

ÖZET**3D Yazıcılar İçin Geliştirilen Kalsiyum Alüminat Çimentosu Esaslı Harç Karışımı**

Buluş, inşaat sektöründe 3 boyutlu üretim teknolojilerinde kullanılmak üzere, ekstrüde edilebilirlik, mükemmel akışkanlık, inşa edilebilirliği karşılayan ve harçların termal özelliklerini iyileştiren, 3D baskı yazıcılarda etkin ve verimli yazdırılmaya uygun, faz değıştiren maddeler (FDM) içeren kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı ile ilgilidir. FDM olarak yanıcılığının olmaması ve doğal kaynaklı olması nedeni ile yağ asitleri ve karışımları mikrokapsüllenenerek kullanılmıştır.

İSTEMLER

1. İnşaat sektöründe kullanılmak üzere su, çimento, agrega, alçı ve lif içeren 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı olup, **özelliği**; kalsiyum alüminat çimentosu ve faz değiştiren madde içermesidir.
- 5 2. İstem 1'e uygun 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı olup, **özelliği**; ağırlıkça %1-20 oranında kalsiyum alüminat çimentosu, %0-15 oranında faz değiştiren madde, %5-50 oranında Portland çimento, %0-15 oranında alçı, %0,01-1,5 oranında su azaltıcı ajan, %0,01-0,5 oranında priz hızlandırıcı, %0,01-1,5 oranında priz geciktirici, %0-30 oranında ince silis kumu, %0-50 oranında kalın silis kumu, %0,01-1 oranında selüloz eter, %0,1-1,5 oranında nişasta eter, %0,01-1,5 oranında polipropilen fiber, %0,05-1,5 oranında köpük kesici ajan ve %0-50 oranında su içermesidir.
- 10 3. İstem 1'e uygun 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı olup, **özelliği**; ağırlıkça %12 oranında kalsiyum alüminat çimentosu, %8 oranında faz değiştiren madde, %20 oranında Portland çimento, %5 oranında alçı, %0,5 oranında su azaltıcı ajan, %0,01 oranında priz hızlandırıcı, %0,1 oranında priz geciktirici, %10 oranında ince silis kumu, %24,1 oranında kalın silis kumu, %0,1 oranında selüloz eter, %0,2 oranında nişasta eter, %0,06 oranında polipropilen fiber, %0,1 oranında köpük kesici ajan ve %15 oranında su içermesidir.
- 15 4. İstem 1'e uygun 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı olup, **özelliği**; kalsiyum alüminat çimentosunun ağırlıkça %30-60 oranında CaO, %30-60 oranında Al₂O₃, %0-10 oranında SiO₂, %0-20 oranında Fe₂O₃, %0-5 oranında SO₃, %0-8 oranında TiO₂ içermesidir.
- 20 5. İstem 1'e uygun 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı olup, **özelliği**; kalsiyum alüminat çimentosu yerine tercihen kalsiyum sülfat alüminat çimentosu kullanılmasıdır.
- 25 6. İstem 1'e uygun 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı olup, **özelliği**; selüloz eter olarak tercihen metil selüloz, etil selüloz, hidroksi etil selüloz veya hidroksi propil selüloz eter kullanılmasıdır.
- 30 7. İstem 1'e uygun 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı olup, **özelliği**; priz hızlandırıcı olarak tercihen lityum karbonat, lityum sülfat veya lityum klorit kullanılmasıdır.

8. İstem 1'e uygun 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı olup, **özelliği**; priz geciktirici madde olarak tercihen sitrik asit, tartarik asit veya sodyum borat kullanılmasıdır.

5 9. İstem 1'e uygun 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı olup, **özelliği**; faz değiştiren madde olarak tercihen yağ asitleri ve karışımları kullanılmasıdır.

10. 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı üretim yöntemi olup, **özelliği**;

10 i. Bağlayıcı olarak tercihen Portland çimento ve kalsiyum alüminat çimentolarının toz halde karıştırılması,

ii. Toz katkı maddeleri olarak tercihen alçı, ince agrega, kaba agrega, su azaltıcı ajan, fiber, priz hızlandırıcı, priz geciktirici, nişasta eter, selüloz eter ve köpük kesici ajanın karışıma eklenerek karıştırılması,

15 iii. Mikrokapsüllenmiş faz değiştiren maddelerin (FDM) karışıma eklenerek karıştırılması,

iv. Tüm toz karışıma su eklenerek karışımın bulamaç haline gelmesi,

20 v. Bulamacın yazıcıya gönderilerek basılması,

işlem adımlarını içermesidir.

25 11. İstem 10'a uygun 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı üretim yöntemi olup, **özelliği**; (i) üretim adımında kalsiyum alüminat çimentosunun %0-60 bağıl nemde karıştırılma işleminin yapılmasıdır.

30 12. İstem 10'a uygun 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı üretim yöntemi olup, **özelliği**; (iii), (iv) ve (v) üretim adımlarında sıcaklığın minimum -5 °C olmasıdır.

TARİFNAME

3D Yazıcılar İçin Geliştirilen Kalsiyum Alüminat Çimentosu Esaslı Harç Karışımı

5 Teknik Alan

Buluş, inşaat sektörü başta olmak üzere, dijital baskı uygulamaları ile yapılan çimento esaslı bina yapı elemanları, park-bahçe mobilyaları, zemin ve bina kaplama materyalleri olan çimento esaslı karolar, paneller, plakalarda hızlı ve verimli 3 boyutlu baskı üretim teknolojileri ile ilgilidir.

10

Buluş özellikle, faz değiştiren maddeler kullanılarak 3D yazıcılarda etkin ve verimli yazdırılmaya uygun kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı ile ilgilidir.

Tekniğin Bilinen Durumu

15

Günümüzde 3D baskılı betonlar teknik ve işleme açısından birçok zorluk olmasına rağmen katlanarak artan bir ilgi görmektedir. 3D baskı, farklı hammaddelerin bir araya getirilerek, bilgisayar destekli tasarım modellerini somut nesnelere dönüştürme amaçlı olarak katmanların art arda eklenmesi işlemidir. 3D yazıcı ile yapı üretimi klasik 3D yazıcı mantığına dayanmaktadır. Bilgisayar ile kontrol edilen, ağızından beton çıkan bir nozul (baskı kafası) taşıyan vinç, programından gelen komutlar ile ileri-geri, sağa-sola, aşağı-yukarı hareket ederek yapı üretimi yapmaktadır. Betonun karışım tasarımı, taze ve sertleşmiş betonun performans gereksinimlerini karşılayacak şekilde yapılmalıdır. Literatür araştırmalarında belirtildiği gibi; 3D yazıcılarda kullanılacak olan betonların, geleneksel betonun performansına ek olarak, işlenebilirlik, çalışabilirlik süresi (open time), ekstrüde edilebilirlik (pompalanabilirlik) ve katmanların kendi kendisini taşıyabilirlik (inşa edilebilirlik) gibi özelliklerine sahip olmalıdır.

25

30

Konvansiyonel metotla yapı üretiminde kullanılan beton, agrega, çimento ile suyun, kimyasal ve mineral katkı maddeleri ilave edilerek veya edilmeden homojen olarak üretim teknolojisine uygun olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, zamanla katlaşıp sertleşerek mukavemet kazanan kompozit bir yapı malzemesidir. Projelendirme aşamasında belirlenen yapı elemanlarının şekil ve boyutlarında kalıplar

5 hazırlanarak içlerine taze beton yerleştirilir. Kalıplar içerisine yerleştirilen beton sertleşip dayanım kazandıktan sonra sökülür ve sökülme işleminden sonra da betonun sertleşip dayanım kazanması devam eder. Taze ve sertleşmiş betonun bütün özelliklerini kullanılan çimentonun, agreganın, suyun ve katkı malzemelerinin özellikleri, karışım içindeki oranları etkiler.

10 Mevcut teknikte konvansiyonel metottaki beton yerleştirme işleminin aksine 3D baskı yazıcıda kalıpsız katmanlı üretim esastır ve yerleştirme esnasında baskı katmanının genişliği ve kalınlığı kontrol edilmelidir. 3D baskı yazıcılarla yapı üretimi yapılabilmesi için öncelikle 3 boyutlu model tasarıma ihtiyaç vardır. Bilgisayar ortamında tasarlanan çizimlerin somutlaştırılması için de 3D baskı yazıcılarda çimento esaslı harç malzemesi kullanılmaktadır. Harç ise çimento, su ve ince agrega karışımından oluşan ve içerisinde iri agrega bulunmayan bir karışımdan oluşmaktadır. Katmanlı üretim yapacak olan yazıcının harcı yazdırma işlemi, üç farklı faz ve dört aşamadan oluşmaktadır. Üretim fazında baskı işleminde kullanılacak olan harcı oluşturan malzemeler iki farklı besleme tankına yerleştirilir. İlk aşamada bu malzemelerden kuru karışım, ikinci aşamada ise ıslak karışım hazırlanır. Pompa fazına geçildiğinde üçüncü aşama olan pompa devreye girer ve pompalama sırasında malzeme bir borudan geçerek nozula aktarılır. Yazıcı fazı ise pompayla iletilen harcın son aşamadaki nozul olarak adlandırılan hareketli uçtan belirli noktalara (extruding) sıkılması işlemiyle gerçekleştirilir. Daha sonra malzemenin katılması ile üretim tamamlanmış olur.

25 3D baskı sürecinin tamamı teknik olarak sağlam ve uygun maliyetli olmalı ve modern çevresel etkenlere uygun olmalıdır. Geleneksel yöntemlerde özellikle hazır beton uygulamalarında kalıp kullanımı gerekmektedir. Kalıp kullanımı, önemli zaman gecikmelerine ve çevre üzerinde olumsuz, yüksek malzeme, işçilik ve makine maliyetlerine yol açar. Ayrıca karşılaşılan diğer kısıtlar ise düşük verimlilik, iş gücü kıtlığı, geometrik uygulamalarda kalıba bağlı olunması nedeni ile özgür olunamaması, üretim hızının yavaş olmasıdır. Dijital baskı yöntemlerinin uygulanması ile kalıp gerektirmeyen, yüksek geometrik şekillerde özgür uygulama imkânı sağlayan ve iş gücünün düşük olduğu uygulamalar geliştirilmiştir. Bilgisayar destekli tasarımlar ile uygulanan bu sistemler dijital tasarım ve planlama açısından kolaylıklar sağlamaktadır. Böylelikle inşaatların tamamen dijitalleşmesi olanağı sunulmaktadır. 3D baskı işlemi bir nozul yardımı ile yapıların katman katman basılması prensibine dayanır.

35 Dijital beton baskı yönteminde başarılı baskı işlemi yapılabilmesi için malzemenin baskı kafasına doğru içeriye akan malzemenin akışkan halden başarılı bir şekilde bir katılma

sürecine geçmesi gerekmektedir. Mevcut yöntemlerde kullanılan Portland çimentolar ekstrüde edilebilirlik açısından başarılı olsalar bile hızlı inşa edilebilirlik açısından yetersiz kalmaktadırlar. Özellikle baskı işleminin ilk saatlerinde erken yüksek dayanıma ihtiyaç bulunmaktadır ve normal Portland çimento mukavemetleri erken yüksek dayanım için yeterli değildir. Ayrıca kullanılan Portland çimentoları hızlı verimli inşa edilebilirlik ve üst üste yüksek katman oluşturmada yetersiz kalmaktadır.

Diğer yandan inşa edilen çimentolu karışımların binalarda çok kullanılması ve binaların ise büyük ölçüde enerji tüketiyor olmaları çimentolu 3D karışımlarının enerji verimliliğinin artırılması ihtiyacını doğurmaktadır. Faz değiştiren maddeler (FDM) uygun sıcaklık aralıklarında gizli ısı depolama özellikleriyle yapı malzemeleriyle kullanıldığında, ısı kütlelerini artırarak bina enerji tüketimini azaltmaktadırlar. Genel olarak FDM'ler çimentolu karışımlarda uygulanmaktadır ancak sadece normal Portland çimentoları ile kullanılan FDM'li karışımlar inşa edilebilirlik ve ekstrüde edilebilirlik açısından yeterli değildir. Mikrokapsüllenenek kullanılan FDM'li harçlar geleneksel yöntemlerle uygulamalarda başarı sağlamış olsalar da 3D yazıcı harçların basımı için erken yüksek dayanıma sahip ve enerji depolama verimliliği olan uygun harç bulunmamaktadır. Mevcut geleneksel FDM'li harçlar enerji depolamada verimlilik sağlasalar bile Portland çimentoları ile dayanımları azalmaktadır ve bu durum erken mukavemeti daha yüksek olan FDM'li karışımların geliştirilmesi ve farklı çimentoların kullanılması ihtiyacını doğurmaktadır. 3D yazıcılar ile basılmaksızın önceki buluşlarda harçlar içerisinde mikrokapsüllenenek kullanılan faz değiştiren malzemelerin kabuklarının higroskopik olmaları durumunda harcın su ihtiyacını arttırmaktadırlar. Bu durum uygun kıvama ulaşılabilmesi için daha fazla su eklenmesini gerektirdiğinden dayanımı da azaltacaktır. Ayrıca mikrokapsüle tutunan suyun daha sonra hidrasyon sırasında yükselen sıcaklıkla buharlaşması beton yapısında gözenekliliği de arttırırken, dayanımı olumsuz etkilemektedir.

Literatürde, konu ile ilgili EP3147269A1 numaralı "3D printing of construction elements and buildings with bct cement" başlıklı bir başvuruya rastlanmıştır. Söz konusu buluş, belit-kalsiyum sülfoalüminat-ternesit çimentosunun 3D baskı yoluyla bileşenlerin ve binaların imalatı için kullanımı ve belit-kalsiyum sülfoalüminat-ternesit çimentosunun 3D baskısı ile bileşenlerin ve binaların üretimi için bir yöntem ile ilgilidir. Buluşta baskı harcının termal özelliklerinin iyileştirilmesi için herhangi bir geliştirme yapılmamıştır.

Konu ile ilgili başka bir buluş ise CN104891891B numaralı "A kind of 3D printing cement-based material and preparation method thereof" başlıklı Çin patent başvurusudur. Söz

konusu buluş, toz halindeki bağlayıcı malzemeler ve agrega kullanılarak oluşturulan, çimento, aktif katkı maddesi, su azaltıcı, erken dayanım maddesi, ayarlanabilir katılaşma maddesinden oluşan bir tür 3 boyutlu baskı çimento esaslı malzeme ve bunun hazırlama yöntemi ile ilgilidir.

- 5 Sonuç olarak yukarıda anlatılan olumsuzluklardan dolayı ve mevcut çözümlerin konu hakkındaki yetersizliği nedeniyle ilgili teknik alanda bir geliştirme yapılması gerekli kılınmıştır.

Buluşun Kısa Açıklaması

- 10 Mevcut buluş, yukarıda bahsedilen gereksinimleri karşılayan, tüm dezavantajları ortadan kaldıran ve ilave bazı avantajlar getiren 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı ile ilgilidir.

- Buluşun öncelikli amacı, kalsiyum alüminat çimentosu, beyaz Portland çimentosu, alçı, su azaltıcı ajan, priz geciktirici ajan, priz hızlandırıcı ajan, nişasta, selüloz eter (etil veya metil) kalsit, silis kumu, faz değiştiren maddeler kullanılarak geliştirilen 3D baskı harç karışımının çok katmanlı bir şekilde yazdırılabilirliğinin ve harcın termal özelliklerinin iyileştirilmesini sağlamaktır. Çalışma kapsamında kullanılan selüloz eter harcın su tutma kapasitesine etki etmektedir. Bu kapsamda metil selüloz, etil selüloz, hidroksi etil selüloz, hidroksi propil selüloz eterler düşük ve yüksek viskoziteli olarak ve az veya çok modifiyeli olarak kullanılmıştır. Faz değiştiren madde olarak yanıcılığının olmaması ve doğal kaynaklı olması nedeni ile yağ asitleri ve karışımları kullanılmıştır. Baskı ünitesine kolayca pompalanabilmesi ve betonun baskı kafası tarafından desteklendiği süre boyunca baskı hacmini düzgün bir şekilde sıkıştırmak ve tamamen doldurmak için malzemenin akışkan olması gerekmektedir. Bununla birlikte, beton yazıcıyı terk ettiği anda, betonun yeterli sertliğe ulaşmış olması gerekmektedir. Yeterli tiksotropik davranışın yanında önemli seviyede akma dayanımına da ihtiyaç bulunmaktadır. Buluş konusu harç karışımındaki doğru seçilmiş eklemeler ve katkı malzemeleri, taze betonu hareket halindeyken akışkanlığını bozmadan istenen tiksotropik davranış seviyesine ulaştırmaya yardımcı olabilmektedir.

- 30 Buluşun bir amacı, buluşta kullanılan kalsiyum alüminat çimentosu ve normal Portland çimentolarının karıştırılarak erken yüksek mukavemete sahip bir çimento olması ve bunun sonucunda 3D harçlarının yazdırılması sırasında alt katmanın üst katmanı taşıması için gerekli olan (yeşil dayanım olarak adlandırılmaktadır) erken yüksek mukavemetini iyileştirilmesini sağlamaktır. Normal Portland çimentoları ile hazırlanan karışımlar kış

şartlarında düşük sıcaklıklarda uygulama imkânı vermezler ve yazdırıla bilirlik sonrası erken mukavemet alamazlar. Kalsiyum alüminat çimentosunun hidrasyon hızı ilk 6 saatte çok hızlı olması nedeni ile harç içerisinde kullanımı düşük sıcaklıklarda bile erken yüksek mukavemet sağlamaktadır.

5

Buluşun bir diğer amacı, kalsiyum alüminat çimentoları ile FDM'lerin birlikte kullanılması sayesinde, 3D baskı ile yapılan sertleşmiş betonlarda betonun ısı depolama kapasitesini arttırarak termal performansında iyileşme sağlamasıdır. FDM'lerin yazdırılabilir harç matrisine dahil edilmesi, faz geçişleri sırasında büyük miktarlarda termal enerjiyi gizli ısı olarak depolamak için kullanılmaktadır. Hidrofobik özellik gösteren bazı biopolimer içerikli mikro kapsüllerin FDM'lerin dış kabuklarının oluşturulmasında kullanılması ile FDM'lerin su emmesinde azalma meydana gelerek harcın kıvamında ve yazdırılabilirliğine olumsuz etkisini ortadan kaldırılabilecektir.

10

15 Buluş, içeriğindeki malzemeler ile reolojik karakteristik, ekstrüde edilebilirlik, mükemmel akışkanlık, inşa edilebilirliği karşılayan ve harçların termal özelliklerini iyileştiren 3D yazıcılar için geliştirilmiş bir harç karışımı amaçlamaktadır.

20 Yukarıda anlatılan amaçların yerine getirilmesi için buluş, inşaat sektöründe kullanılmak üzere su, çimento, agrega, alçı ve lif içeren 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı olup, kalsiyum alüminat çimentosu ve faz değiştiren madde içermektedir.

25 Buluşun bir uygulamasına göre 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı toplam içeriğin ağırlıkça %1-20 oranında kalsiyum alüminat çimentosu, %0-15 oranında faz değiştiren madde, %5-50 oranında Portland çimento, %0-15 oranında alçı, %0,01-1,5 oranında su azaltıcı ajan, %0,01-0,5 oranında priz hızlandırıcı, %0,01-1,5 oranında priz geciktirici, %0-30 oranında ince silis kumu, %0-50 oranında kalın silis kumu, %0,01-1 oranında selüloz eter, %0,1-1,5 oranında nişasta eter, %0,01-1,5 oranında polipropilen fiber, %0,05-1,5 oranında köpük kesici ajan ve %0-50
30 oranında su içermektedir.

Yukarıda anlatılan amaçların yerine getirilmesi için buluş, 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı üretim yöntemi olup,

- (i) Bağlayıcı olarak tercihen Portland çimento ve kalsiyum alüminat çimentolarının toz halde karıştırılması,

(ii) Toz katkı maddeleri olarak tercihen alçı, ince agrega, kaba agrega, su azaltıcı ajan, fiber, priz hızlandırıcı, priz geciktirici, nişasta eter, selüloz eter ve köpük kesici ajanın karışıma eklenerek karıştırılması,

5

(iii) Mikrokapsüllenmiş faz değıştiren maddelerin (FDM) karışıma eklenerek karıştırılması,

(iv) Tüm toz karışıma su eklenerek karışımın bulamaç haline gelmesi,

10

(v) Bulamacın yazıcıya gönderilerek basılması, işlem adımlarını içermektedir.

Buluşun yapısal ve karakteristik özellikleri ve tüm avantajları aşağıda verilen detaylı açıklama sayesinde daha net olarak anlaşılacaktır ve bu nedenle değerlendirmenin de bu detaylı açıklama göz önüne alınarak yapılması gerekmektedir.

15

Buluşun Detaylı Açıklaması

Bu detaylı açıklamada buluş konusu 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı ve tercih edilen yapılanmaları sadece konunun daha iyi anlaşılmasına yönelik olarak ve hiçbir sınırlayıcı etki oluşturmayacak şekilde açıklanmaktadır.

20

Buluş, inşaat sektöründe kullanılmak üzere, 3D yazıcılar için geliştirilen faz değıştiren maddeler içeren kalsiyum alüminat çimentosu esaslı yazıcı harç karışımı ile ilgilidir.

Buluş 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımı en temel halinde; kalsiyum alüminat çimentosu, Portland çimento, faz değıştiren madde, alçı, su azaltıcı ajan, hızlandırıcı, geciktirici, ince silis kumu, kalın silis kumu, selüloz eter, nişasta eter, fiber, köpük kesici ajan içermektedir. Buluş konusu harç karışımının içeriği Tablo 1'de verilmektedir.

25

30

Tablo1. Buluş konusu harç karışımının içeriği

İçerik	Ağırlıkça tercih edilen miktar (%)	Ağırlıkça kullanılabilir miktar (%)
Kalsiyum alüminat çimentosu	12	1-20
Portland çimento	20	5-50
Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Madde	8	0-15
Alçı	5	0-15
Su azaltıcı ajan	0,5	0,01-1,5
Priz hızlandırıcı	0,01	0,01-0,5
Priz geciktirici	0,1	0,01-1,5
İnce Silis kumu	10	0-30
Kalın Silis kumu	24,1	0-50
Selüloz eter	0,1	0,01-1
Nişasta eter	0,2	0,01-1,5
Polipropilen fiber	0,06	0,01-1,5
Köpük kesici ajan	0,01	0,01-1,5
Su	15	0-50

Buluş konusu 3D yazıcılar için geliştirilen kalsiyum alüminat çimentosu esaslı harç karışımının üretim yöntemi en temel halinde;

(i) Bağlayıcı olarak tercihen Portland çimento ve kalsiyum alüminat çimentolarının toz halde karıştırılması,

(ii) Toz katkı maddeleri olarak tercihen alçı, ince agrega, kaba agrega, su azaltıcı ajan, fiber, priz hızlandırıcı, priz geciktirici, nişasta eter, selüloz eter ve köpük kesici ajanın karışıma eklenerek karıştırılması,

5

(iii) Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerin karışıma eklenerek karıştırılması,

(iv) Tüm toz karışıma su eklenerek karışımın bulamaç haline gelmesi,

(v) Bulamacın yazıcıya gönderilerek basılması,

10

işlem adımlarını içermektedir.

Mevcut buluşta bir iyileştirme olarak kullanılan kalsiyum alüminat çimentosu, Portland çimentosu, faz değiştiren madde, alçı ve diğer katkıları karıştırılır. Karışım içinde priz hızlandırıcı olarak tercihen lityum karbonat, lityum sülfat veya lityum klorit kullanılmaktadır. Priz geciktirici madde olarak ise tercihen sitrik asit, tartarik asit veya sodyum borat kullanılmaktadır. Faz değiştiren madde olarak yanıcılığının olmaması ve doğal kaynaklı olması nedeni ile yağ asitleri ve karışımları kullanılmaktadır. Harç içeriğinde kullanılan selüloz eter harcın su tutma kapasitesine etki etmektedir. Bu kapsamda metil selüloz, etil selüloz, hidroksi etil selüloz, hidroksi propil selüloz eterler düşük ve yüksek viskoziteli olarak ve az veya çok modifiyeli olarak kullanılmıştır. Kalsiyum alüminat çimentosu erken yüksek mukavemete sahiptir. Kalsiyum alüminat çimentosunun dayanım ve priz özelliklerine katkısı kimyasal kompozisyonu ile ilişkilidir ve tipik kimyasal kompozisyon aşağıdaki gibidir;

25

Tablo2. Kalsiyum Alüminat Çimentosunun İçeriği

İçerik	Ağırlıkça kullanılabilir miktar (%)
CaO	30-60
Al₂O₃	30-60
SiO₂	0-10
Fe₂O₃	0-20
SO₃	0-5

TiO ₂	0-8
------------------	-----

Mevcut buluşta kullanılan kalsiyum alüminat çimentosunun Portland çimentosuna oranı ağırlıkça (a:a) 0.5-10:1'dir. Kalsiyum alüminat çimentosu kullanımı ile 3D baskılı erken yüksek mukavemetli bir harç hazırlanır ve kullanım hammaddeleri olarak Portland çimentosu, alçı, ince agrega, kaba agrega, su azaltıcı ajan, fiber, priz hızlandırıcı, priz geciktirici, nişasta eter, selüloz eter, köpük kesici ajan ve mikrokapsüllenmiş faz değiştirici malzemeler bileşimi kullanılmıştır.

Mevcut buluşta kullanılan mikrokapsüllenmiş faz değişim malzemesinin 3D harçlarda performans sağlaması için erime/donma sıcaklığı (20 – 30 C arasında ve iklime bağlı olarak konfor sıcaklığına göre farklı değerlerde), gizli ısı (> 80 J/g), boyut (<100 µm) ve dayanıklılık (termal ve mekanik) tır. Mevcut buluşta kullanılan malzemeler ile reolojik karakteristik, ekstrüde edilebilirlik, mükemmel akışkanlık, inşa edilebilirliği karşılayan ve harçların termal özelliklerini iyileştiren bir karışım elde edilmiştir. Bu buluşta kullanılan kalsiyum alüminat çimentosu ile baskı işlemi çok katmanlı olarak ve katmanlar arası güçlü bir bağ ile mükemmel yapılandırılabilirlik sağlar. FDM eklenmesi ile FDM'siz çimentolu karışımlara göre harcın termal depolama kapasitesi eklenen FDM miktarına ve gizli ısı değerlerine bağlı olarak artırılmış olur. Eklenen FDM miktarının üst sınırı betonun standartlara uygun mukavemet sınırına uygun olarak belirlenmelidir.

Buluşta kullanılan kalsiyum alüminat çimentosunun, Portland çimentosuna oranının ağırlıkça 0.5-10:1(a:a) olduğu ve toplan karışım oranın kullanılan faz değiştirici maddeye oranının 1:0.01-0.10 olduğu karışımın mukavemet ve açık zaman değerleri aşağıdaki gibidir.

Tablo3. Buluş konusu harç karışımının performans değerleri

	Performans (ortalama)	Birim
1 gün Basınç Dayanımı	29,8	MPa
1 gün Eğilme Dayanımı	8,6	MPa
28 gün Basınç Dayanımı	58,9	MPa
28 gün Eğilme Dayanımı	13,2	MPa

Açık zaman	45	Dakika
Yayıma	180	mm (t=5 dakika)

Uretim yöntemi aşamalarında bağlayıcı olarak kullanılan kalsiyum alüminat çimentosu, Portland çimentosu uygun bileşimde tartılarak kuru olarak karıştırılmaktadır. Karışımın mümkün olduğunca homojen olması önemlidir. Kalsiyum alüminat çimentosunun %0-60 5 bağıl nemde karıştırılmalıdır. Daha yüksek bağıl nem seviyesi performans kaybına neden olabilir. Tercihen kalsiyum alüminat çimentosu yerine kalsiyum sülfü alüminat çimentoları (CSA) kullanılabilir. Diğer toz bileşenler olan alçı, su azaltıcı ajan, priz hızlandırıcı, priz geciktirici, selüloz, nişasta eteri, ince silis kumu, kalın silis kumu, polipropilen fiber ve köpük kesici ajan tartılarak bağlayıcılar ile karıştırılmaktadır. Bağlayıcının istenilen 10 performansı sağlaması için sıcaklığın -5 °C'den büyük olması gerekmektedir. Tüm toz karışımın karıştırılmasından sonra sisteme uygun miktarda su eklenir ve karıştırılır. Faz değiştiren madde eklenerek yeniden karıştırma işlemi yapılır. Elde edilen bulamaç karışım 3D yazıcıya gönderilir ve bir nozul yardımı ile baskı işlemi gerçekleştirilir. Uygulama dış alan etkisinde çimentolu malzeme olarak elde edilir.

15 Kalsiyum alüminat çimentolarının kullanıldığı harçlarda hızlı priz alması ve erken yüksek mukavemeti nedeni ile 3D yazıcıların tıkanmasına neden olabilir. Bu nedenle yazıcının hammaddeleri karıştırıcı bölmesinin harcın priz süresine uyumlu olması gerekmektedir. Toz karışım su ile karıştırıldıktan sonra, uygulama boyunca, hazırlanan harcın tükenme süresinin priz süresinden uzun olması durumunda harç karıştırıcı içerisinde dayanım 20 olarak tıkanmalara sebep olabilir. Bu nedenle kullanılan tüm toz karışımlar ve su belirtilen karıştırma sırası ile uygulanmalıdır.

Söz konusu buluşta 3D yazıcılara özel kalsiyum alüminat çimentoları kullanılarak erken yüksek mukavemet sağlayan FDM içeren harçlar geliştirilmiştir. FDM'nin enerji depolama 25 kapasitesi harcın termal özelliklerini iyileştirmede kullanılmaktadır. Mikrokapsüllenmiş FDM kabuklarının tasarlanmasında kullanılan materyaller ile FDM'lerin harcın su emmesine olan olumsuz etkisi de ortadan kaldırılmaktadır.