

Kalsiyum Alüminat Çimentosu Bazlı Tamir Betonları

Melike Sucu*, Tuğhan Delibaş**

Özet

Kalsiyum alüminat çimentoları; hem kimyasal hem de fiziksel özellikleri ile portland çimentolarından farklılaşan ürünlerdir. Termal dayanıklılık, aşınma ve asit direnci, erken dayanım alma konularında yüksek performans gösterirler. Kalsiyum alüminat çimentosu ile pratik, hızlı ve uzun ömürlü tamir betonları da elde etmek mümkündür. Bu çimentolar dünyanın birçok yerinde, çeşitli kullanım amaçları ile karşımıza çıkmaktadır.

1. Giriş

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 bilinen daha geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Metal ve plastik yerine kullanılarak veya çimentolu sistemler oluşturularak daha yüksek performans seviyelerine ulaşılabilir.

Kalsiyum alüminat çimentoları hammaddeden üretime port-

land 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.

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 Çimsa Çimento Sanayii Ticaret A.Ş. tarafından dökülen tamirat betonu hakkında bilgi vermeyi amaçlamaktayız.

Calcium Aluminate Cement Based Repair Concretes

Calcium aluminate cement (CAC) properties differ from portland cement both chemically and physically. This type of cement shows great performance of thermal stability, quick strength gain, quick setting, durability, acid and sulphate resistance. It is possible to create fast, practical and durable repair concrete designs using CAC. All around the world, this kind of repair systems are used in various application areas.

The main difference between ordinary portland cement and calcium aluminate cement originated from the dissimilarity of chemical compositions. With ordinary portland cement; C₂S and C₃S phases exist and with the water addition the C-S-H and C-H hydrates are formed. On the other hand, CAC has calcium and aluminum oxides and the reaction product is monocalcium aluminate (CA) which gives calcium aluminate hydrates when the hydration occurs.

1. Kimya ve Mikro Yapı

Kalsiyum alüminat çimentosu (KAÇ) ve Portland çimentosu

(*) Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. Ar-Ge Mühendisi, m.sucu@cimsa.com.tr

(**) Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. Ar-Ge ve Müşteri Teknik Destek Müdürü, t.delibas@cimsa.com.tr

(PÇ) arasındaki temel fark; priz alma ve sertleşme sırasındaki aktif fazların farklı olmasıdır. Portland çimentoları kalsiyum ve silisyum oksitleri ile C_2S ve C_3S 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 oluşur.

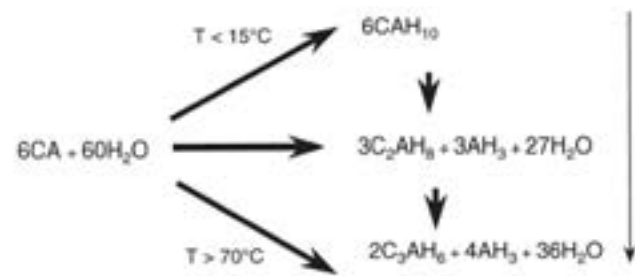
With this work, the usage of CAC in specific applications and the benefits like resistance to acid attack and particularly biogenic corrosion and abrasion resistance in hydraulic structures are explained. Also, the concrete road made in Çimsa, Mersin using CAC is introduced with the design formulas. Such applications extend the range of applications for cementitious materials.

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, hammadde olarak kireçtaşı 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_2O_3	CaO	SiO_2	Fe_2O_3+FeO	TiO_2	MgO	Na_2O	K_2O	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'nin su ile buluşmasında oluşan hidratların oranı yüksek derecede ortam sıcaklığı ile ilişkilidir. Düşük sıcaklıklarda ($T < 15^\circ C$) CH_{10} ilk oluşan hidrat olmakla beraber, 15 ile $70^\circ C$ arasında C_2AH_8 oluşumunu ve daha yüksek sıcaklıklarda ise C_3AH_6 ve AH_3 oluşumu beklenir^[1]. C_3AH_6 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 yaklaşıldığı su/çimento oranı (w/c oranı) 0,4 ve altı değerlerdir. Bu değer altı ile yapılan beton tasarımlarında mukavemet kaybının önüne geçilebilir. Akışkanlaştırıcı

cı kullanılmadığı durumlarda ise en az kullanılması gereken KAÇ miktarı 400 kg/m³ civarında olmalıdır^[1,2].

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 kürleme esnasında çok daha yüksek sıcaklıklar gözlemlenebilmektedir.

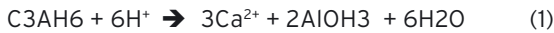
Su/çimento oranının betona olan etkisi geri saçılmış elektron mikroskobu ile çok net bir şekilde gözlemlenebilir. Yüksek sıcaklıklarda ve yüksek su/çimento oranlarında (w/c = 0,7) gözenekli bir yapı gözlemlenirken, düşük oranlarda daha yoğun ve boşluksuz bir beton yapısı gözlemlenmiştir.

2. Kimyasal Korozyon Dayanımı

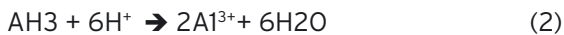
2.1. Asit Atakları

Çimentolar, bazik yapıya sahip olduğu için en aşındırıcı ve zarar verici ortamlar asidik ortamlardır. KAÇ ve PÇ dahil 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 hale gelmeye başlar.

KAÇ performansının temel kaynağı, sahip olduğu hidratların doğası gereği aşındırıcı koşullara dayanıklı olmasından ileri gelmektedir. Özellikle alümina hidratı, jipsit, performans artırıcı özellikleri kazandırır ve genellikle AH₃ formunda bulunur. Alümina hidratı pH değerinin 3-4'e kadar düştüğü ortamlarda kararlı bir duruş gösterir. Diğer hidratların içerisindeki kalsiyum bileşeni asidik ortamda çözüldükten sonra AH₃ fazını oluşturarak beton içerisindeki boşluklu yapının bu faz ile dolmasını sağlar ve gelecek etkilere karşı betonu korur^[2].



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

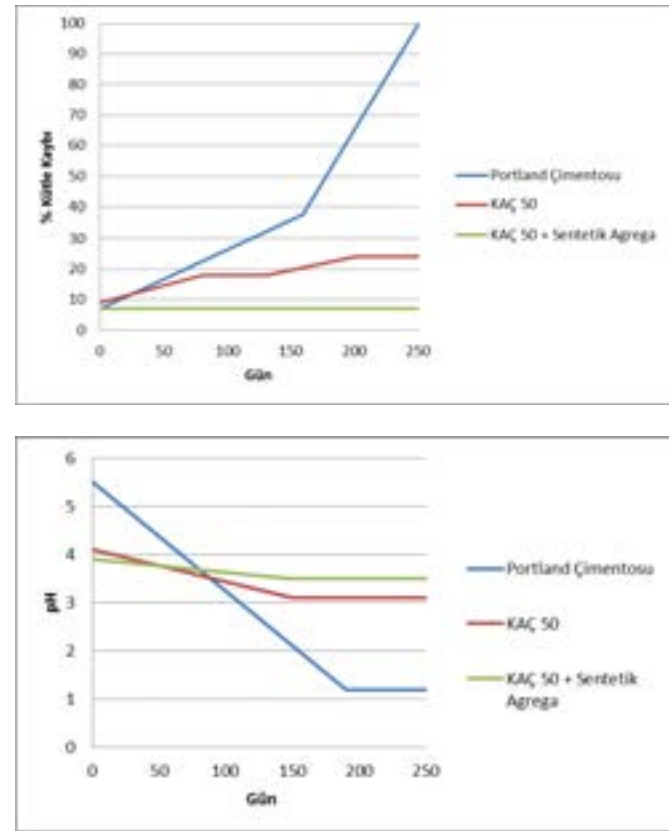


Toplam reaksiyon;



şeklinde gerçekleşir.

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



Şekil 2. Asidik ortamda kütle kaybı^[3]

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^[4].

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 nötrale beton derinliği karşılaştırması

	KAÇ + Sentetik Agregat	KAÇ + Silis Kumu	Curufu Çimento + Silis Kumu	Portland Çimentosu + Silis Kumu
Su/Çimento	0,38	0,32	0,32	n/a
Çimento	510	600	400	n/a
Boşluk	11,4	13,4	15,9	n/a
Yaşı	1 ay	1 ay	3 yıl	n/a
Kütle Kaybı %				
2 yıl sonra	0	0,1	1,8	n/a
2,5 yıl sonra	0	1,2	1,8	n/a
Nötrale Kalınlık				
2 yıl sonra	0	0,2	n/a	1
2,5 yıl sonra	0	0,6	1,2	1,7 (3 yıl)

3. Biyojenik Korozyon

Biyojenik korozyon; genelde içme suyu borularında ve kanalizasyon borularında gözlemlenen bir aşınma şeklidir. Oksijensiz solunum yapan bakteriler tarafından, ortamdaki sülfat iyonlarının sülfid (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 korozyonların oluşma adımları:

- Atık su içerisindeki oksijen eksikliği sebebi ile sülfatlar anaerobik bakteriler tarafından sülfid iyonlarına dönüştürülür.
- Akışkan içerisindeki H_2S oranının artması ile tekrar denge durumuna geçmek isteyen sistem, H_2S 'leri atmaya çalışır.
- Kanalizasyon içerisinden yoğunlaşmış olan neme tutunan sülfid iyonları nem ile birlikte boru çeperlerine ve duvarlara yapışır.
- Yüzeydeki pH düşer ve oluşan asidik ortamda H_2S , sülfirik asit (H_2SO_4) oluşturmak üzere tiyobasil bakterileri tarafından oksitlenir.
- H_2SO_4 , beton içerisindeki alkaliler ile reaksiyona girerek kalsiyum karbonatların dihidratlara dönüşmesine sebep olur.
- Dihidratlar yüksek hacimlidir. Aside ve suya dayanıksız olduğu için kanalizasyon boru çeperlerinde korozyonlar oluşturur.

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

Tablo 3. Farklı servis ömürlerine sahip tasarımların maliyetleri

Karşılaştırmalı Kurulum Maliyetleri	
Geleneksel Çimentolu (500 mm)	1
Yüksek Performanslı Silika Füme Katkılı	1,5
Epoksi (20 mm)	2,1
KAÇ + Sentetik Agregat	2,5
Granit Blok	5
Çelik Plaka	10
Dökme Demir Plaka	15

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

4. 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.

Tablo 4. Farklı aşınma testlerinin karşılaştırmalı sonuçları

Test	Ölçü	KAÇ+Sentetik Agregası (w/c)	Granit	Silis Dumanı Katkılı 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 ² cinsinden hacim kayıbı	90 - 120	70 - 100	120 - 200	300 - 350

Bu sonuçlara göre, sentetik agregalı KAÇ betonları, PC'ye göre (silis dumanı ile performansı artırılmış olsa da) çok daha yüksek oranlarda aşınma dayanımı göstermektedir. Granit bloklara ise yakın performans göstermektedir^[5].

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 PC'ye nazaran 10 kat daha az aşınma göstermiştir^[5]. Kurulum maliyetleri ile bu durumu kıyaslandığında (Tablo 3) KAÇ yüksek performansı ve uzun ömürlü olması sebebiyle uzun dönemde çok daha karlı olacağı öngörülmektedir. Dünya geneline bakıldığında, özel koşullarda KAÇ kullanımının arttığı görülmektedir. Ülkemizde de ilerleyen dönemlerde daha çok önem kazanacağı beklenmektedir.

5. Endüstriyel Zeminler

Kimyasal ve mekanik korozyona gösterdiği direnç sebebiyle KAÇ endüstriyel zeminlerde de tercih edilmektedir. Ağır endüstriyel araçların kullanıldığı yollar, bira fabrikaları, mandıralar 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.

6. Beton Yol

Çimsa Çimento Sanayi Mersin, KAÇ üretim tesisinde 100 m²'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, Çimsa Hazır Beton Laboratuvarı ile Çimento Araştırma ve Uygulama Merkezi'nin ortaklaşa çalışmasıyla reçete hazırlığı yapılmış, denemeler katkı 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.



Şekil 6.1. Çimsa Beton Yol Yapımı

Tablo 5. Katkılı Yol Beton Reçetesi

KAÇ Miktarı (kg/m ³)	400
Su Miktarı (kg/m ³)	160
Su / Çimento Oranı	0,40
Pozilith 100X	1,2
HP300	5,2
0 - 4 Kırma Agregası (kg/m ³)	938
5 - 12 Kırma Agregası (kg/m ³)	357
12 - 22 Kırma Agregası (kg/m ³)	585
İlk Çökme (cm)	12
Teorik Birim Ağırlık (kg/m ³)	2.470
Taze Birim Ağırlık (kg/m ³)	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

Not: Yukarıda verilen basınç dayanım değerleri 15*15*15 cm küp dayanım değerleridir.

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 ³)	400
Su Miktarı (kg/m ³)	160
Su / Çimento Oranı	0,40
Pozilith 100XR	1,2
Polipropilen Lif (kg/m ³)	0,6
HP300	5,2
0 - 4 Kırma Agregası (kg/m ³)	938
5 - 12 Kırma Agregası (kg/m ³)	357
12 - 22 Kırma Agregası (kg/m ³)	585
İlk Çökme (cm)	10
Teorik Birim Ağırlık (kg/m ³)	2.474
Taze Birim Ağırlık (kg/m ³)	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

Not: Yukarıda verilen basınç dayanım değerleri 15*15*15 cm küp dayanım değerleridir.

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. Çimsa Beton Yol Yapımı

Tablo 7. Katkısız Yol Beton Reçetesi

KAÇ Miktarı (kg/m ³)	400
Su Miktarı (kg/m ³)	188
Su / Çimento Oranı	0,470
Polipropilen Lif (kg/m ³)	0,6
0 - 4 Kırma Agregası (kg/m ³)	940
5 - 12 Kırma Agregası (kg/m ³)	295
12 - 22 Kırma Agregası (kg/m ³)	608
İlk Çökme (cm)	10
Teorik Birim Ağırlık (kg/m ³)	2.432
Taze Birim Ağırlık (kg/m ³)	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

Not: Yukarıda verilen basınç dayanım değerleri 15*15*15 cm küp dayanım değerleridir.

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 müddet erken dayanımları daha yüksek olan bu karışım, aşağıda verildiği şekilde tasarlanmış ve uygulanmıştır.



Şekil 6.3. Çimsa Beton Yol Yapımı

Tablo 8. Lityum Karbonat Katkılı Yol Beton Reçetesi

KAÇ Miktarı (kg/m ³)	400
Su Miktarı (kg/m ³)	190
Lityum Karbonat (kg/m ³)	0,064
Polipropilen Lif (kg/m ³)	0,6
Pozzolith 100XR (kg/m ³)	1,2
Su / Çimento Oranı	0,475
0 - 4 Kırma Agregası (kg/m ³)	938
5 - 12 Kırma Agregası (kg/m ³)	295
12 - 22 Kırma Agregası (kg/m ³)	607
İlk Çökme (cm)	10
Teorik Birim Ağırlık (kg/m ³)	2.430
Taze Birim Ağırlık (kg/m ³)	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

Not: 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 halinde 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 kürlenme, erken dayanım özelliği arttıkça ön plana çıkmaktadır. Mutlak surette erken saatlerde kürlenme ortamının başlatılması gerekmektedir.

7. Sonuç

KAÇ; PC'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 haline 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.

8. 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.
- [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, OH 1995, 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 strength concrete, Adv Cem Res 1 (1988) 230-239.