



Derleme Makalesi

Eklmeli imalatta kullanılan yeni malzemeler: Uzay araştırmaları

Mehmet Musab Arslan<sup>1</sup>, Büşra alık<sup>2</sup> ve Gültekin Uzun<sup>3</sup>

**Öz.** Diğer sektörlerde ve iş alanlarında olduğu gibi uzay alanında da eklmeli imalatın giderek yaygınlaşması, kullanılan malzemelerin çeşitliliğini ve önemini artırmaktadır. Uzay ortamının zorlu koşulları, bu alandaki malzeme seçiminde yenilikçi ve özel çözümler gerektirmektedir. Bu çalışma, uzay ortamının özel gereksinimlerine uygun olarak geliştirilen eklmeli imalatla kullanılan malzemelerin hangi amaçlarla kullanıldığını, bu malzemelerin örneklerini ve ileriki aşamalardaki faydalarını incelemektedir. Çalışmada, eklmeli imalatın uzay keşfi ve kolonizasyon hedefleri açısından taşıdığı önem de vurgulanmıştır. Uzayda karşılaşılacak çeşitli zorluklar, malzeme bilimi ve mühendislik alanında yeni stratejiler geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Eklmeli imalat, bu ihtiyaçlara yanıt verecek şekilde yerel kaynakların etkin bir biçimde kullanılmasına olanak tanıyarak, sürdürülebilir çözümler sunmaktadır. Sonuç olarak, eklmeli imalat uzay sektöründeki yeni malzemelerle kullanımı, uzay keşfi ve kolonizasyon hedeflerine ulaşmak için kritik bir rol oynamaktadır. Bu alandaki ilerlemelerin, insanlığın uzaydaki varlığını kalıcı hale getirme çabalarına büyük katkı sağlaması beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Eklmeli imalat, uzay sektörü, regolit malzeme, yerinde üretim.

Review Paper

New materials used in additive manufacturing: Space research

**Abstract.** As in the other sectors and industries, the increasing prevalence of additive manufacturing in the space field is enhancing the diversity and importance of the materials used. The challenging conditions of the space environment necessitate innovative and specialized solutions in material selection. This study examines the materials used in additive manufacturing developed for the unique requirements of the space environment, their intended purposes, examples of usage, and the benefits they may provide in the future. The importance of additive manufacturing in relation to space exploration and colonization goals is also emphasized. The various challenges encountered in space require the development of new strategies in material science and engineering. Additive manufacturing offers sustainable solutions by enabling the effective use of local resources. In conclusion, the use of new materials in additive manufacturing within the space sector is expected to play a critical role in achieving the goals of space exploration and colonization. Advancements in this field are anticipated to significantly contribute to humanity's efforts to establish a permanent presence in space.

**Keywords:** Additive manufacturing, space industry, regolith material, on-site production.

1 Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.ř. (TUSAş), 06980, Ankara, Türkiye; [mehmetmusab.arslan@tai.com.tr](mailto:mehmetmusab.arslan@tai.com.tr)

2 İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gaşi Üniversitesi, 06560, Ankara, Türkiye; [busracalik@gazi.edu.tr](mailto:busracalik@gazi.edu.tr) (Sorumlu Yazar)

3 İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gaşi Üniversitesi, 06560, Ankara, Türkiye; [uzun.gultekin@gazi.edu.tr](mailto:uzun.gultekin@gazi.edu.tr)

<https://doi.org/10.52995/jass.1553603>

Geliş Tarihi: 20 Eylül 2024; Kabul Tarihi: 27 Kasım 2024; Yayımlanma Tarihi: 28 Şubat 2025

© 2025 Türk Hava Kurumu Üniversitesi. Tüm hakları saklıdır.

Bu makale Creative Commons Atıf-GayriTicari-AynıLisanslaPaylaş 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.



## 1. GİRİŐ

Uzay çalışmalarında dikkat edilen durumlar ve sınır koşulları, uzay ortamından ya da diğer gezegenlerin ortamlarından kaynaklı yerçekimi, enerjinin ulaşımı, kullanılabilir malzemelerin sınırlı olması olarak sıralanabilir. Uzay çalışmalarında 1950'li yıllardan başlayan ivmelenme, günümüzde birçok imalat, lojistik, bilimsel araştırma gibi alanlarda da yaşanmaktadır. Uzay sektörünü hedefleyen ve iş alanı olarak seçen üretim yöntemleri giderek kendilerini geliştirmekte, günden güne yeni üretim yollarında ve malzemelerde entegre olmaktadır.

Küresel ısınmanın giderek artması, maliyetlerin küresel krizlerle yaşanan enflasyona paralel Şekilde artması birçok sektörü etkilediği gibi uzay sektörünü de etkilemektedir. Lojistik ve ulaşım sektöründeki sıfır emisyon hedefleri olduğu gibi üretim aşamalarında da maliyet ve atık malzeme azaltımına yönelik hedefler ve projeler bulunmaktadır. Uzay sektöründe; maliyetlerin yüksek olması, lojistik imkanının sınırlı olması, araştırma çalışmalarında vaktin kısıtlı olması gibi sınırlardan dolayı özellikle parça üretimi düşünüldüğünde maliyetlerin düşürülmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda, parçaların üretiminde kullanılan malzemelerin optimizasyonu, 3D yazıcılar gibi gelişmiş üretim teknolojilerinin kullanımı ve modüler tasarım yaklaşımları gibi yöntemlerle üretim süreçleri daha verimli hale getirilmeye çalışılmaktadır. Uydular için uzun süreli hizmet sürelerinin hedeflenmesi, yerinde bilimsel çalışmalar için uzayda koloni çalışmaları paralelinde eklemeli imalatın yeni malzemelerle entegre edilip kullanılması elzemdir.

Bu derleme çalışmasında uzay sektöründeki faaliyetlerin ve araştırmaların eklemeli imalatta kullanılan yeni malzemeler açısından incelenmesi hedeflenmiştir. Eklemeli imalatta kullanılan yeni teknolojilerin, çalışmaların hedefleri ve odağı incelendiğinde, imalatta hız, malzeme sarfiyatında azalma, enerji tasarrufu gibi olgular grlmektedir. (am, Prospects of producing aluminum parts by wire arc additive manufacturing (WAAM), 2022), (am & Gnen, Challenges and opportunities in the production of magnesium parts by directed energy deposition processes, 2024), (Güler, Serindağ, & am, 2022). Eklemeli imalatın sağlayabileceği evre dostu özellikler ve düşük ekipman maliyetleri gibi avantajlar, uzay endüstrisinde sürdürülebilir bir üretim modeli oluşturulmasında kilit rol oynamaktadır. Karmaşık geometrik yapıya sahip parçaların hafif ve dayanıklı malzemelerden üretilmesi, eklemeli imalatın uzay sektöründeki önemini artırmaktadır. Polimer malzemelerin yanı sıra eklemeli imalat yüksek performanslı metal bileşenlerin üretiminde büyük bir potansiyele sahiptir ve bu teknoloji, uzay araştırmalarında gerekli olan hafiflik ve dayanıklılık gereksinimlerini karşılamak için uygun bir çözüm sunmaktadır. Teknolojinin ilerlemesiyle, eklemeli imalatın sağladığı yeni malzeme seçenekleri ve üretim yöntemleri, uzay programlarının ihtiyaçlarına cevap vermektedir. Geleneksel metal ve organik malzemelerin ötesinde, yerçekimi ve malzeme taşınımı gibi zorluklar nedeniyle alternatif malzemelere yönelim artmıştır. Özellikle Ay ve Mars gibi diğer gezegenlerde yerleşim kurma hedefleri doğrultusunda, yerinde malzeme kullanımı önem kazanmıştır; bu amaçla toprak örnekleri araştırılmakta ve taklit malzemeler geliştirilerek eklemeli imalat süreçlerinde test edilmektedir.

Uzay programlarında eklemeli imalatın faydaları arasında roket ve uydu malzemelerinin hafifletilmesi ve hizmet ömürlerinin uzatılması yer almaktadır. Ayrıca, otomotiv ve havacılık sektrlerinde edinilen deneyimler, uzay sektöründeki uygulamaların artmasına katkıda bulunmuştur. Bu alışma, gelecekte eklemeli imalat yöntemlerinin gelişimini ve yeni malzeme yelpazesinin genişlemesini sağlayacak potansiyeli ortaya koymaktadır.

## 2. EKLEMELİ İMALAT VE UZAY ARAŞTIRMALARI

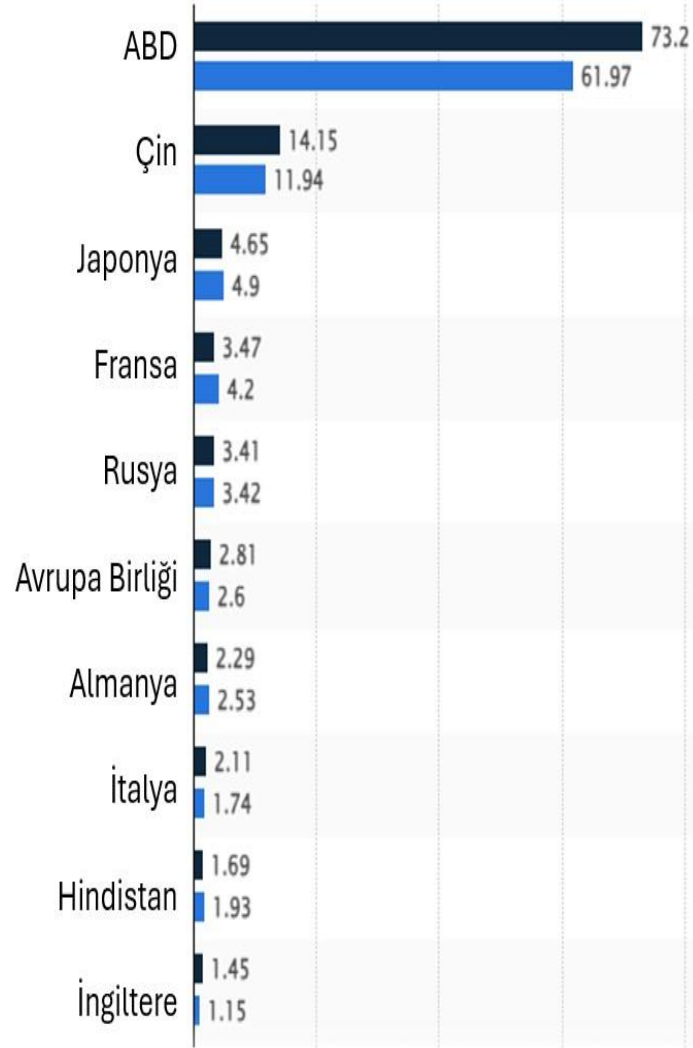
Eklemeli imalat, ardışık malzeme ekleme yoluyla fiziksel nesnelere oluşturma olarak nitelendirilir (Uluslararası Standardizasyon Kuruluğu (ISO) ve Amerikan Malzeme ve Test Topluluğu (ASTM), 2020). Malzeme sarfiyatındaki avantajı, geleneksel üretim yöntemlerine göre tasarım avantajları, eklemeli imalatı uzay sektöründe gün geçtikçe daha cazip hale getirmektedir (Williams & Butler-Jones, 2019). Eklemeli imalat yöntemlerinin ve süreçlerinin geliştirilmesi, birden fazla fonksiyonun yerine getirilmesini sağlayacak karmaşık parçaların üretiminin geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Eklemeli imalatın bu pozitif özelliği sayesinde yüksek adetli parçaların birbiri ile birleştirilmesi daha mümkün olmaktadır (Yang & Zhao, 2018). Diğer retim yöntemleriyle parça azaltmak mümkün olduğu gibi eklemeli imalat ile bu avantaj daha fazla kullanılacaktır.

Eklemeli imalatın kullanımı gerek havacılık gerek otomotiv gibi sektrlerde günden güne payını arttırmaktadır. Bu bağlamda, son yıllarda özellikle Ni-esaslı süper alaşımlar ve paslanmaz çelikler gibi birçok alaşımdan eklemeli imalat ile parça üretimi konusunda birçok çalışmalar yapılmıştır (Bölükbaşı, Serindağ, Gürol, Gnen, & am, 2023), (Gürol,

ve diğerleri, 2023), (Güven, Gürol, Koçak, & Çam, Investigation into the influence of boronizing on the wear behavior of additively manufactured Inconel 625 alloy at elevated temperature, 2023), (Güven, Gürol, Koçak, & Çam, A new approach to improve some properties of wire arc additively manufactured stainless steel components: Simultaneous homogenization and boriding, 2023), (Ceritbinmez, Güven, Gürol, & Çam, 2023). Bu iki sektör özelinde düşünüldüğünde yapılan çalışmaların yüksek adetli ve yüksek güvenlik faktörüne sahip parçaların üretilmesi, kullanılması ve test edilmesi; diğer sektörler için bir referans oluşturmaktadır. Sadece metal ile eklemeli imalat alanında değil, inşaat sektöründe de çimento ve yapı malzemelerinin eklemeli imalat ile kullanımı görülebilmektedir (Jamali, Kaushal, & Najafi, 2021). Uzay sektöründe de sadece uydu ve roketler için metal kullanımı değil, yerinde bilimsel araştırmalar için koloni çalışmalarının başlatılması hedefiyle regolit malzemelerin eklemeli imalat ile kullanımı araştırılmaktadır.

## 2.1. Uzay Sektöründeki Çalışmalar

Uzay sektöründeki çalışmalar incelendiğinde uydu, roket, bilimsel araştırmalar, keşif çalışmaları gibi alanlarda birçok çalışma görülmektedir. Her ülke için uzay çalışmaları iletişim, haberleşme gibi ana ihtiyaçları sağlaması sebebiyle yüksek önem göstermektedir. Bu çalışmaların devamı ve geliştirilmesi için ülkeler uzay çalışmalarına yaptıkları yatırımları giderek arttırmaktadır. Şekil 1’de uzay programlarına yatırım yapan ülkelerin yatırım maliyetlerine göre sıralaması verilmektedir. Bu listede özellikle ABD ve Çin gibi ekonomik olarak güçlü ülkelerin %10’un üzerinde harcama paylarının arttığı görülmektedir.



Şekil 1. Ülkeler Bazında Uzay Programları Harcamaları (Milyar Dolar Bazında) (Statista, 2024)

Tüm ülkeler kendi iletişim ağlarını kurabilmek, haberleşme sistemlerini oluşturabilmek ve istihbarat faaliyetlerini yürütebilmek için Dünya yörüngesine uydu göndermek mecburiyetindedir. Uydu çalışmalarının geçmişi incelendiğinde, ilk insan yapımı uydunun Sputnik I olduğu görülmektedir. NASA, “Sovyetler Birliği’nin Sputnik I uydusunu

başarılı bir şekilde yolladığı 4 Kasım 1957’de tarih değışti.” ibaresi bulunmaktadır (NASA, Sputnik, 2023). Sputnik I uydusunun fırlatılması, soğuk savaş yıllarında Sovyetler Birliği için önemli bir avantaj sağlamıştır. O tarihten bugüne ise uydular; uzay araştırmaları, bilimsel keşiflerin yanı sıra iletişim, navigasyon ve hava durumu tahmini gibi birçok alanda da önemli bir rol oynamaktadır. Tablo 1 incelendiğinde yıllara göre yörüngeye fırlatılan uydu sayıları görülmektedir. Yörüngeye atılan uydu sayıları 1957 senesinde 2 adetle başlarken 2022 senesine geldiğimizde bu sayı 2474 adede ulaşmıştır. Bu artışta, teknolojinin giderek daha çok gelişmesiyle mikro-uyduların faaliyetlerinin ve imkanlarının artmasının önemli etkisi vardır. Ekonomik olarak büyük uzay çalışmalarına yönelik çalışma yapamayan ülkeler, büyük bütçeler ayırmadan uzay sektöründe yer edinebilmek için mikro-uydulara yönelmiştir (Pixalytics, 2023).

**Tablo 1.** Yıllara göre Yörüngeye Fırlatılan Toplam Uydu Sayısı (Adet Bazında) (Pixalytics, 2023)

<b>1957</b>	2	<b>1974</b>	128	<b>1991</b>	135	<b>2008</b>	109
<b>1958</b>	8	<b>1975</b>	158	<b>1992</b>	130	<b>2009</b>	125
<b>1959</b>	14	<b>1976</b>	158	<b>1993</b>	108	<b>2010</b>	120
<b>1960</b>	20	<b>1977</b>	137	<b>1994</b>	123	<b>2011</b>	129
<b>1961</b>	38	<b>1978</b>	165	<b>1995</b>	105	<b>2012</b>	134
<b>1962</b>	77	<b>1979</b>	124	<b>1996</b>	100	<b>2013</b>	210
<b>1963</b>	72	<b>1980</b>	130	<b>1997</b>	152	<b>2014</b>	241
<b>1964</b>	107	<b>1981</b>	158	<b>1998</b>	157	<b>2015</b>	222
<b>1965</b>	163	<b>1982</b>	145	<b>1999</b>	129	<b>2016</b>	221
<b>1966</b>	145	<b>1983</b>	154	<b>2000</b>	121	<b>2017</b>	456
<b>1967</b>	159	<b>1984</b>	163	<b>2001</b>	86	<b>2018</b>	453
<b>1968</b>	140	<b>1985</b>	165	<b>2002</b>	96	<b>2019</b>	586
<b>1969</b>	138	<b>1986</b>	134	<b>2003</b>	88	<b>2020</b>	1274
<b>1970</b>	130	<b>1987</b>	135	<b>2004</b>	74	<b>2021</b>	1810
<b>1971</b>	156	<b>1988</b>	145	<b>2005</b>	72	<b>2022</b>	2474
<b>1972</b>	133	<b>1989</b>	139	<b>2006</b>	95	<b>2023</b>	1354
<b>1973</b>	138	<b>1990</b>	168	<b>2007</b>	111		

Bu uyduların yörüngeye yerleştirilmesinde roketlerin payı çok büyüktür. 2. Dünya Savaşı ile silah sektöründe büyük bir sıçrama meydana gelmiştir. Bu sıçrama ile füzelerin büyük tahribat ve uzun menzillere ulaşabilmesi amacıyla başta Almanya olmak üzere, savaşa katılan ülkeler roket yapımına önem vermiştir. Uzun menzillere ulaşan roketler, uzay sektöründe de dünya dışına ulaşmak için akla gelen ilk ulaşım aracı olmuştur. Dünya dışına yollanan ilk cisim 1944 yılı haziran ayında 189 km yüksekliğe ulaşan V-2 roketidir. Günümüzde uzaya yollanan roketlerin sayısının, Tablo 1’de yer alan fırlatılan uydu miktarı düşünüldüğünde çok fazla olduğu düşünülebilir. Uydu yollamak ya da astronot yollamak amacıyla kullanılan roketlerin boş yakıt tanklarının yörüngeye bırakılması, üretimlerinin zor ve uzun süreler gerektirmesi gibi zorluklar bulunmaktadır. Bu zorluklar günümüzde roketlerin tekrar kullanılması, geri indirilmesi ile büyük ölçüde aşılmıştır. Roketlerin tekrar kullanılması amacıyla SpaceX (ABD) firmasının yaptığı çalışmalar devrim niteliğindedir. SpaceX firmasının ürettiği Falcon 9 roketleri tekrar kullanılabilir olarak tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Şu ana kadar Falcon 9 roketleri toplam 349 kez kalkış gerçekleştirmiştir. Toplam iniş sayısı 306 olup, bu roketler toplam 280 kez tekrar kullanılmıştır (SpaceX, Falcon 9, 2024).



**Şekil 2.** Falcon 9 Block 5'in İlk Uçuşu (Bangladeş'e Ait Bangabandhu-1 Uydusu Fırlatılmıştır.) (CBS News, 2018)

## 2.2. Uzay Alanındaki Gelecek Çalışmalar

İnsanlık olarak uzay hep merak edilen ve araştırılan bir alan olmuştur. Uzayın dünyadan keşfi belirli limitler ile sınırlandırılmış olsa da teknolojinin gelişmesiyle bu sınırlar giderek daha da ötelenmektedir. Öte yandan insanlık olarak uzaya dair bilgimiz arttıkça hedeflediğimiz, ulaşmak istediğimiz uzaklıkların boyutu da artmaktadır. Sadece güneş sistemi değil keşfedilen diğer yıldız sistemleri incelenebilmektedir. Günümüzde Voyager-1 ve Voyager-2 uyduları sayesinde sadece Güneş'ten Plüton'a değil, Güneş sisteminin dışında kalan alanlar da incelenmeye başlanmıştır. Şu anda yaklaşık 164 Astronomik Birim uzaklıkta olan ( $2,45 \times 10^{10}$  km) Voyager-1 uydusu, Ağustos 2012'de yıldızlar arası sisteme geçmiştir (NASA, Voyager Görevi, 2024).

İnsanlık olarak dünya dışında karşılaşılan ilk yapı olarak Ay karşımıza çıkmaktadır. Yerdeki teleskoplar ile Ay'ın yüzeyi incelenebilmektedir. Ancak mesafe arttıkça daha gelişmiş teleskoplara ihtiyaç duyulmaktadır. Gerek yörüngeye yerleştirilen teleskop uydular gerekse dünya yüzeyine yerleştirilen büyük radyo-teleskoplar sayesinde ölçülebilen mesafeler artmıştır. Toplanan veriler yorumlanarak ve yeniden hesaplanarak uzak yıldız sistemlerinin gezegen sayıları ve hatta bu gezegenlerin yüzeylerindeki sıcaklıklar yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. Kepler-90 yıldız sistemi, tek yıldızla sahip olması ve gezegenlerinin yıldızdan uzaklaştıkça büyümesi gibi özelliklerle Güneş Sistemimizin ikizi olarak nitelendirilmektedir (NASA, Kepler-90 Sistemi Gezegen Boyutları, 2020). Güneş sistemimize en yakın yıldız sistemi olan Alpha Centauri yıldız sistemi, Güneş sistemi ve Kepler-90 sisteminin aksine 3 yıldız içermektedir. Alpha Centauri A, Alpha Centauri B ve Proxima Centauri yıldızlarından oluşan bu sistem içerisinde Alpha Centauri A ve B yıldızları yörüngelerinde henüz bulunan bir gezegen olmamasına karşın, Proxima Centauri yıldızı etrafında iki adet gezegen keşfedilmiştir (NASA, Alpha Centauri Üçlü Yıldız Sistemi Dünya'dan Yaklaşık 4 Işık Yılı Uzaklıkta, 2024). Dünyamızdan yapılan incelemelerin mesafeden kaynaklı sınırlı olması ve uzay boşluğunda bulunan veri akışını sekteye uğratan birçok gök cismi bulunmasından kaynaklı, başta en yakın yıldız sistemi olan Alpha Centauri olmak üzere uzak yıldız sistemlerine minik uydular atılması düşünülmektedir. Bu kapsamda bilinen en büyük projelerden biri olan Breakthrough StarShot projesi, Alpha Centauri yıldız sistemine nanocraft adı verilen küçük uyduları lazer ile fırlatılarak incelemeyi hedeflemektedir. Proje kapsamında Nanocraft'lar ile yerinde inceleme yapılarak yıldız sistemi yerinde incelenecektir (Breakthrough İnisyatifleri, 2024).

Uzayın büyüklüğüne ve yapısına dair araştırmalar başlarda basit teleskoplar ile gerçekleştirilirken, günümüzde uydular ve radyo teleskoplar ile yürütülmektedir. Bu gelişimin gelecekte daha fazla ilerlemesi öngörülmektedir. Uzay programlarına ayrılan bütçelerin artması, bu öngörüğü desteklemektedir. Keşif çalışmalarını ve fizik, biyoloji ve kimya gibi ana bilim dallarındaki yüksek gelişim sayesinde keşfedilen gezegenlerin yapısı ve atmosferik koşullar hesaplanabilmektedir. İnsan nüfusunun giderek artması ve dünyadaki kaynakların sınırlı olması, uzay çalışmalarındaki kolonizasyon çalışmalarının yönünü etkilemektedir. Küresel ısınma, doğal kaynakların insanlar bazında payının azalması gibi sebeplerden dolayı Dünya dışı yerleşim ve koloni çalışmalarının geliştirilmesine yol açmıştır. Yakın

gelecekte uzay seyahatlerinin artması beklendiği gibi, diğer uzak galaksilere göre daha yakın olan Ay ve Mars gibi uzay cisimlerine koloni kurma amacıyla büyük projeler başlatılmıştır. Sadece lkeler bazında değil uzay ajansları ve uzay çalışmaları yapan firmalar tarafından büyük ölçekli projeler başlatılmıştır. rnek olarak, SpaceX (ABD) firmasının Mars Kolonizasyonu Programı ile Starship uzay araçları ile Dünya'dan Mars'a insan ve hammadde taşınımı gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Mars'ın Dünya'ya en yakın gezegenlerden biri olması, Mars yüzeyinde bir günün 24 saat 37 dakika ile Dünya gününe çok yakın olması gibi sebepler Mars gezegenini tercih edilebilir kılmıştır (SpaceX, Mars'a İnsan Uzay Uuğu, 2024).

Dünya'da bulunan materyallerin sınırları belli olmakla birlikte, Dünya yüzeyinden çok aşağıda bulunan malzeme kaynaklarına ulaşmak çok yüksek maliyetler gerektirmektedir. Uzay çalışmalarında kullanılan zirkonyum, demir, magnezyum gibi elementlerin koloniler kurulduğunda yerinde kullanımı hedeflenmektedir. Bu kapsamda yapılan asteroid ve gezegen madenciliği faaliyetleri hakkında şu an için araştırmalar yapılmakta, yakın gelecekte ise bu faaliyetleri gerçekleştirmek hedeflenmektedir. Bu alanda yapılan ve ilk başarılı rneği olan Stardust uzay aracı, 1999 senesinde 5535 Anfrank adlı asteroid üzerinden toz parçaları toplayıp 2006 senesinde Dünya'ya dönmüştür. Yıldızlararası tozların edinilmesi, incelenmesi ile Güneş sistemimizin oluşumu hakkında önemli veriler elde edilmiştir (NASA Jet Propulsion Laboratuvarı, 2009).

### **3. EKLEMELİ İMALATTA KULLANILAN YENİ MALZEMELER: UZAY ARAŞTIRMALARI**

#### **3.1. Uzay Faaliyetlerinde Eklemlerli İmalat**

Eklemlerli imalatın günümüzde sağladığı avantajlar, uzay sektöründeki kullanımı da düşünüldüğünde daha da önemli hale gelmektedir. Uzay taşımacılığının uzay roketleri ile gerçekleştirilmesi, roketlerdeki ağırlık azaltımı çalışmaları ile büyük miktarlarda yakıt tasarrufu sağlanabilir. Robotlar yardımıyla yerinde kaynak kullanımıyla erken üretime başlanarak, araştırma çalışmalarının verimli sresinin arttırılması mümkün olacaktır. Hem önemli vakit kazançları hem de yüksek btli projelerde maliyetlerin azaltılması, eklemlerli imalatı vazgeçilmez seçeneklerden biri haline getirmiştir.

Eklemlerli imalat, uzay araştırmalarında sürdürülebilirlik ve verimlilik hedeflerine katkı sağlayan devrim niteliğinde bir teknolojidir. Bu teknoloji, uzay ortamının zorlu koşullarında gerekli dayanıklılığı sağlayan karmaşık geometrilere sahip parçaların hızlı ve düşük maliyetle üretilmesine olanak tanır. Özellikle, uzun vadeli uzay görevlerinde yerinde üretim imknı sunması, yedek parça ve yapı elemanlarının taşınma ihtiyaını minimuma indirir. Uzay ortamında kritik yapıların ve bileşenlerin tamir edilmesi veya yeniden üretilmesi gibi benzersiz bir avantaj sağlamaktadır. Mars veya Ay gibi uzak gezegenlerde koloni kurulması hedeflendiğinde, yerel malzemelerin kullanılması ile yerinde üretim yapılması, lojistik zorlukları ve maliyetleri azaltmaktadır. Bu durum, sürdürülebilir uzay keşfi için önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Uzay faaliyetlerinde eklemlerli imalat, aynı zamanda hafif ama yüksek dayanımlı yapıların tasarımında geniş bir tasarım özgürlüğü sunar. Geleneksel retim yöntemlerine kıyasla, eklemlerli imalatla üretilen parçalar, daha az malzeme israfı ve optimize edilmiş yapısal tasarımlarla üretilir. Bu zellik, roketlerde yakıt tasarrufu sağlanmasına ve uzay araçlarının daha yüksek performansla çalışmasına katkıda bulunur.

NASA, ESA gibi uzay ajansları ve özel sektör firmaları, eklemlerli imalatın sunduğu avantajları kullanarak daha verimli, dayanıklı ve özelleştirilebilir bileşenler geliştirmektedir. Örneğin, uzay istasyonlarında kullanılan bazı yedek parçaların yerinde üretilmesi sayesinde, görev sırasında ihtiyaç duyulan kritik parçaların hızlıca temin edilmesi mümkün hale gelmektedir. Bu yaklaşım, uzun süreli uzay görevlerinde güvenilirliği arttırmakta ve maliyetleri düşürmektedir.

İmalat yöntemleri ve üretim sektörleri düşünüldüğünde eklemlerli imalat, geleneksel üretim yöntemlerine göre daha yeni bir teknoloji olarak grlmektedir. Eklemlerli imalat, kendi içerisinde birçok üretim yöntemi olarak değerlendirilmelidir. Chuck Hull'un 1986 yılında "Stereolitografi (SLA) ile üç Boyutlu Nesnelerin retilimi için Aparat" patentini alması ve 3 boyutlu baskı makineleri ile bu fikrini ticarileştirilmesi ile SLA, yeni bir imalat yöntemi olarak ortaya çıkmıştır (U.S. Patent No. 4, 575, 330, 1986). Seçmeli Lazer Ergitme (SLM) yöntemi, 1990 senesinde Fraunhofer Enstitüsü'nün geliştirdiği ve Fockele&Schwarze GmbH firması tarafından ticari hale getirdiği bir eklemlerli imalat yöntemi olmuştur. Havacılık ve savunma gibi sanayiiler için zorlu gereksinimleri karşılamada karmaşık

parçaların üretiminde bir seçenek olarak benimsenmesini sağlamıştır (Özsoy, Duman, & İçkale Gültekin, 2019). Günümüzde eklemeli imalatın kullanımının artmasıyla ve teknolojisinin gelişmesiyle, uzay sektöründeki kullanımına yönelik uzay ajansları, belirli standartlar oluşturmaktadır (NASA, Metallerde Lazer Toz Yatak Füzyonu ile Eklemeli olarak Üretilmiş Uzay Uçuş Donanımı Standardı, 2017).

### 3.2. Regolit Malzemeler

Regolit, sözlük tanımı itibarıyla kayayı örten gevşek kayalık malzemelere denmektedir (Etymonline, 2024). Ay gibi doğal uyduların ya da Mars, Venüs gibi kaya gezegenlerin yüzeyinde Regolit toprak (ince taneli toprak, kuma benzer) bulunmaktadır. Regolit toprakların, Ay'a ve Mars'a giden uzay araçları tarafından hem yerinde hem de Dünya'da incelenmesi ile artık içeriğine ulaşılabilmektedir. Dünya'da uzaydaki bu toprak malzemelerin benzerleri üretilmeye çalışılmaktadır. Bu taklit edilen topraklar ile çeşitli deneylerin Dünya'da yapılması mümkün olmaktadır.

Birçok uzay çalışması yapan uzay ajansı, kendi Regolit taklitlerini üretmektedir. Bu üretilen taklit topraklar Apollo görevlerinde elde edilen ay regolitleri ile karşılaştırılarak çalışmalar, deneyler ve araştırmalara konu olmaktadır. Koloni çalışmaları düşünülerek bu taklit topraklarda tarım çalışmaları denendiği gibi barınma ihtiyacını giderebilmek için eklemeli imalat denemeleri yapılmaktadır.

Regolit taklit malzemelerin eklemeli imalat yöntemiyle kullanılması sonucunda, uzayda, Mars ve Ay yüzeylerinde yerinde kaynak kullanımı amacıyla yüzeydeki Regolit malzemenin de kullanılabilmesi hedeflenmektedir. Regolit malzemelerin kullanımı, güneş radyasyonundan korunma, meteoritlerden korunma, aşırı sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklılık ve kapalı ortamların basınçlandırılması için önemlidir. Ay ve Mars'ın atmosferlerinin Dünya'nınkine benzemeyen şekilde, daha düşük yoğunluklu ve güneşin radyasyonundan koruyamayacak şekilde olması, yüzeyde yüksek sıcaklıklara sebep olmaktadır. Aynı şekilde düşük yoğunluğa sahip atmosferler, sera etkisi oluşturulmadığı için güneşi görmeyen yüzeyler çok düşük sıcaklıkları görmektedir. Araştırma çalışmalarının uzayda gerçekleştirilmesi için Regolit malzemeler kullanılarak yapılar inşa edilmesi elzemdir.

### 3.3. Ay Regolit Taklitleri

İnsanlık olarak uzaya dair ilk karşımıza çıkan yapı uydumuz olan Ay'dır. Gel git etkisi gibi insan yaşantısına doğrudan etki eden ayın hareketleri zaman zaman dini zaman zaman tarımsal işlemler için takip edilmiştir. Sadece ayın konumu değil, ayın yapısı da insanlığın her zaman ilgisini çeken bir konu olmuştur. Soğuk savaş yıllarında uzay yarışlarında Ay'a ayak basmak, yarışın önemli bir aşaması olmuştur.

En yakın uzay komşumuz ve doğal uydumuz olan Ay hem yerçekiminin az olması hem de atmosfer gibi koruyucu bir katman olmamasından ötürü bize uzay hakkında birçok bilgi verebilmektedir. Bu araştırmalar için uzay ajansları astronotlar yollamış, ek olarak robotlar ve aya yollanan uydular aracılığı ile Ay yüzeyini haritalandırmıştır. Yapılan araştırmaların süresini uzatmak, daha yerinde araştırmalar yapmak için insanlı misyonların artması gerekmektedir. Bu amaç ile Ay'a koloniler kurulması amacıyla araştırmalar ve yarışmalar düzenlenmektedir.

Neredeyse her ülke ve uzay ajansı, Ay'a dair araştırmalarını yürütmek için taklit Ay regolitleri imal etmekte ve geliştirmektedir. Taklit edilen örnekler ile hali hazırda örneklerini inşaat sektöründe gördüğümüz gibi yapıların inşa edilmesi araştırmaların ve yarışmaların konusu olmuştur. Şekil 3'te görüldüğü gibi yapıların inşa edilebilmesi için Regolit malzemelerle üretim denemeleri gerçekleştirilmektedir.





**Şekil 3.** ESA Tarafından Ay'a Eklemele İmalat ile İnşa Edilmesi Planlanan Habitatlar (Avrupa Uzay Ajansı (ESA), 2024)

Tablo 2, Dünya çapında geliştirilen Ay Regolit Taklitlerini ve geliŐtirilme amaçlarını içermektedir. Bu liste ihtimaldir ki günümüzde daha uzun ve daha fazla örnek içermektedir. Bu tabloda yer alan Deniz tabiri (Mare), aya bakıldığında karanlık kalan kısımlar için kullanılmıştır. Yaylalar ifadesi ise Ay'ın yüzeyindeki açık renkli krater izleri için kullanılmıştır.

**Tablo 2.** Dünya apında Geliştirilen Ay Regolit Taklitleri ve Tipleri (Taylor, Pieters, & Britt, 2016)

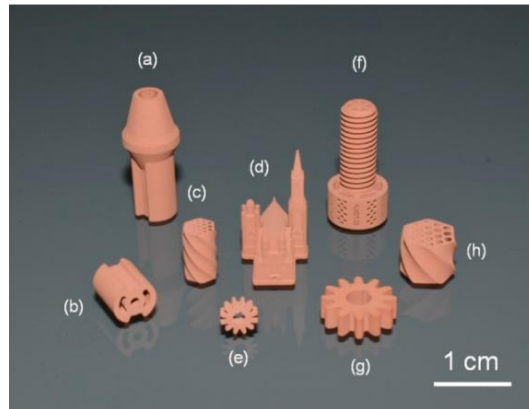
Dünya apındaki Ay Regolit Taklitleri	Tip
MLS-1 Minnesota Ay Regolit Taklidi	Yüksek Ilmenit Denizi (genel kullanım)
MLS-1P	Yüksek Ti Denizi (deneysel, toplu halde değil)
MLS-2	Yaylalar (genel kullanım)
ALS Arizona Ay Regolit Taklidi	Düşük Ti Denizi (jeoteknik)
JSC-1 Johnson Uzay Merkezi	Düşük Ti Denizi (genel kullanım)
FJS-1 (tip 1) Fuji Japon Regolit Taklidi	Düşük Ti Denizi
FJS-1 (tip 2)	Düşük Ti Denizi
FJS-1 (tip 3)	Yüksek Ti Denizi
MKS-1 MSFC	Düşük Ti Denizi (kullanım amacı bilinmiyor)
JSC-1A,-1AF	Yaylalar (genel kullanım)
OB-1 Olivine-Bytownite	Yaylalar (genel kullanım jeoteknik)
CAS-1	Düşük Ti Denizi (genel kullanım)
GCA-1 Goddard Uzay Merkezi	Düşük Ti Denizi (jeoteknik)
NU-LHT-1M & ID NASA/USGS-Ay Yaylaları	Yaylalar (genel kullanım)



NU-LHT-2M & 2C	Yaylalar (genel kullanım)
Oshima baz Taklidi	Yüksek Ti Denizi (genel kullanım)
Kohyama baz Taklidi	Orta; yaylalar ve deniz
NAO-1 (Li ve ark., 2008)	Yaylalar (genel kullanım)
CLRS-1 Çin Ay Regolit Taklidi	Düşük Ti Denizi (genel kullanım)
CLRS-2	Yüksek Ti Denizi (genel kullanım)
CUG-1	Düşük Ti Denizi (jeoteknik)
GRC-1 &-3	Jeoteknik, standart araç hareketlilik taklidi
TJ-1	Düşük Ti Denizi (jeoteknik)
TJ-2	Düşük Ti Denizi (jeoteknik)
KOHLIS-1 Koh Ay Regolit Taklidi	Düşük Ti Denizi (jeoteknik)
BP-1 Black Point	Düşük Ti Denizi (jeoteknik)
CSM-CL Colorado Maden Okulu Colorado Lavı	Jeoteknik

Bu taklit ay topraklarının eklemeli imalat ile kullanılması koloni çalışmalarını hızlandıracağı gibi, karmaşık yapılar için de çimento görevi görecektir.

Yapılan örnek bir çalışma incelendiğinde (Altun, ve diğerleri, 2021), Avrupa Astronot Merkezi tarafından geliştirilen bir Ay Regolit Taklidi olan EAC1A kullanılmıştır. Parçacık boyutu küçültmek için 150 gr EAC1A tozu 150 ml izopropanol ile 24 h boyunca öğütülmüş ve sonrasında bir kurutma kabini içinde solvent uzaklaştırılmıştır. Seramik malzeme baskısı için uygun olan CeraFab 7500 tezgâhı kullanılmıştır. Malzemenin mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla Regolit malzemeler için 1000 °C üzerindeki sıcaklık değerleri uygundur (Allen, Graf, & McKay, 1994). Ek olarak EAC1A tozu için erimeye başladığı sıcaklık yaklaşık olarak 1000 °C olmasından dolayı çalışmada 1000 °C olarak sinterleme sıcaklığı seçilmiştir (Engelschön, ve diğerleri, 2020). Şekil 4'te çalışma kapsamında üretilen sinterlenmiş parçalar görülmektedir. Çok karmaşık ve küçük boyuttaki parçaların üretiminin mümkün olduğu bu ürünlerden anlaşılabilmektedir.



**Şekil 4.** Altun vd. Yaptığı EAC1A ile Üretilen Sinterlenmiş Parçalar (Altun, ve diğerleri, 2021)

Sadece küçük boyutlar için değil, büyük çaptaki üretimler için NASA gibi büyük kuruluşlar yarışmalar düzenlemektedir. Sadece üretim için değil, Ay'da yapılması düşünölen yapılar için de mimari tasarım çalışmalarını yürütölmektedir (Büyük Fikir, 2024).



**Şekil 5.** SpaceFactory AI Firması Tarafından Yürütölen Lina Projesi Ay'a Habitat Kurma Amacını Taşır (SpaceFactory, Lina, 2024)

Ay'a yapılacak keşif misyonlarında, regolitin yapısal özelliklerinin ve davranışlarının test edilmesi, görevlerin başarısını artırır. Bu sayede, astronotların ve robotların Ay yüzeyinde karşılaşılabileceği zorluklar hakkında bilgi edinilir. Regolitin özelliklerinin detaylı incelenmesi hem keşif hem de yerleşim projeleri için başarılı bir temel oluşturur.

### 3.3.1. Mars regolit taklitleri

Mars, Ay'dan sonra en çok incelenen ve merak edilen gök yapılarından biridir. Ay gibi Mars'ı da incelemek amacıyla insansız uzay misyonları ile Mars'ın toprak yapısı incelenmiştir. Yine Mars'taki regolit benzerlerinin üretilmesi ile Dünya'da çalışmalar yürütölmektedir. Mars'ın, Güneş Sistemi'nin uzak mesafedeki çalışmaları için bir istasyon olarak kullanma düşüncesi sebebiyle Mars'ın kolonizasyonu için çalışmalar ve programlar planlanmaktadır. Bu yürütölen büyük çaptaki çalışmalara örnek olarak, SpaceX firmasının Mars programı örnek verilebilir. Space Factory AI firmasının Marsha projesi ise Mars'ta habitat oluşturmayı hedeflemektedir (SpaceFactory, Marsha, 2024).



**Şekil 6.** Marsha Habitat Projesi, Mars Regolitini Kullanarak Yapı Oluşturmayı Hedeflemektedir (SpaceFactory, Marsha, 2024)

Gelecek koloni çalışmaları için yapısal çalışmalar önemlidir. Bu kapsamda birçok Mars Regolit Taklitleri geliştirilmiştir. Tablo 3'te bazı Mars regolit malzemelerin özellikleri bulunmaktadır. Bu tablodaki değerler incelendiğinde boyutlar ve kohezyon etkileri arasında çok fark bulunmaktadır. Bu listede yer almayan Mars Regolit

Taklitleri bulunduğu gibi, çoğu uzay ajansı ve programı ile yenilerinin geliştirilmesi hedeflendiği için bu listenin çok daha uzaması mümkündür.

**Tablo 3.** Bazı Mars Regolit Taklit Malzemeleri ve Bilgileri (Taylor, Pieters, & Britt, 2016)

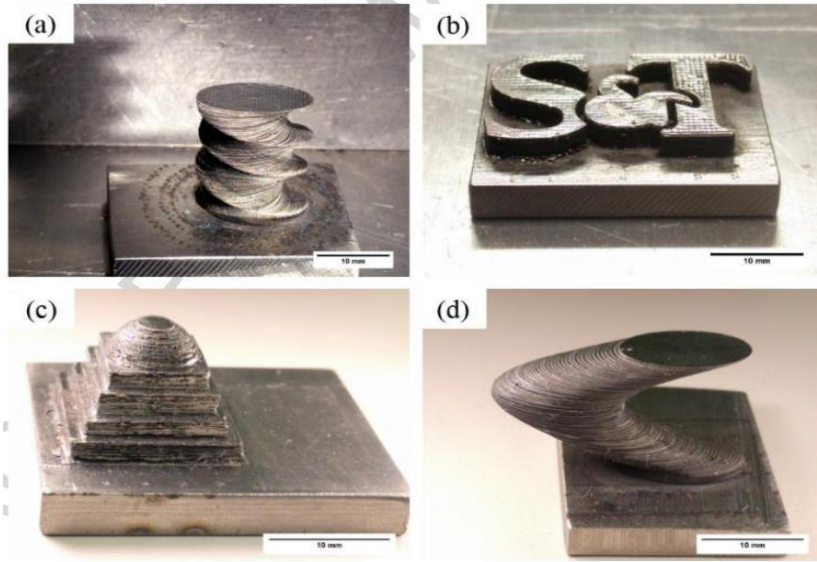
Mars Regolit Taklitleri	Parçacık Şekli	Parçacık Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Hacim Yoğunluğu (g/cc)	Kohezyon (kPa)	İç Sürtünme Açısı ( $^{\circ}$ )
JSC Mars-1	-	<1 mm	0,85-0,89	0,06-0,09	40,8-41,4
ES-1	Açısal	<3-30	0,54-1,21	1,3-3,9	29,5-32,3
ES-2	Açısal ila alt açılı	60-250	1,24-1,44	Çok az	38,2-41,4
ES-3	Alt yuvarlak ila yuvarlak	300-800	1,46-1,64	0,3-1,4	34,3-35,8
ES-4*	-	-	1,8-2,2	0-4	38-44
JMSS-1	Açısal ila alt açılı	300 (ortalama)	<1 (mm)	1,45 (ortalama)	0,33
MGS-1	-	122 (ortalama)	1,29	-	-
MMS kumu	Açısal	-	1,38 - 1,34	0,81	38
MMS tozu	Açısal	-	1,08 - 0,91	0,38	31
UC Mars1	Açısal ila alt açılı	-	2,7	-	35
MER Yard	-	1,43-1,78	0,09-0,10	0,149	47,9-53,3
Mars Yard	-	1,49-1,78	-	-	35,1-37,2
M90	Alt açılı	-	1,32-1,52	1,4-2,8	29-37
GRC-3	-	0,15 (ortalama)	1,52-1,94	-	37,8-47,8

### 3.3.2. Bulk metalik camlar (BMG)

Uydular ve uzay istasyonu gibi insan yapımı ürünler, çok uzun süreler kullanılmak üzere tasarlanır ve üretilir. Uzun sürelerin hedeflenmesinin ana sebeplerinden biri çok yüksek maliyetlerin bulunmasıdır. Parçaların kırılıma uğraması ya da değişim vakitleri gelmesi durumunda, parça değişimi için ya çok zor görevler belirlenmekte ya da ana üründen vazgeçilmektedir. Yüksek esneklik ve mukavemete sahip parçalar her zaman tercih edildiği gibi, malzemenin yorulmaya karşı direnci de önemlidir.

BMG'nin içeriğinde zirkonyum, demir, alüminyum, nikel, titanyum ve bakır gibi elementler bulunur. Dökme Metalik Camlar, 1960'larda Dr. Duwez tarafından California Teknoloji Enstitü'nde keşfedilmiştir (Amorphology, 2024). Sıvı metal alaşımının çok hızlı bir şekilde soğutulması ile elde edilir. Metal atomlarının düzensiz bir kristal oluşturması çok hızlı soğutma ile mümkün olmaz. Cam benzeri bir yapıya yani amorf bir yapıya sahip olmaktadır. Bu amorf yapının getirilerine örnek vermek gerekirse, geleneksel metal alaşımlarının aksine daha az kırılğan ve darbelere karşı daha dayanıklıdır. Aşınma ve korozyona karşı dirençli olması denizciliğin yanı sıra havacılık sektöründe de kullanımının yolunu açmaktadır. Uzay sektöründe ise kullanımı, NASA'nın dişli üretiminde BMG materyallerini kullanma amacı ile artmıştır. Talaşlı imalat ile üretimi sağlanırken, hafifletme ya da topoloji optimizasyonu sonucu eklemeli imalat ile denemeler gerçekleştirilmektedir.

Shen ve diğerlerinin yaptığı çalışmada (Shen, Li, Chen, & Tsai, 2017), Lazer Toz Yatak Ergitme (LFP) teknolojisi ile soğuma/koruma sistemleri yardımıyla amorf metalik parçalar üretilmiştir. Parçaların üretilme aşamasında parça üzerinde ısı birikimini önlemek amacıyla lazer atım tekrarlaması hızı 1 Hz olarak ayarlanmıştır. Parça kenar yapılarının temiz ve pürüzsüz şekilde üretilmesi için 30 ns lazer atım süresi, 100 mJ lazer atım enerjisi ve 5 kHz lazer atım tekrarlaması parametrelerine uygun UV lazer kullanılmıştır. Parça geometrileri incelendiğinde, diğer eklemeli imalat yöntemleri ile benzeri şekilde karmaşık geometrilerin başarılı şekilde ortaya çıktığı görölmektedir. Bu gibi çalışmaların devamı ve gelişmesi ile BMG materyallerin üretimdeki payı da artacaktır.

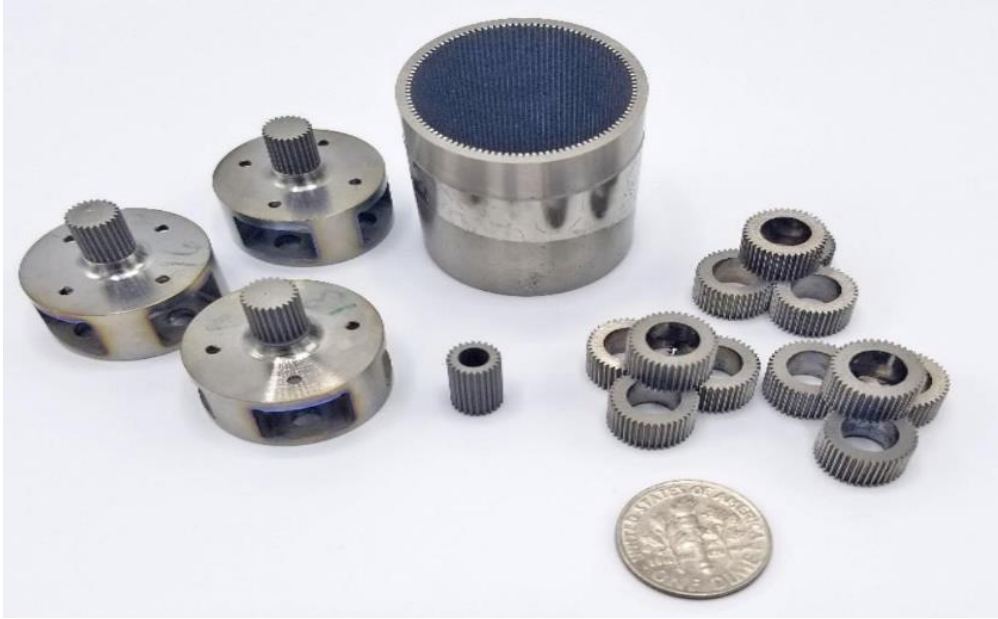


şekil 7. LFP ile Üretilen Amorf Metal Parçalar (Shen, Li, Chen, & Tsai, 2017)

BMG materyalinin kullanımına yönelik bir diğer örnek, NASA tarafından BMG materyalleri kullanılarak dişli yapılmasıdır. İncelemek amacıyla insansız araç yollanması düşünölen güneş sistemi parçalarından biri de Jüpiter'in uydusu olan Europa'dır. Bu uydunun yüzeyinin buz ile kaplı olduğu gözlemlenmiş, bu buzun kalınlığının ise 19-25 km olduğu tahmin edilmektedir. Büyük buz kütesinin altında sıvı halde bir büyük gölün keşfedilmesi, yeni bir habitat bulunmuş olma ihtimalini de kuvvetlendirmektedir (Johns Hopkins Üniversitesi Uygulamalı Fizik Laboratuvarı (JHUAPL), 2023). Bu ihtimalin incelenmesi ve araştırılması amacıyla insansız uzay araçları yollanması muhtemeldir. Europa Jüpiter'in 95 uydusu arasında en büyük 4. Uydusu olmakla birlikte, ortalama -160°C yüzey sıcaklığı araştırmaların önemli bir kısıtı durumundadır.

Düşük yüzey sıcaklıklarına sahip uzaydaki diğer gök cisimlerinin de araştırılması için, soğuk ortamlarda dayanıklı ve mekanik özellikleri iyileştirilmiş malzemeler ile parçalar üretilmesi gerekmektedir. NASA bu kapsamda

BMG kullanılarak sadece dişli değil, cıvata, somun gibi yapısal bağlayıcıların da üretilmesi amacıyla çalışmalar yürütmektedir (NASA Bilim, Teknoloji, Mühendislik ve Matematik Müdürlüğü (STMD), 2024).



**Şekil 8.** BMG materyali ile üretilmiş dişli kutusu montajı parçaları (NASA Bilim, Teknoloji, Mühendislik ve Matematik Müdürlüğü (STMD), 2024)

### 3.3.3. Seramik matrisli kompozitler (CMC)

Seramikler, içeriğinde silisyum ve alüminyum içermekte olup, lif halindeki karbon fiber, fiberglas gibi katkılarla kompozit hale getirilebilir. Silisyum ve Alüminyum oksitlerden kaynaklı yüksek akustik yalıtım özelliği bulunmaktadır. Ek olarak düşük ısı iletkenlik ve yüksek ısı dayanıklılığı özelliklerinden dolayı roketlerin nozul kısımlarında kullanılır. Ek olarak koloni çalışmaları için gürültüyü engellemek amacıyla yaşam alanları duvarlarında kullanılabilir. Bu yapının oluşturulması ve fazla ağırlıklardan kurtulmak için topoloji optimizasyonu çalışmaları yapılması durumunda eklemeli imalat ile üretim elzem hale gelmektedir (Voxel Matters, 2022).

Lu vd. (2017)'nin araştırmasında geleceğin CMC eklemeli imalat odak noktaları olarak, lif arayüz tabakası, yoğunluk ve geometrik hassasiyet, yeni katkı üretim teknikleri belirlenmiştir. Özellikle yoğunluk ve geometrik konusunda, eklemeli imalat ile CMC materyallerinin kullanılması, yüksek gözenekliliğe ve yüksek yüzey pürüzlülüğü gibi düzeltilmesi gereken sorunları barındırmaktadır. CMC içerisine lif, toz gibi takviyeleri daha küçük ve homojen bir şekilde malzemeye yayılması konusunda çalışmanın gerekliliğine de işaret etmektedirler (Lu, Cao, Song, Li, & Lu, 2019).

Roket nozullarında kullanılması düşünülen CMC malzeme ile ilgili yapılan bir çalışmada (Valentine & Gradl, 2019) küçük ölçekli olarak üretilen roket nozulları üretilmiştir. Kompozit şekilde kullanılan CMC'nin kullanılması, ağırlığı önemli bir miktarda düşürmekle beraber, üretim maliyetlerinin de düşürülmesi potansiyelini de içermektedir.



**Şekil 9.** CMC ile Üretilen Küçük Ölçekli Roket Nozul Çalışması. Soldan Sağa Sırasıyla Preseramik Malzeme, Isıtılmış Seramik ve Test Görüntüleri (Valentine & Gradl, 2019)

### 3.3.4. Miselyum

Mantarların, oksijene ihtiyaç duymadan fermentasyon ile hücresel solunum yapıyor olmaları, oksijenin olmadığı ortamlardaki önemini arttırmaktadır. Organik canlılar olmaları sebebiyle de bir karbon kaynağı olarak görülebilir. Miselyum ise mantarların toprağın altında kalan kısmındaki yapıya verilen isimdir. Mantarların toprağı iyi bir şekilde tutunmalarını sağlamaktadır. Sağlam ve organik olmaları sebebiyle uzayda kullanılabilir besin kaynağı olarak düşünölmektedir. Ancak Hollanda'da bir sanatçının yaptığı eser ile miselyum oluşturarak, sandalye gibi ev eşyalarının üretilebileceğı de görölmüştür (3D Yazdırma Kartı, 2013). Eşyaların bir karbon kaynağı olarak geri dönüşümü sağlandığında gübre olarak kullanılabilmesi gibi faydaları bulunmaktadır. Oksijene ihtiyaç duymamaları ise ortamdaki az miktarda oksijenin de harcanmayacak olmasından dolayı bir avantaj sunar.



**Şekil 10.** Mantarlar Yardımıyla Üretilen Sandalye Çalışması (3D Yazdırma Kartı, 2013)

Miselyum yapının oluşturulması için bir nevi kalıp üretilir, mürekkep olarak kahve çekirdekleri kullanılır. Şu anda 7 gün gibi çok uzun süreler ile bu üretim gerçekleşse de önden üretime başlanabilmesi bu etkiyi kırmaktadır. Miselyum ile eklemeli imalat 5 adımı içermektedir. İlk olarak kullanılacak Hidrojel ile Mantar hücreleri karıştırılarak malzeme hazırlanır. Diğer adım olarak elde edilen malzemeyi yumuşak bir malzeme olduğu için bir kalıba ya da zemine oturtmak gerekmektedir.

Bu kalıp veya zemin üzerinde eklemeli imalat gerçekleştirilir. Ardından mantarın büyümesi beklenir.

Miselyum hücreleri şeker ve kahve çekirdeğı tozu gibi malzemeleri kullanarak büyümektedirler. Mantarların kalıp sınırlarına dayanması sonrası miselyum havasız alkollü ortamda bırakılarak hücrelerin kuruması sağlanır. Böylelikle artık miselyum hücreleri büyüyemez. Miselyum ile üretilen ürünler çok sıkı bir ağ oluşturduğu için su geçirmez bir yapıya sahiptirler. Sadece sandalye gibi ev eşyaları değil miselyum hücrelerin osmotik basıncı kullanılarak robotik kollar ve kısıkaçlar da yapılabilir (Geleceğın Malzemeleri, 2024).





Şekil 11. Miselyum ile Üretilen Robotik Kol Ucu (Geleceğin Malzemeleri, 2024)

#### 4. SONUÇ VE YORUMLAR

Bu çalışmada, eklemeli imalatın teknolojiyle paralel şekilde gelişmesi sonucunda daha fazla alana hitap eden bir üretim yolu seçeneği olarak Uzay sektörü özelinde tercih edilmesi incelenmiştir. Eklemeli imalat kapsamında kullanılan malzemelerin, bildiğimiz metal ve PLA (poliaktik asit) gibi organik malzemeler dışında kalan farklı malzemelerin kullanımı araştırılmaktadır. Bununla birlikte, uzay programları kapsamında hedeflenen çalışmaların limitlerinden dolayı eklemeli imalat ile yıllarca kullanılan malzemelerin dışına çıkmıştır. İnsanlık hedeflerinin, dünya gezegeni dışına çıkmaya başlamasıyla gereksinimler de değişme ve gelişme göstermektedir. Hali hazırda kullanılan malzemeler, yerçekimi, malzeme taşınımının zor olması ve atmosfer gibi kısıtlardan kaynaklı kullanım açısından uygun olmamaktadır.

Gelecek uzay çalışmaları düşünüldüğünde diğer gezegenler üzerinde kurulması düşünülen yerleşimler için dünyadan malzeme taşınması mümkün olmamaktadır. Yerinde malzeme kullanımı amacıyla Ay ve Mars'tan toprak örnekleri alınıp incelenmekte, bu topraklara benzer içeriğe sahip taklit topraklar oluşturulmaktadır. Taklit edilen topraklar ile eklemeli imalat için denemeler yapılmaktadır. NASA tarafından düzenlenen 3 Boyutlu Yazdırılmış Yaşam Alanı yarışması ile uzayda yaşam alanları oluşturmak için eklemeli imalatın kullanımına yönelik fikirler değerlendirilmiş, bu fikirlerin bazıları inşaat aşamasına getirilmiştir (NASA, 3D-Baskılı Habitat Yarışması, 2023). Ek olarak roket ve uydular ile daha fazla keşif yapılması amacıyla malzeme araştırmaları devam etmektedir. Uyduların hizmet sürelerini uzatmak, roketlerin kullanacağı yakıt miktarını düşürmek gibi amaçlarla uzay programlarında eklemeli imalat, hafifletme çalışmaları ile paralel şekilde kendine yer edinmiştir. Bu çalışmalara örnek olarak NASA'nın geliştirdiği RAMPT Projesi kapsamında lazer tozuyla yönlendirilmiş enerji biriktirme (LP-DED) yöntemiyle ürettikleri roket nozulu üretilip test edilmesi gösterilebilir (Ridgeway, 2024).

Otomotiv, havacılık gibi sektörlerde uygulanan çok adetli ve yüksek güvenlik katsayılarına sahip parçaların eklemeli imalat ile üretilmesi birçok diğer sektöre yol göstermiştir. Uzay sektöründe eklemeli imalat uygulamalarının artması, yapılan keşif çalışmaları ve koloni çalışmaları gibi gelişmelerle ihtiyaçların değişmesine doğrudan bağlıdır. Gelecekte eklemeli imalat yöntemlerinin gelişimi için uzay sektöründe yapılan çalışmalar, yeni malzemeler ve birçok kısıtın getirdiği geliştiricilik ile yol gösterici olacaktır. Bu çalışma uzay sektöründeki gelişmelerle ve yeni ihtiyaçların doğurduğu kullanılan malzeme yelpazesinin artması ile güncellenebilir. Uzay çalışmalarında meydana gelen gelişim sonucu yeni alanların ortaya çıkmasının beklenmesi doğaldır. Bu çalışmada incelenen Regolit, BMG ve CMC gibi yapay yollarla oluşturulan malzemelerin yanı sıra Miselyum gibi organik ve doğal malzemelerin de gelişmesi ve kullanılması beklenmektedir.

#### ETİK BEYAN & GENEL AÇIKLAMALAR

Bu makale araştırma ve yayın etiği standartlarını karşılamaktadır.



## YAZARLARIN KATKILARI

Fikir/Kavram: M. M. Arslan; Tasarım: M. M. Arslan, B. alık ve G. Uzun; Veri Toplama/İşleme: M. M. Arslan ve B. alık; Analiz/Yorum: M. M. Arslan, B. alık ve G. Uzun. Tüm yazarlar makalenin son halini okumuştur ve onaylamıştır.

## FON

Söz konusu değildir.

## VERİ VE MALZEME MÜSAİTLİğİ

Söz konusu değildir.

## ÇIKAR ÇATIŐMALAR

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışmalarının bulunmadığını belirtmektedir.

## KAYNAKÇA

- 3D Yazdırma Kartı. (2013). *Mantar ve Mantar ile Muhteşem 3D Yazdırma*. <https://3dprintboard.com/showthread.php?4192-Amazing-3D-Printing-with-Mushrooms-and-Fungus> adresinden alındı
- Allen, C. C., Graf, J. C., & McKay, D. S. (1994). Sintering Bricks on the Moon. *Engineering, Construction, and Operations in Space IV, ASCE*. içinde 1220–1229.
- Altun, A. A., Ertl, F., Marechal, M., Makaya, A., Sgambati, A., & Schwentenwein, M. (2021). Additive manufacturing of lunar regolith structures. *Open Ceramics, 5*. doi:10.1016/j.oceram.2021.100058
- Amorphology. (2024). *Uygulamalar*. <https://amorphology.com/applications> adresinden alındı
- Avrupa Uzay Ajansı (ESA). (2024). *Dünyadışı Üretim Sempozyumu: Uzayda Yeni Bir Ev Nasıl İnşa Edilir?* [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Preparing\\_for\\_the\\_Future/Discovery\\_and\\_Preparation/Off-Earth\\_manufacturing\\_symposium\\_how\\_to\\_build\\_a\\_new\\_home\\_in\\_space](https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Discovery_and_Preparation/Off-Earth_manufacturing_symposium_how_to_build_a_new_home_in_space) adresinden alındı
- Bölükbaşı, Ö. S., Serindağ, T., Gürol, U., Günen, A., & am, G. (2023). Improving oxidation resistance of wire arc additive manufactured Inconel 625 Ni-based superalloy by pack aluminizing. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 46*, s. 89-97. doi:10.1016/j.cirpj.2023.07.011
- Breakthrough İnişiatifleri. (2024). *Yıldızlararası Yolculuk*. <https://breakthroughinitiatives.org> adresinden alındı
- Büyük Fikir. (2024). *Büyük Fikir Yarışması*. <https://bigidea.nianet.org/2024-challenge> adresinden alındı
- CBS News. (2018). *SpaceX Bugün İlk Block 5 Falcon 9'u Fırlatmaya Hazırlanıyor*. <https://www.nasaspaceflight.com> adresinden alındı
- Ceritbinmez, F., Günen, A., Gürol, U., & am, G. (2023). A comparative study on drillability of Inconel 625 alloy fabricated by wire arc additive manufacturing. *Journal of Manufacturing Processes, 89*, s. 150-169. doi:10.1016/j.jmapro.2023.01.072
- am, G. (2022). Prospects of producing aluminum parts by wire arc additive manufacturing (WAAM). *Materials Today: Proceedings, 62*(1), s. 77-85. doi:10.1016/j.matpr.2022.02.137
- am, G., & Günen, A. (2024). Challenges and opportunities in the production of magnesium parts by directed energy deposition processes. *Journal of Magnesium and Alloys, 12*, s. 1663-1686. doi:10.1016/j.jma.2024.05.004
- Engelschiön, V., Eriksson, S., Cowley, A., Fateri, M., Meurisse, A., Kueppers, U., & Sperl, M. (2020). EAC1A: A novel large-volume lunar regolith simulant. *Sci. Rep. 10*, s. 1–9.
- Etymonline. (2024). *Regolith*. <https://www.etymonline.com/word/regolith> adresinden alındı
- Geleceğin Malzemeleri. (2024). *Mantar Mürekkebi*. <https://futureofmaterials.com/en/materials/myceliumink/#:~:text=A%20Fungus%20Based%20Ink%20for%203D%20Printing.&text=Under%20the%20right%20conditions%2C%20mycelium,example%20of%20a%20living%20material> adresinden alındı

- Güler, S., Serindağ, H. T., & Çam, G. (2022). Wire arc additive manufacturing (WAAM): Recent developments and prospects. *Mühendis ve Makine*, 63(706), s. 82-116. doi:10.46399/muhendismakina.1085716
- Günen, A., Gürol, U., Koçak, M., & Çam, G. (2023). A new approach to improve some properties of wire arc additively manufactured stainless steel components: Simultaneous homogenization and boriding. *Surface & Coating Technology*, 460. doi:10.1016/j.surfcoat.2023.129395.
- Günen, A., Gürol, U., Koçak, M., & Çam, G. (2023). Investigation into the influence of boronizing on the wear behavior of additively manufactured Inconel 625 alloy at elevated temperature. *Progress in Additive Manufacturing*, 8, s. 1281-1301. doi:10.1007/s40964-023-00398-8.
- Gürol, U., Altınay, Y., Günen, A., Bölükbaşı, Ö. S., Koçak, M., & Çam, G. (2023). Effect of powder-pack aluminizing on microstructure and oxidation resistance of wire arc additively manufactured stainless steels. *Surface & Coating Technology*, 468. doi:10.1016/j.surfcoat.2023.129742
- Hull, C. &. (1986). *U.S. Patent No. 4, 575, 330*.
- Jamali, K., Kaushal, V., & Najafi, M. (2021). Evolution of additive manufacturing in civil infrastructure systems: A ten-year review. *Infrastructures*, 6(8). doi:10.3390/infrastructures6080108
- Johns Hopkins Üniversitesi Uygulamalı Fizik Laboratuvarı (JHUAPL). (2023). *Bilim adamları, Avrupa'da Yeraltı Büyük Gölü'nde Kamt Buldu*. <https://www.jhuapl.edu/news/newsreleases/111116-scientists-find-evidence-subsurface-great-lakeeuropa#:~:text=In%20a%20finding%20of%20significance,new%20potential%20habitat%20for%20life adresinden alındı>
- Lu, Z., Cao, J., Song, Z., Li, D., & Lu, B. (2019). Research progress of ceramic matrix composite parts based on additive manufacturing technology. *Virtual and Physical Prototyping*. doi:10.1080/17452759.2019.1607759
- NASA. (2017). *Metallerde Lazer Toz Yatakları Füzayonun ile Eklemeli Olarak Üretilmiş Uzay Uçuş Donanımı Standardı*.
- NASA. (2020). *Kepler-90 Sistemi Gezegen Boyutları*. <https://www.nasa.gov/imagearticle/kepler-90-system-planet-sizes adresinden alındı>
- NASA. (2023). *3D-Baskılı Habitat Yarışması*. <https://www.nasa.gov/prizes-challenges-and-crowdsourcing/centennial-challenges/3d-printed-habitat-challenge adresinden alındı>
- NASA. (2023). *Sputnik*. <https://www.nasa.gov/history/sputnik adresinden alındı>
- NASA. (2024). *Alpha Centauri Üçlü Yıldız Sistemi Dünya'dan Yaklaşık 4 Işık Yılı Uzaklıkta*. <https://science.nasa.gov/resource/the-bright-star-alpha-centauri-and-its-surroundings adresinden alındı>
- NASA. (2024). *Voyager Görevi*. <https://voyager.jpl.nasa.gov adresinden alındı>
- NASA Bilim, Teknoloji, Mühendislik ve Matematik Müdürlüğü (STMD). (2024). *Toplu Metalik Cam Dişliler*. <https://www.nasa.gov/stmd-game-changing-development/bulk-metallic-glassgears adresinden alındı>
- NASA Jet Propulsion Laboratuvarı. (2009). *Stardust Basın Kitleri*. <https://www.jpl.nasa.gov/missions/stardust adresinden alındı>
- Özsoy, K., Duman, B., & İçkale Gültekin, D. (2019). Metal part production with additive manufacturing for aerospace and defense industry. *International Journal of Technical Sciences*, 11(3), s. 201–210. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/918027 adresinden alındı>
- Pixalytics. (2023). *2023'te Dünya'nın yörüngesinde dönen uydular*. <https://www.pixalytics.com/tag/satellite adresinden alındı>
- Ridgeway, B. (2024). *NASA Katmanlı Üretim Projesi, Ajans, Endüstri ve Roket Üreticileri İçin Geleceği Şekillendiriyor*. NASA. <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/marshall/nasa-additive-manufacturing-project-shapes-future-for-agency-industry-rocket-makers/ adresinden alındı>
- Shen, Y., Li, Y., Chen, C., & Tsai, H.-L. (2017). 3D printing of large, complex metallic glass structures. *Materials & Design*, 117(5), s. 213-222. doi:10.1016/j.matdes.2016.12.087
- SpaceFactory. (2024). *Lina*. <https://spacefactory.ai/lina adresinden alındı>
- SpaceFactory. (2024). *Marsha*. <https://spacefactory.ai/marsha adresinden alındı>

- SpaceX. (2024). *Falcon 9*. <https://www.spacex.com/launches> adresinden alındı
- SpaceX. (2024). *Mars'a İnsan Uzay Uçuşu*. <https://www.nationalgeographic.com/science/article/elon-musk-mars-spacex-human-mission-spacescience> adresinden alındı
- Statista. (2024). *Uzay programlarına yapılan küresel devlet harcamaları: Önde gelen ülkeler*. <https://www.statista.com/statistics/745717/global-governmental-spending-on-space-programsleading-countries/> adresinden alındı
- Taylor, L. A., Pieters, C. M., & Britt, D. (2016). Evaluations of lunar regolith simulants. *Planetary and Space Science*, 126, s. 1–7. doi:10.1016/j.pss.2016.04.005
- Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu (ISO) ve Amerikan Malzeme ve Test Topluluğu (ASTM). (2020). *Uzay ve Uzay Sistemleri Kelime Hazinesi*, 52900.
- Valentine, P. G., & Gradl, P. R. (2019). Extreme-temperature carbon- and ceramic-matrix composite nozzle extensions for liquid rocket engines. *70th International Astronautical Congress (IAC)*, (s. IAC-19-C2.4.9).
- Voxel Matters. (2022). *Novel process by HRL Laboratories creates 3D-printed ceramic matrix composites*. <https://www.voxelmatters.com/novel-process-by-hrl-laboratories-creates-3dprinted-ceramic-matrix-composites> adresinden alındı
- Williams, H., & Butler-Jones, E. (2019). Additive manufacturing standards for space resource utilization. *Additive Manufacturing*, 28, s. 676-681. doi:10.1016/j.addma.2019.06.007
- Yang, S., & Zhao, Y. F. (2018). Additive manufacturing-enabled part count reduction: A lifecycle perspective. *Journal of Mechanical Design*. doi:10.1115/1.4038922