Taze Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	2.470
6. Saat Basınç Dayanımı (MPa)	0,0
24. Saat Basınç Dayanımı (MPa)	25,8
2. Gün Basınç Dayanımı (MPa)	33,1
7. Gün Basınç Dayanımı (MPa)	37,1

Erken dayanımları arttırabilmek amacıyla karışım içerisinde katkıları çıkarılarak katkısız beton reçetesi uygulanmıştır. Beton mikserinde yaşanabilecek olumsuzlukların önüne geçmek için betona su ve lif döküm anında eklenmiştir.



Şekil 6.2. Beton Yol Yapımı

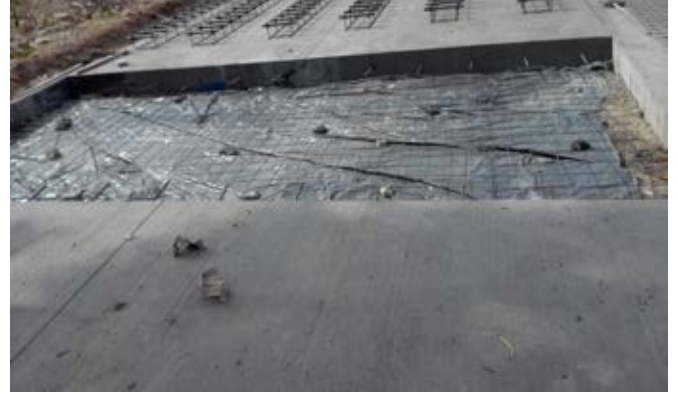


**Tablo 7.** Katkısız Yol Beton Reçetesi

KAÇ Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	400
Su Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	188
Su / Çimento Oranı	0,470
Polipropilen Lif (kg/m <sup>3</sup> )	0,6
0 - 4 Kırma Agrega (kg/m <sup>3</sup> )	940
5 - 12 Kırma Agrega (kg/m <sup>3</sup> )	295
12 - 22 Kırma Agrega (kg/m <sup>3</sup> )	608
İlk Çökme (cm)	10
Teorik Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	2.432
Taze Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	2.424
6.Saat Basınç Dayanımı (MPa)	30,2
24.Saat Basınç Dayanımı (MPa)	33,4
2. Gün Basınç Dayanımı (MPa)	37,9
7. Gün Basınç Dayanımı (MPa)	45,1

Katkısız olarak yapılan yol beton çalışmasında, işlenebilirlik süresi katkılı olan betona göre kısalmış ve 45 dakika seviyesine düştüğü görülmüştür.

Piyasa şartlarında 6 saatten daha erken dayanım beklentisine de hizmet verebilmek amacıyla işlenebilirlik süresi aynı kalmak şartı ile yeni beton tasarımları hazırlanmış ve laboratuvar şartlarında uygun sonuç veren beton karışımı, son olarak, sahada uygulanmıştır. Katkısız beton denemesine muadil erken dayanımları daha yüksek olan bu karışım, aşağıda verildiği şekilde tasarlanmış ve uygulanmıştır.



**Şekil 6.3.** Beton Yol Yapımı

**Tablo 8.** Lityum Karbonat Katkılı Yol Beton Reçetesi

KAÇ Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	400
Su Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	190
Lityum Karbonat (kg/m <sup>3</sup> )	0,064
Polipropilen Lif (kg/m <sup>3</sup> )	0,6
Priz geciktirici(kg/m <sup>3</sup> )	1,2
Su / Çimento Oranı	0,475
0 - 4 Kırma Agrega (kg/m <sup>3</sup> )	938
5 - 12 Kırma Agrega (kg/m <sup>3</sup> )	295
12 - 22 Kırma Agrega (kg/m <sup>3</sup> )	607
İlk Çökme (cm)	10
Teorik Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	2.430
Taze Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	2.425
4. Saat Basınç Dayanımı (MPa)	26,1
6. Saat Basınç Dayanımı (MPa)	29,6
24. Saat Basınç Dayanımı (MPa)	45,1
2. Gün Basınç Dayanımı (MPa)	51,4
7. Gün Basınç Dayanımı (MPa)	56,5

\*Yukarıda verilen basınç dayanım değerleri 15\*15\*15 cm küp dayanım değerleridir.

Son beton denemesinde, işlenebilirlik seviyesi saf KAÇ'tan çok farklı olmamakla birlikte daha hızlı sertleştiği gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak; yapılan karışımlarda görüldüğü gibi katkılar KAÇ'lı karışımlarda priz süresini ötelemesinden dolayı işlenebilirliği arttırdığı gözlenmektedir. Bundan dolayı işlenebilirlik gerektiren ilk dayanım beklentisinin olmadığı alanlarda kullanılmasında bir sakınca görülmemiştir. Ayrıca erken dayanım beklentisi olan betonlarda ürünün katkısız saf hâlinde kullanılması gerektiği hatta daha erken mukavemet beklentisinde işlenebilirliği daha düşük olan karışımlar kullanılması gerekmektedir. Bütün betonlarda olduğu gibi KAÇ ile yapılan beton yol denemelerinde de en önemli konulardan biri olan küreme, erken dayanım özelliği arttıkça ön plana çıkmaktadır. Mutlak surette erken saatlerde küreme ortamının başlatılması gerekmektedir.

## SONUÇ

KAÇ; PÇ'nin performans, durabilite ve erken dayanım özelliklerinin yetersiz kalabileceği;

- Kanalizasyon içi kaplamalar,
- Asit havuzları,
- Barajların dolu savakları
- Termal direnç isteyen alanlar, refrakter uygulamaları,
- Sülfat saldırısına maruz kalabilecek noktalar,
- Kimyasal üretim fabrikaları,
- Mandıralar vb.

uygulamalarda kullanılabilir. KAÇ içerikli reçeteler erken dayanımın gerektiği tamirat betonlarında kendini kanıtlayan bir çözüm hâline gelmiştir. Bu özel betonların ilk örneği 2013 yılında İzmir bölgesinde Demir Çelik tesisinde yüksek ısıya maruz kalan bir alanda başarı ile uygulanmıştır. Önümüzdeki dönemde imalat hızının ve performans gerekliliklerinin artması ile KAÇ'ın hazır beton sektöründe kullanımları yaygınlaşacaktır.

## Kaynaklar

1. K.L. Scrivener, Calcium aluminate cements, in: P.C. Hewlett (Ed.), LEA'S Chemistry of Cement and Concrete, 4th ed., Arnold, London,1998, pp. 709-778.1
2. D. Sorrentino, F. Sorrentino, C.M. George, Mechanisms of hydration of calcium aluminate cement, in: J.P. Skalny (Ed.),

Materials Science of Concrete, Vol. IV, American Ceramic Society, Westerville, OH1995, pp. 41-90.

3. W. Sand, T. Dumas, S. Marcdargent, Accelerated biogenic sulfuric acid corrosion test for the evaluation of the performance of calcium aluminate based concrete in sewage applications, ASTM Special Publication, 1994, pp. 234-249.
4. S. Ehrich, Work of doctoral thesis, University of Hamburg, 1999.
5. K.L. Scrivener, A. Bentur, P.L. Pratt, Quantitative characterisation of the transition zone in high 2