



ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİYLE ÜRETİLMİŞ ALÇI BRİKETLERİN ÖZELİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

THE RESEARCHING OF THE PROPERTIES OF THE
GYPSUM BRIQUETTES IS PRODUCED BY ADDITIVE
MANUFACTURING METHOD

Yazarlar (Authors): Tayfun Uygunoğlu^{ID*}, Feyza Çetingül^{ID}

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Uygunoğlu T., Çetingül F., “Eklemeli İmalat Yöntemiyle Üretilmiş Alçı Briketlerin Özelliklerinin Araştırılması” *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 6(3): 469-475, (2022).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1176518

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİYLE ÜRETİLMİŞ ALÇI BRİKETLERİN ÖZELİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Tayfun Uygunoğlu^a, Feyza Çetingül^a

^aAfyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

*Sorumlu Yazar: uygunoğlu@aku.edu.tr

(Received: 16.09.2022; Revised: 09.10.2022; Accepted: 17.12.2022)

ÖZ

3D yazıcılar için kullanılan harcın yayılma özelliği, ekstrüzyon yapılabilirliği, viskozitesi yazdırılabilirlik açısından büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, eklemeli imalat yöntemi için kullanılacak olan alçı bazlı harcın taze hal özellikleri, yazdırılıp alçı briket haldeki numunelerin kür süreleri tamamlandıktan sonraki sertleşmiş hal özellikleri incelenmiştir. Alçı harcının ilk olarak taze haldeki deneyleri yapılmıştır. Daha sonra alçı briketler 140 mm uzunluğunda 70 mm genişliğinde, katman kalınlıkları 10 mm ve 7 katmanlı olarak yazdırılmıştır. 1, 7 ve 28 günlük kür sürelerine göre sertleşmiş haldeki deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen bulgulara göre taze harç esktürde edilebilirlik deneyi sonucunda tıkanma ve kopma olmadan 400 mm mesafeyi akabilmiştir, aynı harcın yayılma çapı 154,2 mm ölçülmüştür. Basınç dayanımları farklı kür zamanlarında ve 3 farklı yönde uygulanarak belirlenmiştir. Yazdırma yönünün basınç dayanımı en yüksek olarak tespit edilmiştir. Katmanlar arası bağ dayanımı basınç dayanımının %37'si kadar elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Eklemeli İmalat, Alçı Briket, Fiziksel-Mekanik Özellik.

THE RESEARCHING OF THE PROPERTIES OF THE GYPSUM BRIQUETTES IS PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING METHOD

ABSTRACT

The slump functionality, extrudability and viscosity of a mortar which is used as a filament for 3D printers is vital in terms of printability. During the research, the fresh state properties and the hardened state properties of the gypsum briquette samples which are made of gypsum-based mortar to be used for the additive manufacturing method and has completed their curing period are analyzed. First of all, the experiment of the fresh state of the gypsum-based mortar is completed. Then, the gypsum briquettes were printed as 140 mm long, 70 mm wide, layer thickness of 10 mm and with 7 total number of layer. Afterwards, the hardened state experiments were applied according to one, seven and twenty-eight day-long curing time. Therefore, the experiment of extrudability shows that the fresh state mortar can flow 400 mm without clogging and breaking, and its spreading diameter is measured as 154,2 mm. The compressive strengths are determined by applying three different direction and using different curing period. The bond strength between layers was obtained as 37% of the compressive strength.

Keywords: Additive Manufacturing, Gypsum Briquette, Physical-Mechanical Properties.

1. GİRİŞ

İnşaat Mühendisliği yapılarında geleneksel üretim metotları hala çok yaygın olmasına rağmen günümüzde teknolojik gelişmeler bu alanın işleyişini de değiştirmektedir. Üç boyutlu baskı, hızlı prototip üretme ya da serbest formlu üretim adları da verilen eklemeli imalat malzemelerin bilgisayar ortamında hazırlanan 3 boyutlu model verilerini nesneleştirmek için üst üste katmanlar halinde birleştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir [1,2]. Endüstriyel alanda birçok faydalı gelişmeler gösteren eklemeli imalat inşaat sektöründe de yeni bir dönemin başlangıcı olmuştur [3]. Mühendislik yapılarının daha düşük maliyetle, az sürede ve daha az insan gücü ile imal edilmesi ayrıca çevre kirliliğine karşı da duyarlı olması bu üretim tekniğini ortaya çıkartmıştır. Eklemeli imalat yöntemiyle yapıların üretim aşamasında katman yüksekliği arttıkça ve katmanlar üst üste geldikçe altta kalan katmanların taşınması ve aderansının sağlanması da zorlaşmaktadır bu da yapının sürdürülebilirliğini tehlike altına sokmaktadır [3,4]. Son zamanlarda alçı ürünlerinin üretiminde eklemeli imalat yöntemi kullanılarak üretilen farklı tipteki nesnelere büyük ilgi görmektedir, fakat kullanımı yaygın değildir. Daha yaygın bir hale gelebilmesi için alçı harcının birçok özelliğinin incelenmesi gerekmektedir.

Alçı, doğal kalsiyum sülfat iki hidrat olan alçı taşı ya da jipsin 160-200°C sıcaklıkları arasında kızdırılması ile elde edilir. Bu ısıtılma aşamasında içerisinde bulunan suyun %75'ini kaybeder, kızdırma sonucu elde edilen ürün öğütülüp gerekli katkıları katılarak çeşitli özelliklerde alçı üretilmiş olur. Ülkemizde üretilen alçı briketlerin özellikleri TS EN 12859 [5] standardında belirtilmektedir. Alçı esaslı malzemeler yüksek yangın dayanımı, hafifliği, ısı ve ses yalıtımının yüksek olması, geri dönüştürülebilirliği, maliyetinin düşüklüğü, kolay uygulanabilirliği gibi birçok avantajları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır [6]. Alçı inşaat sektöründe ise kartonpiyer alçısı, perlitli sıva alçısı, saten veya perdah alçısı, derz dolgu alçısı, makine sıva alçısı gibi toz ürünlerin dışında iç mekanlarda ara bölme, alçı briket elemanı, tavan kaplama elemanı olarak da kullanılmaktadır [7].

Konuyla ilgili olarak, Liu vd. [6] a-hamihidrat alçıtaşı, polikarboksilat, hidrokarboksipropil

metil selüloz ve nişasta eter içeren alçı bazlı karışımlar hazırlamış ve bu karışımlar 3D yazıcıda yazdırılmıştır. Hazırlanan alçı bazlı karışımların priz süreleri ve reolojik özelliklerini, mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir ve saf alçı karışımı ile kıyaslanmıştır. Bu alçı bazlı karışım priz süresini geciktirmiştir. Alçı bazlı numunenin 64,96 ± 5,98 MPa yüksek basınç dayanımına ve 15,24 ± 1,58 MPa eğilme dayanımı olduğu sonucuna ulaşıldığı belirtilmiştir. Gong vd. [8] farklı katkıların (priz geciktirici, aktivasyon ajanı ve priz hızlandırıcı) malzemenin sertleşme özelliklerine etkisini incelemiştir. Daha sonra birden fazla katkı kullanarak istekler doğrultusunda alçı bazlı bir malzeme önermiştir. Ardından proses parametresi tabanlı robotik iş akışı önerilmiştir ve ekstrüzyon tabanlı 3D alçı baskı ekipmanı oluşturulmuştur. Deneyin doğruluğu için kavisli bir alçı panel yazdırılmıştır. Bu yöntem üretimin verimliliğini artırabileceği ve üretimin maliyetini azaltabileceği göstermektedir. Önerilen yöntemin geri dönüştürülebilir alçı malzemesini üretmek için verimli ve uygun maliyetli olduğunu göstermektedir. Huang vd. [9] ekstrüzyon tabanlı 3D baskı alçısının yazdırılabilirliğini artırmak, alçı ısısını isteğe bağlı olarak kontrol edebilmek için ısı kaynaklı bir hızlandırıcıyı (HIA) sunmuştur. Alçı, pompalanabilirlik ve ekstrüde edilebilirlik elde etmek için önce geciktirilmiş, ardından geciktirilmiş alçının HIA ile farklı sıcaklıklarda priz süresi incelenmiştir. Alçı sıvanın hidratasyon ısısı, TG-DTA, elektriksel iletkenliği ve viskoelastisitesi karakterize edilmiştir. Ayrıca sıvanın inşa edilebilirliğini değerlendirmek için 3D baskılı bir silindirin çökme oranı ve şekil tutma indeksi kullanılmıştır. HIA'nın oda sıcaklığında geciktirilmiş alçı sıvanın sertleşme süresi üzerinde çok az etkisi olduğu, ancak sıcaklık 40 °C'yi aştığında hidratasyonu hızlandırdığı ve sertleşme süresini 65 ~ 75 dakikadan 15 dakikanın altına düşürdüğü bulundu. Sıcaklık 80°C'ye yükseldiğinde, çökme oranı %21,83'ten %0,97'ye düşmekte ve şekil tutma indeksi %25,96'dan %1,17'ye düşmektedir, bu da ekstrüzyon bazlı 3D baskı alçıtaşı için etkili isteğe bağlı ayar ve şekillendirme kontrolünü gösterir. Ma vd. [10] Yapışkan alçı tozunun akışkanlığını geliştirmek için farklı tiplerde silika (NS-HB, NS-HL, SS-HB, SS-HL) kullanmışlardır. Farklı boyut, şekil ve yüzey özelliklerine sahip silika parçacıklarının zayıf

akışkanlıktaki alçı tozu üzerindeki kayma etkisini karşılaştırmışlardır. Farklı silika türlerinin akışkanlıkta farklı iyileştirmeler gösterdiği gösterilmiştir. Hidrofobik silikanın, alçı tozunun akışkanlığını hidrofilik olandan daha fazla arttırdığını bulmuşlardır. Genel olarak, hidrofobik nanosilika, 3DPP prosesinde alçı bazlı ürün kalitesini etkili bir şekilde iyileştirebilmektedir. Eydivand vd. [11] yaptıkları çalışmada kemik dokusu mühendisliği uygulamaları için karmaşık yapılarda gözenekli kalsiyum sülfat bazlı iskele prototipleri yapma potansiyelini değerlendirmek için optimal işleme parametreleri geliştirmiştir. Ana baskı parametresi olarak katman kalınlığı, üst üste gelen katmanların yayılma gecikme süreleri ve numunelerin yapılarıdır. Optimum 3D baskı özelliklerini etkileyen önemli faktörleri

belirlemek için sinyal-gürültü oranı ve varyans (Anova) analizini kullanmışlardır. Sonuçta minimum katman kalınlığı 89 μm ve 300 ms gecikme süresi olan yapı düzleminin x yönü kullanılarak basılan numunelerin en yüksek kalitede iskele prototiplerini verdiğini tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada literatürden farklı olarak eklemeli imalat yöntemi kullanılarak boşluklu alçı briket elemanlar üretilmiştir. Alçı harcına taze halde ve sertleşmiş halde deneyler uygulanmıştır. Fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Malzemeler

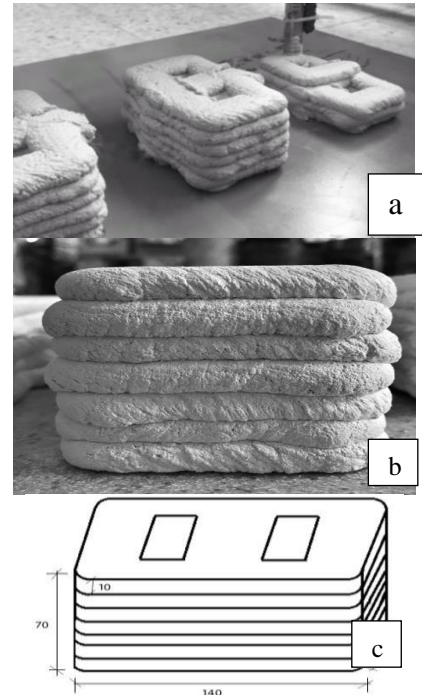
Bağlayıcı malzeme olarak knauf markasının izogips perlitli sıva alçısı kullanılmıştır.

Çizelge 1. Knauf izogips perlitli sıva alçısının teknik özellikleri.

Tanım	Birim	Değer
Renk	-	Beyaz
Yangına tepki	-	A1
CaSO ₄ oranı	%	>50
Basınç dayanımı	N/mm ²	≥2
Eğilmede çekme dayanımı	N/mm ²	≥1
Adezyon dayanımı	N/mm ²	≥0,1
Kullanma süresi	dk	70-80
Karışım su miktarı (10 kg için)	L	5-6
Uygulama sıcaklığı	°C	≥5
İşlenebilirlik süresi	dk	160-180

2.2. Alçı Briketlerin Üretimi

Eklemeli imalat yöntemi kullanılarak üretilen alçı briketlerin imalatında pistonla itilerek bir uçtan çıkartılma yöntemiyle Ram ekstrüzyon cihazı [12] kullanılmıştır. Ekstrüzyona bağlı 3B baskı cihazı ile alçı briketler üretilmiştir ve deneyler bu alçı briketler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Alçı briketlerin birleşiminde 0,45 oranında su/bağlayıcı kullanılmıştır [5]. Hazırlanan alçı bazlı harç ekstrüzyon haznesine konulmuştur ve 3B yazıcıya ekstrüde edilmiştir. 3B yazıcı ile tek seferde 3 adet olmak üzere alçı briketler basılmıştır (Şekil 1-a). Alçı briketler 140 mm uzunluğunda 70 mm genişliğinde, katman kalınlıkları 10 mm ve 7 katmanlı olarak (Şekil 1-b,c), iki gözlü briket şeklinde basılmıştır. Yazdırılan alçı briketler priz almaları için bir süre beklenmiştir. Briketlerin 1, 7 ve 28 günlük mekanik özelliklerini belirlemek üzere havada kürelemeye bırakılmıştır.



Şekil 1. (a) Alçı briketlerin üretim aşaması, (b) katmanların görünümü, (c) ölçkleme.

2.3. Yapılan Deneyler

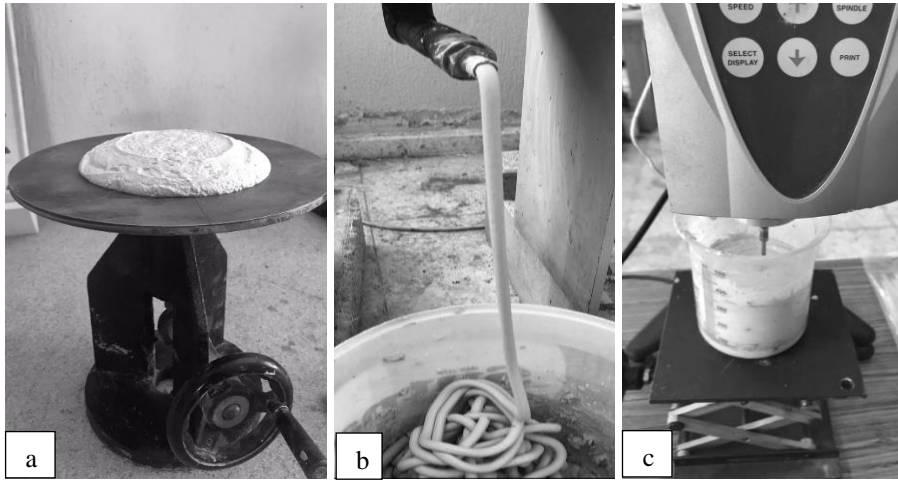
-Taze harç özelliikleri

Eklemeli imalat yönteminde kullanılacak yazdırılabilir bir harç elde edebilmek için çok spesifik reolojik özelliklerin karşılanması gerekmektedir. Baskı işleminde kullanılacak harç hem pompalanabilir kıvamda olmalıdır hem de baskı işlemi sırasında üst üste katmanlar oluşturulurken alt katmanları dağılmamalıdır [12]. Bunun için taze harç üzerinde bir takım testler yapılmaktadır. Alçı bazlı harç hazırlandıktan sonra işlenebilirlik ve yazdırılabilirlik kontrolü için yayılma testi yapılmıştır. Bu deney sayesinde yayılma özellikleri belirlenmiştir. Bunun için alçı bazlı harç yayılma tablasının konisine konulmuştur, koni yukarı doğru çekildikten sonra tablanın darbe kolu ile 15 vuruş yapılarak alçı bazlı hara darbe uygulanmıştır. Alçı bazlı harç yayıldıktan sonra birbirine dik doğrududa

yayılma çapları ölçülmüştür ve değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır (Şekil 2-a).

Taze harç üzerinde uygulanan bir diğer deney ise ekstride edilebilirlik deneyidir. Ekstride edilebilirlik deneyinde sabit bir hızda alçı bazlı harın tıkanma olmadan ve 400 mm yukarıdan kopmadan akabilmesi dikkate alınmıştır (Şekil 2-b).

Taze hal deneyi olan viskozite deneyi de bu çalışmada yapılarak alçı bazlı harın viskozitesi incelenmiştir. Viskozite deneyi için Brookfield DV-II model Viskozimetre cihazı kullanılmıştır(Şekil 2-c) ölçümler bingham reolojik modele göre yapılmıştır. Cihaz 10-100 dev/dk hızı ile görünen viskozite değerleri ölçülmüştür. Bu değerler laboratuvar ortamı sıcaklığında ve V-74 nolu kanat şeklindeki uç kullanılarak yapılmıştır.



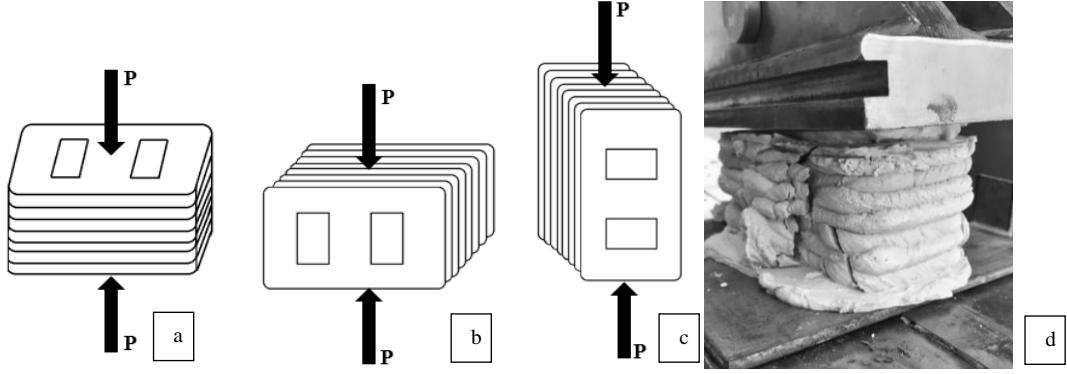
Şekil 2. (a) Yayılma tablası deneyi, (b) Ekstride edilebilirlik testi, (c) Viskozite deneyi.

-Sertleşmiş harç özellikleri

Alçı briketlerin özellikleri belirlenmesi için sertleşmiş haldeki numunelere de bir takım deneyler uygulanmıştır. Bu deneyler birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, görünen boşluk oranı, basınç dayanımı ve katmanlar arası bağ dayanımıdır.

Birim ağırlık tayini için 3 adet deney numunesi 24 saat etüvde kurutulduktan sonra tartılmıştır. Daha sonra numunelerin suya doğgun ve su içerisinde ağırlıkları alınmıştır bu değerler Arşimet prensibine göre oranlanarak birim ağırlık, su emme ve görünen boşluk oranları tayin edilmiştir. Elde edilen değerlerin

aritmetik ortalamaları alınmıştır. Basınç dayanımlarının belirlenmesi için basılan alçı briketlerin tüm serilerine basınç testleri TS EN 12859 standardına göre uygulanmıştır. Eklemeli imalatla üretilen elemanların farklı yönlerdeki dayanımları homojenitesini göstermektedir [13]. Bu amaçla yazdırılan briketlere 3 farklı yönde (Şekil 3-a,b,c) ve 1, 7 ve 28 günlük basınç testleri yapılmıştır. Tüm gruplarda 3 farklı yön ve 3 farklı gün için 3'er adet numune kullanılarak yapılmış ve aritmetik ortalama değerleri kullanılmıştır. Bütün serilerde basınç deneyinden önce alıyla başlıklama işlemi uygulanarak basınç deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 3-d).



Şekil 3. (a) Düz yüzey alçı briket basınç uygulaması, (b) Yan yüzey alçı briket basınç uygulaması, (c) Dik yüzey alçı briket basınç uygulaması, (d) Basınç deneyi uygulaması.

Aderans deneyi için özel bir düzenek kurulmuştur (Şekil 4). Numunelerin 1, 7 ve 28 günlük kür işlemleri sonunda her grubun yarıda çekme yöntemiyle katmanlar arası bağ dayanımları tespit edilmiştir. Her kür süresi için 3'er numune kullanılmış ve aritmetik ortalamaları alınmıştır.



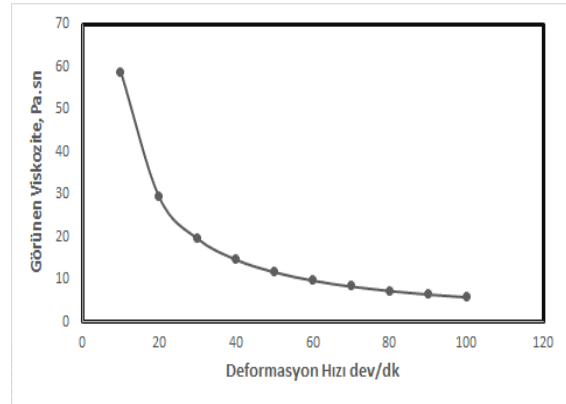
Şekil 4. Aderans deneyi uygulaması.

3. Deney Sonuçları ve Değerlendirme

Alçı bazlı harç 0,45 s/b oranında hazırlandıktan sonra alınan yayılma değerlerinin ortalaması alınmıştır. Taze harcın yayılma çapı 154,2 mm olarak ölçülmüştür. Aynı taze harcın ekstride edilebilirlik deneyi sonucunda kopma ve tıkanma olmadan 400 mm mesafede sürekli bir biçimde aktığı görülmüştür. Taze alçı harcı üzerinde belirlenen bir diğer işlenebilirlik özelliği de görünen viskozite olup deformasyon hızına bağlı olarak Şekil 5'te verilmiştir.

10 dev/dk deformasyon hızında görünen viskozite değerleri 58,85 Pa/sn iken, deformasyon hızı 50 dev/dk ya çıktığında görünen viskozite 11,77 Pa/sn ye düşmektedir. Bunun nedeni deformasyon hızı arttıkça harç içerisindeki taneciklerin arasındaki sürtünmenin

azalması ve birbirleri üzerinde daha kolay hareket edebilmeleridir. Yani düşük deformasyon hızında viskozite yüksektir, yüksek deformasyon hızında viskozite düşüktür, taze alçı harcının içerisindeki taneciklerden dolayı aralarında ters orantı vardır denilebilir.



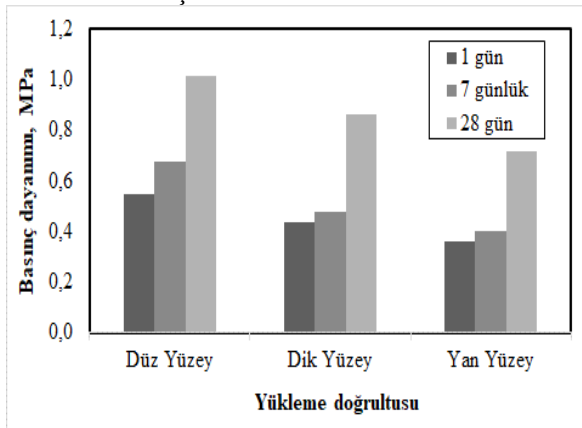
Şekil 5. Alçı hamurunun deformasyon hızına bağlı viskozitesi.

Birim hacim ağırlık deneyi sonucunda standart döküm numuneler ile alçı briket elemanlar kıyaslanmıştır ve Çizelge 2'de verilmiştir. Deney sonuçlarına göre alçı briket elemanın gözenek ve boşluk oranının daha fazla olduğu söylenebilir. Standart numuneye göre boşluklu alçı briketin %14,12 oranında porozitesi ve %4,5 oranında su emmesi daha yüksektir, bunun nedeni olarak sertleşmiş alçı hamuru içerisindeki boşlukların yanısıra alçı briketlerin yazdırılma aşamasında birbiri üzerine gelen katmanların arasındaki boşluklardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Birim hacim ağırlığı da bunlara bağlı olarak %10 oranında daha düşüktür [14].

Çizelge 2. Standart döküm numuneler ve alçı briket numunelerinin fiziksel özellikleri.

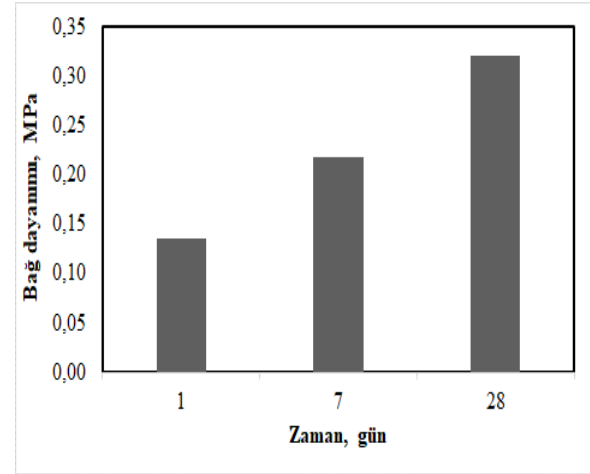
Özellik	Standart Numune	Boşluklu Alçı Briket
Su emme (%)	46.82	54.52
Porozite(%)	49.74	52.09
Birim hacim ağırlık (g/cm ³)	1062.37	956.17

Basınç deneyi sonucunda, boşluklu alçı briketlerin kür zamanı ile doğru orantılı olarak dayanımının da arttığı görülmektedir. Bunun nedeni alçımın su ile reaksiyonu sonucunda oluşan kimyasal reaksiyonların kazandırdığı dayanımdır [15]. Yükleme doğrultusuna bağlı basınç dayanımı sonuçları açısından düz, dik ve yan yükleme doğrultularında incelenmiştir (Şekil 6). Düz doğrultuda elde edilen basınç dayanımı diğer doğrultularda elde edilenlere göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Yazdırılma yönünün basınç dayanımı daha yüksektir. Yazdırılma yönüne dik gelen basınç kuvveti katmanlar arasındaki kayma gerilmesini azaltmıştır. Katmanlar birbirinden ayrılmak yerine daha fazla yapışma sağlar ve bu da basınç dayanımını artırır. Yan ve dik doğrultudaki basınç etkisi için aynı şeyler geçerli değildir. Yan ve dik yüzeye kuvvet uygulandığında üst üste olan katmanlar kaymaya yani birbirlerinden ayrılmaya başlayacaktır ki bu da numunelerin basınç dayanımlarının azalmasına neden olacaktır [14]. Dik yöndeki basınç dayanımının yan yönden fazla olmasının nedeni alçı briketin ortasında bulunan orta bölme narinlik oranını düşürdüğü içindir. Ayrıca yan yüzeyde basınç uygulanan yüzey daha geniştir ve katmanların birleşim noktaları daha fazladır bu da basıncın düşmesine neden olmaktadır.

**Şekil 6.** Alçı briketin farklı yönlerde basınç dayanımları.

Eklemeli imalat yöntemiyle üretilen kompozitlerde katmanlar arası bağ dayanımı da önem teşkil etmektedir [16]. Alçı briket

elamanın katmanlar arasındaki bağ dayanımı Şekil 7'de verilmiştir. Bağ dayanımı birbiri üzerine yazdırılan katmanların aderansıdır. 1, 7 ve 28 günlük serilerde kür zamanı ile doğru orantılı bir artış görülmektedir. Standart numunenin ve alçı briket elemanın bağ dayanımları basınç değerleri ile oranlanmıştır. Alçı briket elemanın katmanlar arasındaki aderansı basınç dayanımının %37'si kadardır, bu değer standart alçı blok elamanda %21'dir.

**Şekil 7.** Alçı briketin katmanlar arası bağ dayanımı.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada eklemeli imalat yöntemiyle üretilen alçı briket elemanların fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Eklemeli imalat için kullanılan harçlarda önemli bir parametre olan ekstride edilebilirlik ölçümlerinde alçı harcı 400 mm mesafeyi kopmadan ve tıkanma olmadan akabilmiştir. Aynı taze harcın yayılma çapı 154,2 mm olarak bulunmuştur.
- Alçı harcının taze haldeki belirlenen viskozite değerleri deformasyon hızının artışına bağlı olarak 58,85 Pa.sn'den 5,88 Pa.sn değerine azalmıştır.
- Eklemeli imalat yöntemiyle üretilen alçı briketlerin birim hacim ağırlık, su emme oranı ve poroziteleri sırasıyla 956.17 kg/m³, %54.52, %52.09 olarak bulunmuştur.

- Alçı briket elemanlara 3 farklı yönde basınç uygulanmıştır. Düz yüzeyden daha yüksek basınç elde edilirken, yan yüzeylerden katmanlar arasındaki bağ etkisinden dolayı daha düşük dayanımlar elde edilmiştir.
- Alçı briket elemanın katmanları arasındaki bağ dayanımı basınç dayanımının %37'si kadar elde edilmiştir. Bu değer standart dökümlü alçı elemanlarda %21 civarında olduğu bulunmuştur.

Sonuç olarak eklemeli imalat yöntemi kullanılarak üretilen alçı briketler yük taşımayan bölme duvarların imalatında kullanılabilir. Ayrıca eklemeli imalat yönteminde kalıp kullanılmadığından zamandan ve maliyetten tasarruf vardır. Belirli bir şekil sınırı bulunmadığından daha karmaşık yapıların üretilmesine imkan sağlamaktadır. 3D yazıcılar sayesinde hızlı modelleme yapılabilir ve ürün elde edilmeden önce modellenmiş olur. Üretimde kullanılan makine sayısını azaltmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Özer, G., “Eklemeli üretim teknolojileri üzerine bir derleme”, Nigde Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences, Vol. 9, Issue 1, Pages 606-621, 2020.
2. Erener, Ş., Boz, S., “Modern Üretim Tekniklerinde Eklemeli İmalat Sistemlerinin Yeri ve Kullanım Alanları”, TJFDM, Vol. 3, Issue 1, Pages 47-56, 2021.
3. Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Ergür, Ö., “3B yazıcı ile baskılanmış uçucu kül katkılı harçların rötre özelliklerinin araştırılması”, International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, Vol. 6, Issue 1, Pages 143-148, 2022.
4. Uygunoğlu, T., Barlas Özgüven, S., Topçu, İ.B., “3d teknolojisi ile yapı malzemesi üretimindeki gelişmeler”, International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, Vol. 3, Issue 3, Pages 279-288, 2019.
5. TS EN 12859, Alçı bloklar - Tarifler, gerekler ve deney yöntemleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2011.
6. Liu, C., Gao, J., Tang, Y., Chen, X., “Preparation and characterization of gypsum-based materials used for 3D robocasting”, Journal of Materials Science, Vol. 53, Pages 16415–16422, 2018.
7. Gürdal, E., Acun, S., “Alçı malzemelerinin taşıyıcılık özellikleri”, Türkiye Mühendislik Haberleri, Cilt 5, Sayı 427, 2003.
8. Gong, L., Zhou, Y., Zheng, L., Yuang, P.F., “Extrusion-based 3d printing for recyclable gypsum”, Proceedings of the 27th CAADRIA Conference, Sydney, 9-15 April, Pages 273-282, 2022.
9. Huang, J., Duan, B., Cai, P., Manuka, M., Hu, H., Hong, D.Z., Cao, R., Jian, S., Ma, B., “On-demand setting of extrusion-based 3d printing gypsum using a heat-induced accelerator”, Construction and Building Materials, Vol. 304, 124624, 2021.
10. Ma, B., Jiang, Q., Huang, J., Wang, X., Leng, J., “Effect of different silica particles on flowability of gypsum powder for 3D powder printing”, Construction and Building Materials, Vol. 217, Pages 394-402, 2019.
11. Eydivand, M.A., Hashjin, M.S., Farzad, A., “Effect of technical parameters on porous structure and strength of 3d printed calcium sulfate prototypes”, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 37, Pages 57-67, 2016.
12. Uygunoğlu, T., Barlas Özgüven, S., “3D Beton Yazıcılar İçin Tasarlanan Harçlarının Ekstrüde Edilebilirlikleri”, El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, 410-420, 2021.
13. Şahin, O., “Development of construction demolition waste-based geopolymeric composites suitable for three-dimensional additive manufacturing”, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 196s, 2021.
14. Shakor, P., Nejadi, S., Paul, G., Sanjayan, J., “Dimensional accuracy, flowability, wettability, and porosity in inkjet 3DP for gypsum and cement mortar materials”, Automation in Construction, Vol. 110, 102964, 2020.
15. Aranda, B., Guillou, O., Lanos, C., Daiguebonne, C., Freslon, S., Tessier, C., Laurans, M., Baux, C., “Effect of multiphase structure of binder particles on the mechanical properties of a gypsum-based material”, Construction and Building Materials, Vol. 102, Pages 175-181, 2016.
16. Le, T.T., Austin, S.A., Lim, S., Buswell, R.A., Law, R., Gibb, A.G.F., Thorpe, T., “Hardened properties of high-performance printing concrete”, Cement and Concrete Research, Vol. 42, 558–566, 2012.